

知ってますか??



雑学講座

一連の脳不全症と内部同期攪乱波仮説[7]

作・光藤 裕之 岡山理科大学 理学部応用物理学科 教授

〒700-0005 岡山市理大町1番1号 TEL/086-252-3161 FAX/086-255-7700

第3章 心の健康物理学

=振動系の相互作用モデル=

大脳皮質の構造と働き:振動系の相互作用モデル

神経細胞(ニューロン)群は高さ数mmのコラム(柱状)単位を構成し、それらが束ねられたモジュールが機能単位をなす。単位コラムの神経細胞は高さ方向に6層構造をなす。各モジュールが横方向に集合して、総数140億個と推定される神経細胞が厚さ数mmのシート状に広がって成人の大脳皮質を形成する。シートは折り畳まれて皺のある構造をなす。大脳皮質は約50の領域に分けられ機能を分担する^{2,13)}。

出生時の神経細胞は殆ど結線されていないが、それぞれが突起を伸ばして神経繊維で結ばれ網目を作る。これは環境との相互作用の下で進む自己組織化過程である。各モジュールごとに決まった時期と期間(臨界期)に有効な環境刺激がなく、網目に組み込まれて機能状態にならなかった神経細胞は死滅・排除される。2才頃までに神経細胞数はほぼ半減する。逆に脳重量は出生時に成人の1/4(平均330g)から2才までに3/4、7才で9割(1250g)に増す。これはニューロピル(神経細胞以外の部分)の急増によつたらされる^{2,48)}。

神経繊維と神経細胞の接続部はシナプスとよばれる。1細胞あたりのシナプス数は数百~数十万個であり、人工の電気回路網の常識をはるかに超える。一つの神経細胞からの出力電位パルスは軸索とよばれる1本の

神経繊維のみを通して送り出される。神経繊維に沿った電位パルスの進行はビデオカメラのイメージセンサに使われる電荷転送デバイスCTD(Charge Transfer Device)に似ているが、将棋倒しの方がイメージし易い。あらかじめ将棋の駒を起しておくように、ある長さの神経繊維の単位は“充電”されていなければならない。

電位パルスはイオンが細胞膜を通り抜けることによって生じる膜の内外間の電位差のパルス状の変化である^{13,34)}。癲癇はイオンの膜通過が一時的に制御不能になり、脳の局部あるいは全域で一斉に発火する異常同期である。

ある一つの神経細胞に、多数のシナプスを経由して近隣の多数の神経細胞からの電位パルスが、ほぼ同時に入力つまり同期入力すると、電位パルスは足し合される。その結果がスイッチ電圧(しきい値)を越すと出力パルス(活動電位)が出る⁴⁴⁾。これは脳神経科学の分野で発火と呼ばれる出力パルスは軸索とシナプスを経て網目に組み込まれている他の神経細胞に順送りされる。従って、あるコラムあるいはモジュールの細胞群は固有周期の振動系(振動システム)として働く。また、ある回路を振動的に流れる電流は振動磁場をつくる。一つのコラムまたはモジュールの電磁気振動は他の振動系と相互作用する。このとき、要素振動系間の引き込み同期作用は自己組織化過程によって広域に広がった秩序としての同期振動を生む。これらは頭皮上でも観測される程度の脳波・脳磁波を発生させ、脳波計・脳磁計で検出される⁵⁰⁾。一つの集団内の細胞の発火の遅れの分

散は数msの程度であることある細胞集団と別の集団の発火の時間遅れは数百msであることが、猫の聴覚野について微小電極法により実測されている。また、猿の下側頭葉にある視覚連合野が図形認識するときの発火の頻度は6Hz(170ms)程度であることが観測されている。後者は細胞集団相互の間にフィードバック回路が存在し、細胞集団の集団的発火を促し、集団を巡る周期的な活性化を起こしているものと考えられている⁴²⁾。

電位パルスが同期して入力し、多数の振動子が同期して働くために音頭をとる信号源つまりペースメーカーが必要である。固有振動数($\omega_0/2\pi$)=0.5Hz程度の規則正しいパルスを出しているペースメーカーニューロンが、軟体動物イナヅモチの巨大細胞で観測されている。それは脊椎動物の中樞神経系に当たる部分にある⁴²⁾。コンピュータを始めとするデジタル機器に必須のクロックに相当する近隣の多数の回路の振動がカオス(ノイズ)的であるとき、確率共鳴過程が振動秩序を抽出するのかもしれない。

この細胞に入力する神経束に振動数 γ の正弦波の電気刺激を与え、細胞の膜電位応答が実測されている。 $\gamma=\omega_0, 2\omega_0, 3\omega_0$ に近い刺激振動数に同期して、細胞が ω_0 で振動するという引き込み現象。刺激電流を増すと応答膜電位が大きくなり、引き込みを受ける振動数領域の幅が広がる現象が認められている⁴²⁾。これらは前述の物理学的議論と一致する。

脳は、多重・多層のネットワークを構成する。つまり各部位内のイントラネットワーク(LAN=ローカルエリアネットワーク)を相互に結んで

インターネットワークを構成するこのLANはさらに小規模のネットワークから構成されるこれはN.ウィ-ナ-の「サイバネティクス=動物と機械における通信 制御 情報処理を統一的に取り扱う総合科学=」(1948)の視点に一致する 微視的世界と巨視的世界 あるいは生命体と非生命体を総合的に扱う上で、森羅万象に通じる物理学的アプローチが有用であるに違いない。

ネットワークを振動系と考えると それらの相互作用が脳内で生じる 振動系間の引き込み共鳴はより広域の同期振動を形成する。この過程はアトラクタに引き寄せられる秩序形成の要素過程として 脳の情報処理を担う。外界情報は五官で電気信号に変換され 振動外力として働く 振動数 γ の外力は 脳内の振動系と相互作用して 引き込み共鳴により、ある振動モードを形成する これにより我々は外界を認知する どのような振動モードにアトラクトされるかを決める要因として f_k に着目すべきであろう f_k が確率共鳴によって f_k に達することもあり得る 形成される振動は 脳自身の主体性 自己同一性を強める自律振動と、外力支配・自己喪失の他律振動(ビデオ癲癇)を両端とする多様なモードになるであろうこのことは 統合中枢を担う前頭連合野にとって、最も重要であろう。

脳神経系の自己組織化 可塑性 臨界期

16~20世紀に著しい発展を遂げた科学は、次の特徴をもつ 様々の事物は要素に還元され その要素の集積により合成されるという要素還元論が その一つである 素粒子は物質の要素であり bitは情報の要素つまり要素言語である 遺伝子DNAがもつたんぱく質合成情報は4種の塩基の配列に還元される。もう一つは 原因と結果の間に微分方程式で記述される一次的な(線形の)関係があり、初期条件を与えると無限の過去から無限の未来までを決める安定な解が存在するという決定論である^{51,52)}。

複雑系は 要素還元論と決定論に従うほど単純ではない 生体を構成する要素を集積させても生命は生まれない！全体は部分の和ではない！ 前述した非線形振動系とそれらの相互作用は それだけでも複雑系の性格をもつ 脳の複雑要因には次のことが加わるまず 1細胞当たり数百~数十万個のシナプス結合がある 次に シナプスは多種類の“分子信号”を伝達する つまり一つの細胞の出力パルスは軸索を伝播して次の細胞と接続する間隙(シナプス)に達する 軸索の後端面で電位信号に対応した種類の分子が放出される この信号を担った分子はシナプス間隙を拡散して隣接細胞に分子信号を伝達する³⁴⁾ コンピュータには真似のできないことである³³⁾。

電位パルスは 多数に枝分かれする神経繊維通路と多種の分子信号通路のうち 自分の駆け巡る通路をどのように選ぶのか 実は 同じように自分の進路選択の“意志決定”を迫られる電位パルスが無数に存在する 個々のパルスが個別の意志など持つわけもなく、ゆらぎ(揺動)状態にある 複雑系には 無数のゆらぎの相互作用が“全体的観点”からそれぞれの進路をきめるプロセスが生まれる。つまり 自己組織化による秩序形成が進む。複雑に絡み合った現象も 無法則ではなく、特定の落ち着き先(アトラクタ)に向かって進行する 個別に確定する個別要素の運動(そのような安定解が存在しない)の重ね合わせ集大成をもって全体が与えられるのではない。

哺乳類の脳組織(ねずみの記憶等を司る脳の領域) アフリカツメガエルの座骨神経、ザリガニの扇状尾の有毛細胞で 確率共鳴現象が観察されている^{47,53)} 神経系は 微小な電気信号を選択的に閾値まで増幅し、神経細胞を発火(トリガー)させるために カオス的な振動(ノイズ)を利用しているらしい。これはノイズの中から情報を担った信号を拾い出す巧妙な方法と言える。

上記は、動的秩序(ソフトウェア)の形成で

ある 脳神経系が働いているとき発生する電位パルスは 神経細胞表面の突起あるいは神経繊維の枝分かれの芽を刺激するであろう それは 神経繊維の伸長を促し網目を密にし シナプスの結合を強める等の静的秩序(器質・構造・ハードウェア)を形成するであろう その結果 電位パルス信号の通過・伝達が容易になり 動的自由度が増す そのことが さらに静的秩序の自己組織化を促進する³⁴⁾ ソフトウェアがハードウェアを変えることまでを含む自己組織化は 生命体の特徴と言えよう 諺「習い性と成る(書経)」 「習慣は第二の天性」は 器質が機能を生み 機能が器質を変えるサイクルをもつ自己組織化 脳の特質を言い表わしている。

環境からの入力刺激は脳の自己組織化・ネットワーク形成(ネットワーキング)に必須の要因である 自己組織化の基本ルールは遺伝子DNAにより生得的に与えられていても自己組織化で生まれる秩序の内容までは拘束されない もしもDNAの記憶容量が大きくて 発生以来の先祖の記憶を生得していたらどんな不都合が生じるか 想像に余る それは、好奇心や直感力を減らし 進化にとって負の遺産になるに違いない⁴⁹⁾。脳の構造的・機能的な可塑性は 環境適応性と進化を保証する仕組みであるが その可塑的变化能力は胎児・乳児・幼児の期間に著しく高い つまり 各種のネットワーキングの臨界期は 胎・乳・幼・少年期に密集していて それを過ぎると可塑的变化能力は著しく低下する 物体の外力による変形が 外力を取り去ると直ちに復元する性質を弾性 変形が残る性質を塑性(可塑性)という。

振動場による自己組織化

パワースペクトルが振動数とともに減少する分布(通称1/ f ゆらぎ)の入力は快適刺激であるとの経験則がある 特定の振動数に偏らない自然の中で進化してきた性なのかも知れない 光であれ音であれ 人工の一定周

期の振動入力が持続的に与えられた場合を
考えよう。

6~120Hz範囲にあるコラムやモジュールの
ローカル振動は 連成して広域の固有振動
秩序を生む 日常的に電子画像が与える周
期光刺激はアニメーション・コンピュータ
グラフィックス(CG)の24Hz (1フレーム毎に忙しく変
わる画面の30Hz(フレーム周波数)と60Hz(フ
ィールド周波数)の3種類であるこれらの入力
が神経回路網の形成が急速に進行中の乳
幼児に持続的に与えられるとその周波数に
同期する機能と神経回路網が選択され他
は疎まれるであろうこれを直接的に証明する
実験はないしかし D.H. HubelとT.N. Wiesel
の“ 大脳皮質視覚野における情報処理に関
する研究 ”(1981年ノーベル生理学医学賞)
と「三つ子の魂 百まで」という諺が示唆を
与える 乳幼児脳は些細と言える程の環境要
因によって可塑的な変化を受ける。

大脳皮質のネットワークングは環境要因に
よる自己組織化である これは 実験しやすい
猫などの小動物の視覚について実証された。
生後間もない時期に目蓋を縫合して片目を
閉じたまま一定期間を過ごさせると、一次視
覚野のネットワークングが阻害される その後、
開眼してもネットワークングおよび機能の回復
は困難である 閉眼しなかった眼の視覚野は
正常である 縦縞しか見せない環境で育てる
と自然環境に戻しても一次視覚野は 生涯
にわたって縦縞にしか反応しなくなる⁴⁸⁾。

人間に関しては 意図的ではないが 図らず
も実験 ”に注目せざるを得ない 伝統的な3角
テント内で生まれ育ったアメリカンインディアン
は 斜線に対して高度な識別能力をもつとい
うアフリカのサバンナで生まれ育つマサイ族
は遠視能力(視力=2~5)に優れ 森林で生ま
れ育つピグミー族は遠近感に乏しいとい³⁴⁾。
これら小動物・人間についての諸例は 色(明
暗) 形(方位) 焦点距離という物理量が 視
覚情報処理機能(多重並列知性論における
空間的知性)に与えた効果である。

一方 振動(振動数 振幅 位相)という物

理量の影響を受けるのは何か 脳は多数の
振動系の連成振動系であるから 視覚野に
限定されず 脳の全域・全機能が影響を受け
る 特に 前頭連合野は 並列する個別知性
や辺縁系を制御・統合し外界との整合を図
るべき超知性を担うから 最も強く影響を受け
る その結果 意図のセンターの鈍麻 PQの低
下を招く 特に 臨界期に受けた不全是殆ど
回復しないから 神経発達障害性疾患となる。
知能が高い程 誘発脳波の高調波成分が
多いとい⁵⁴⁾ 覚醒脳のβ脳波(13~70Hz)の
フーリエ成分が 30Hzもしくは60Hzを除いて
低レベルに偏ることが検出されるであろうか。

6~120Hz範囲内の一定周期の外部入力
は 脳内クロックに“ 似て非なる信号 ”として
働く 基本律動であるα脳波は、低周波数(例
えば 成人脳の $\omega_0/2\pi=12\text{Hz}$)であるこれに共
鳴する入力のfkは低いので 共振モードの分
岐が起こりやすい 大振幅側の振動分岐が
強制されたとき この状態が振動系の間を伝
播する波になり自律同期は破壊され他律同
期に陥るこれが癲癇症状と考えられる 一方、
振幅fが小さいか 振動数γが大きいか ある
いは整数n mが大きい電子画像刺激は 癲
癇を誘発するには至らないけれども 弱い引き
込み共振により自律同期を攪乱する。

自己組織化する脳の特徴は 環境要因に
対して柔軟に対応できることである。
強制同期による攪乱を避けるために 自律同
期のレベルを全面的に低下させる負のフィ
ードバック(自己防御反応=免疫)が自己組織
化される その手立ての一つは 負フィードバ
ックループの増設であるもう一つは シナプスに
おける抑制分子信号の授受であるこれは、
全般的な活力低下を誘発する中毒であり入
力刺激が中断したとき 種々の不快症状 疲れ、
ストレスを感じさせる この電子画像中毒は、
成人脳でも起こり得る。

結局 6~120Hz範囲内の一定周期の振動
入力 自律同期攪乱と自律同期抑制から
なる脳不全の原因となり 不快感と知覚鈍麻
(PQ低下)を現象させる。

[参考文献]

- 36) R.カーソン著 青木築一訳, “沈黙の春”, 新
潮社, (1987)。
- 37) T.コルボーン・D.ダマノスキ・J.P.マイヤーズ
著, 長尾力訳, “奪われし未来”, 翔泳社,
(1997)。
- 38) 立花隆・T.コルボーン, “脳を侵す環境ホルモ
ン”, 中央公論, (1999-8)。
- 39) T.コルボーン他, “環境化学物質の神経毒性
作用” 中央公論 (1999-8)。
- 40) 読売新聞, (2000.1.24)。
- 41) ランダウ・リフシッツ著 広重徹・水戸巖訳, “力
学”, 東京図書, (1974)。
- 42) 武田暁著, “脳と力学系”, 講談社サイエン
ティフィク (1997)。
- 43) 武田暁著, “物理学への招待”, 裳華房
(1992)。
- 44) 武田暁著, “形の科学=複雑系-物理・生物か
ら経済まで”, 裳華房 (1997)。
- 45) 谷本俊郎, “地震がなくても地球はゆれる?”,
バリティ, 14-04 (1999) 56-59。
- 46) 日本経済新聞, (2000.3.24)。
- 47) 内山智香子 “確率共鳴現象に話題集中!”
バリティ 13-06 (1998) 20-27。
- 48) 津本忠治著, “脳と発達=環境と脳の可塑性
=”, 朝倉書店 (1986)。
- 49) J.-P.シャンジュ - 著, 新谷昌宏訳, “ニュー
ロン人間”, みすず書房 (1989)。
- 50) H.ハーケン著, 奈良重俊・山口陽子訳, “脳
機能の原理を探る=非平衡協同現象としての脳神
経活動・行動・認識= ” シュプリンガー・フェアラーク
東京(2000)。
- 51) 米沢富美子著, “複雑さを科学する”, 岩波
科学ライブラリー (1995)。
- 52) S.カウフマン著, 米沢富美子監訳, “自己組
織化と進化の論理”, 日本経済新聞社 (1999)。
- 53) W.L.ディット・F.モス (伏見譲訳), “確率共
鳴が医科学でも見つかった”, バリティ, 12-
06(1997) 91-92。
- 54) 安藤春彦著, “知能とは何か”, 講談社
(1987)。

(次号につづく)