

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[8]

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＝

◎自己組織化に関わるプロセス仮説

脳を振動系の連成体とする取扱いには、実験による現象論的な裏付けが出始めてはいる。現象に共通する形式論理は概して高い普遍性をもつことがあるとは言え、脳の実体は無機質の電気回路ではない。現象を演出する実体の議論は極めて貧しい。それにしても、実体論の欠落は不愉快である。そこで、“想像論”を述べよう。

神経細胞や軸索の発火の連鎖は、回路に沿って電位パルスを伝播させ固有の振動を誘起する。将棋倒しに似ている動作を再び行うには、倒れた将棋の駒を起す“再充電”が必須である。事実、再充電されるまでの不応時間がある。機能性磁気共鳴画像 (fMRI) は、働いている脳部位に酸素添加されたヘモグロビン (動脈血) が集中的に供給されていることを示している。つまり、グルコース燃焼によるエネルギー補給 (代謝) を示している。神経ネットワークの隙間を埋めていて“再充電”を支援する機能・器質が不全ならば、タイミングよく電位パルスが発生・伝播し辛いから、自律同期が困難になるであろう。無秩序運動 (ノイズ) のエネルギーから、秩序運動のエネルギーを汲み取るプロセスとして、確率共鳴は有効なのかも知れない。ゆらぎの範囲内で自発的に起こる状態変化は、可逆的でエントロピー変化を生じない。

睡眠中の脳の基礎代謝は、覚醒時代代謝に劣らず必要とされる。“脳と人間”²⁾の中の記述「ただひとつ確かなことは、十分な睡眠をとっている人で、重い精神病状態になる人が、皆無とまでいわないが臨床体験としてはほとんどないこと。また精神病状態からの回復には過剰なくらいの睡眠が必須の条件であることくらいである」が気にかかる。低血糖症では、グルコースの供給が不足して再充電が間に合わないのかも知れない。精神分裂病の臨床的特徴の一つに、相手との間に霧がかかっている、

あるいはカーテンが引かれているようで意志がストレートに通じ合い難いというスクリーニング現象がある。言語・非言語コミュニケーションともに貧困な昨今の若者に、スクリーニング現象を感じさせられる。

空気中でグルコースを燃やすと、数百度に発熱する。グルコース燃焼が充電エネルギーの源となるには、発熱の少ない酸化反応が 36℃ の体温で起こらねばならない。一般に、数百度の高温で実現する化学反応と同じ進行速度が、触媒が存在すると、室温で実現する。触媒は反応速度を桁違いに増大させるだけで、反応の前後で殆ど変化しないから、微量でも働く。触媒を助ける助触媒を要することもある。生体内反応は、多種多様な生体触媒 (酵素) によって実行されている。神経充電の遅れは、燃料供給の遅れとともに、触媒・助触媒として働くホルモンやビタミンの不足によってももたらされる。

細胞と細胞を繋ぐシナプスでの電気信号と分子信号との信号の担い手交替が順調でないと、電位パルスの連鎖発生と回路内伝播がリズミカルでなくなる。回路中の電位パルスの伝播は、パルスの循環速度に対応した振動数の電位振動を生じる。パルス伝播に停滞があると、回路振動がクロック振動にペースを合せられない。従って、複数の回路の電位振動間の同期も困難になる。外部環境からの入力情報に合わせて、長期記憶されている情報をリアルタイムにワーキングメモリへ呼び出す信号のタイミングも取り難くなる。このとき前頭連合野の働きはチグハグになる。

脳神経細胞ネットワークは、針金製の輪とは異なり、多重・多層・多段階の 3 次元網目である。パルスが伝播すべく選ぶループには多くの自由度があるに違いない。早廻りのループ、遅廻りのループあるいは行き止まりのループがあるだろう。どのループが選ばれるかに応じて電位振動の周波数は異なる。行き止まり箇所があっても脇道があればループは形成される。一つの神経細胞からの出力は一本の軸索に限られるが、入力を受け入れる

◎雑学講座

シナプスは多数あるから、ある細胞を発火させる多数の入力は、それらの位相関係により協力したり競合したりする。

枝分かれの段数が多く、シナプス密度の高い神経網目は、冗長度(余裕)・自由度が高く、クロックを含めて振動系間の同期が容易であろう。同期する振動系が多いとき、各細胞の発火は位相を揃えて生じ、その領域は、脳波として頭皮で検出できるほどの巨視的な領域に及ぶ⁵⁰⁾。大自由度カオスの中に共鳴によって自己組織化される秩序が、知覚・意識なのかも知れない。

◎自然光で進化した視覚脳とブラウン管像

光信号を電気信号に変換(光電変換)する細胞(光受容細胞あるいは視細胞とよばれる)は、網膜の中心部の少し凹んだ微小領域“中心窩”にある錐体細胞(約600万個/単眼)と、広い周辺部に分布する桿体細胞(約1.2億個/単眼)からなる。錐体(cone)と桿体(rod)は細胞の外形に対応し、細胞数では(錐体/桿体)~(1/20)である。桿体細胞は色を感じないで明暗を感知する。錐体細胞は、3原色:赤色R、緑色G、青色Bそれぞれの光に感じる3種類の細胞からなる。そのうち、青色用細胞の数は少なく8%程度、残りはほぼ同数の赤用と緑用の細胞である。普通に物を見るときには物体の像が中心窩に結ばれるように目を動かしたりレンズを調節し、中心窩にある錐体細胞のみが主として機能して精度の高い視覚情報を与えている。一方、非常に暗いところでは周辺部にある桿体細胞のみが機能し、視野の辺境の漠然とした動きを察知する。色情報は得られないが、たった一個の光子にも反応する検出下限をもつ⁴⁴⁾。

網膜には光電変換細胞の他に数種類の細胞があって、変換後の電気信号が処理される。その信号は、視神経を通過して大脳後頭葉にある一次視覚野に送られる。一次視覚野には2500個程度のモジュールがあると推定されている。そのモジュールはカラム集団(ハイパーカラム)であり、平均して15万個程度の神経細胞を含む。各モジュールが受け取る情報は網膜の特定の小視野に対応していて、色、方位等の情報を分担して選択処理する。しかし、網膜上の微小面積しか占めない中心窩情報は、一次視覚野の25%程度を占める領域に拡大して強化処理される。一次視覚野(V1)で処理された情報は高次視覚野(V2,V3,V4等)の処理を経て、形や色の認識と運動や空間の認識は、別々に視覚連合野に送られる⁴⁴⁾。

一つの光電変換細胞の受けもつ視野角は、1分(1/60

度)程度である⁴⁴⁾。ただし、哺乳動物の眼は、視点を300ms程度固定した後、視線の方向角度を3度程度ずらした別の視点に30ms程度で素早く移す断続的運動(saccade)をする。その頻度は3Hzである。パルス光が入射した後の光電変換細胞の膜電位(絶対値)は、20ms程度の潜伏時間の後に立ち上がり、150ms程度でもとの静止膜電位に戻る。電位のピークは、立ち上がり後40~50msでおとずれる。サッケード周期は、再充電時間も考慮し余裕をもって網膜の応答電位に同期している¹³⁾。

テレビ画面(フレーム周波数=30Hz)は、33msで入れ代わるから、サッケード周期内に10画面弱が入射する勘定になる。しかし、光電変換細胞は最初の入力光に応答中である。電子ビームは、ブラウン管画面上の1色当たり(垂直525×水平700)個の画素を、33msで順次に励起・発光させる。1画素の励起時間は90nsである。画素には遅延蛍光体が使われ、励起が終わった後も1~10ms間程度発光する。この蛍光寿命を33msに近付けると、前画面が尾を引くので長くできない。従って、1画面走査33msの間、上から、偶数行(262.5本)を飛び越して、まず奇数行(262.5本)を走査(33/2=16.7ms)し、再び上から偶数行を走査(16.7ms)する。帯状の発光領域は1画面当たり上から下に2回移動する。このとき、我々の眼に入る外力の周波数は、 $\gamma/2\pi = 60\text{Hz}$ である(第1章図2参照)。飛び越し走査をしなければ $\gamma/2\pi = 30\text{Hz}$ であり、周波数 γ が低い程、大きなちらつき感を与える。

光電変換細胞は極めて多数あり、彼等は、0~33msの間に画面上を下降するパルス光領域を分担し、それぞれが150msかけて光電変換している。変換された電気信号が33ms<150msであることに加えて、自然光入力であらかじめ自己組織化されている網膜組織、1次~高次の視覚野や連合野による処理・統合の結果、脳内表現された像は同時刻発光のように見える。それでも、ちらつき(flicker)感が残る。しかも、画面が明るい程、ちらつき感が強まる。これは、周期的な振動入力振幅 f が大きい程、強制振動の非調和項が増し、引き込みを受ける脳内固有振動の周波数範囲が広がるという物理学過程による。

網膜細胞群とV1~V4視覚野および視覚連合野のコラムあるいはモジュールは、それぞれの固有振動数 ω_0 で活動している。 f と γ で特徴付けられる振動入力を引き込み共鳴した振動(振幅 b)が形成される。その結

果として、“同時刻発光像”が脳内表現される。視とは異なる見が得られる。 f が大きく γ が小さい程、振幅 b に課される非線形の程度は増し、自律同期の攪乱が増す。心理学的錯覚は心理的ストレスをもたらして当然である。

外部入力の振動数 γ と振幅 f に加えて位相差を考えねばならない。例えば、14 インチ ブラウン管で個人視聴している場合を考える。画面は、横長さ = 28cm、縦長さ = 21.5cm であるから、一色一画素は、 $100\mu\text{m} \times 100\mu\text{m}$ 程度の面積である。標準的な明視の距離 $\sim 25\text{cm}$ に近い視距離 = 34cm で画面を視るとき、一つの光電変換細胞の視野面積は、 $100\mu\text{m} \times 100\mu\text{m}$ 程度と計算される。このとき、片目につき、光電変換細胞と画素が 1:1 対応する。時刻 $t = 0\text{ms}$ に発せられた画面左上の光点を視た光電変換細胞の出力は $t = 20\text{ms}$ に立ち上がり、 $t = 60\text{ms}$ にピークに達する。画面右下の点は $t = 33\text{ms}$ に発光するから、出力パルスは最大 33ms の位相差をもつ。

近隣の複数の光電変換細胞群の出力は、揃って網膜上の一つの双極細胞に送られる。ある任意の画素を基準とする。その水平に最隣接する右画素の発するパルス光の遅れは 90ns であるから、水平走査される 700 画素全てが同時に発光している。飛び越し走査された垂直下方の第 2 隣接画素光は基準画素から $(1/30) \times (1/525) = 63.4\mu\text{s}$ 遅れるが、基準画素と同時発光とみなされる。しかし、垂直下方に最隣接する画素光は $(1/60) = 16.7\text{ms}$ も遅れるので、行間ちらつき (interline flicker) を生じる。コントラストを高めるために、同時入力した信号をプラス分極とマイナス分極の視野領域に分ける働きの双極細胞は、16.7ms ずれた非同時入力により錯乱される。

いま、14 インチ画面の家族視聴の距離を 3.4m としよう。一つの光電変換細胞の視野面積には、 (10×10) 個程度の画素が入る。これらの画素群単位から出る光は飛び越し走査による位相差も含めて合成され、幅広がり丸みを帯びたパルス光 (第 1 章図 2b) として、一つの光電変換細胞へ入射する。画面上隣接する画素群単位からの合成パルス光は、網膜上隣接する光電変換細胞に入射する。これらの合成パルス光間の位相差は小さいので、隣接する光電変換細胞の出力の位相差も小さい。従って、双極細胞に送られる信号間の位相差も小さい。ブラウン管画像の視聴距離は重視されねばならない。

高精細・大画面のハイビジョンテレビは、臨場感・迫

力ある像を視せるべく、画面の水平視角 (画面を見込む水平の角度) は、30 度程度に定められている⁵⁵⁾。このとき、水平視角 $1800' (=30^\circ)$ 内に、ライン当たり有効画素数 = 1920 が収まる。画面の横/縦比 = 16/9 なので、垂直視角 = $1013'$ 内に有効走査線数 = 1035 本が収まる。光電変換細胞の視角 = $1'$ とすれば、画素と細胞間に、ほぼ 1:1 対応が生まれる。要注意である。

行間ちらつきのない順次走査は次のように行われる。0~17.5ms の間に来た奇数行信号から補間信号を作って偶数行を埋める。16.7ms~33ms の間に来た偶数行信号から作った補間信号で奇数行を埋める。そのフレーム周波数は 60Hz になるから、30Hz のちらつきも回避される (クリアビジョン)⁵⁵⁾。1 画面の始まりと終わりの間の 16.7ms のずれは残る。この中途半端さを通り越すと、アナログ放送用ディジタルテレビとなり、多画面表示等が可能になる。

テレビジョン受信機試験方法 (JIS C 6101, 日本電子機械工業会 CP-250 等) は種々あり、試験結果の評価基準も細かく整備されている。しかもそれらは国際的に整合が図られている⁵⁵⁾。しかし、それらは全て工学的であり、経験的 (「視覚心理評価実験」に頼る) であって、脳生理学的な配慮は皆無である。

生後間もなしの小動物を、縦編視界の代わりに、周期的明滅視界で育てるならば、どのように自己組織化された脳が作られるのか? 重要な実験が残されている。しかし、それよりも画像技術・事業の改革が急がれる。

以上は、パルス発光を宿命とする蛍光画像に固有のトラブルである。液晶の画素表示は、次の書き換え信号まで保持される。液晶画面では、フレームメモリを用いて 1 画面を全面的に瞬時に入れ替えることが容易である。このとき、映画フィルムのコマ送り画像と同じ電子画像が実現される。これは、ディジタル放送について、一層容易に実現できる。このとき、フレーム周波数を 120Hz 以上にすることが望ましい。

◎電子画像痙攣について再考

人間の眼は、可視波長域の中央部の光が視えやすく、両端に近づくほど視えにくくなる。視えやすさの波長分布で最大値 = 1 とする分布曲線を標準比視感度曲線という⁵⁶⁾。経験的に決められた曲線であるが、通常、個人差による標準からの偏差は小さい。ところが、標準比視感度曲線は、明順応している眼と暗順応している眼では異なる。日中は 560nm、夕方は 500nm 付近に極大

◎雑学講座

値が移る。一方、色覚異常に、色盲と、その程度の軽い色弱がある。多くは、赤色盲（赤と青緑色とが灰色に見える）か、緑色盲（緑と紫紅色とが灰色に見える）であって、いずれも赤緑異常（赤と緑とを混同する）を伴う。これらの事実は、視覚情報処理とくに色情報処理の複雑・微妙さを示す。

ここで、恐竜が昼間跋扈していた時代、夜行性で細々と生きていた哺乳類が、今日の我々の先祖であろうとの説を思い出す。カラー視覚の錐体細胞は進化の過程で後から追加されたのではないか。青色 B 細胞の追加が少ないのは何故か。いずれにせよ、カラー光電変換細胞数は不足していて、それを一次視覚野のカラー信号処理能力の拡張で補っているのではないか。太陽光スペクトルのピーク波長と緑葉の反射スペクトルに一致する緑色光に対しては、視感度曲線が最大値になるように進化したであろう。特に、草食動物にはその必要があったであろう。

単純に考えると、一次視覚野に届く青色電気信号は小さく（パルス数が少なく）、赤色信号は大きい（パルス数が多い）であろう。青色と赤色の一定周期の交互点滅は、点滅周波数とその半分の赤青交代周波数の電気信号を一次～高次視覚野～連合野のどこかに与える。それはおそらく、脳が予期していない入力であろう。一方、白黒電子画像を注視するときには桿体細胞も働き、青色と赤色の情報処理系にかかる負担は軽いではなかろうか。

ここで、飛松省三講師（臨床神経生理学、九州大学医学部脳神経病研究施設）らの報告¹¹⁾を再考したい。「ポケモン騒動のとき福岡大学病院に搬送された患者のうち、ひきつけを起こした4少年（8～13才）が被験者である。青色と赤色の交互点滅周波数12Hzが全員に、6Hzが一人に癲癇脳波を誘発した。灰色と黒色の6Hz交互点滅は正常波形、赤色と青色の3Hz、灰色と黒色の3Hz交互点滅も正常であった。全員が発作を起した問題の「ポケモン」画面をモノクロ化して見せると一人だけがごく軽い脳波異常を生じた」。

上記を、癲癇を起こす特徴的傾向に分けて考えてみよう。

- ① 12Hz 周波数で最も起こりやすい。引き込み共鳴による他律同期が低周波ほど生じやすいことに対応する。3Hzの赤 ⇄ 青交互点滅は、少なくとも視覚野に3Hzと1.5Hzの電気信号を同時に送るであろう。おそらく脳神経回路は、1Hz超の心拍数に近い固有振動数をもたず、6Hz付近が下限であろう。12Hzよりも高い周波数に関する実験が切望される。
- ② カラー（青色 ⇄ 赤色）の交互点滅で起こりやすい。少な

くとも一次視覚野には、点滅による12Hzと強弱変動の6Hzの電気信号が同時に入るので、引き込み共鳴による他律同期が起こり易いと思われる。

- ③ モノクロームのコンテンツ画像では低率であっても起こる。
- ④ モノクローム（灰色 ⇄ 黒色）の単なる交互点滅では起こらない。

コンテンツのない④に比べて、③は見る人の興味を引き集中力を高める。注視すると、モノクローム入力であっても中心窩の錐体細胞の負担率が増すのではなかろうか。

癲癇が明滅で誘発される閾値には個人差がある。前述の f_k は、 ω_0 に比例し、固有振動の減衰率の3/2乗に比例し、非線形の度合いに反比例する。閾値が f_k に対応するとの仮説に従えば、脳内の振動減衰が少ないか、あるいは非線形度合いが大きい人ほど、誘発癲癇を受けやすいと言える。

昨今のビデオゲームは、操作する指の皮が剥ける程に子ども達を夢中にさせるという。そして、視距離は短く、画面の占める視角は大きいであろう。このとき、画面のコマ送りが24Hzあるいはフィールド周波数が60Hzであっても、カラー動画の引き込み共鳴作用があると思われる。しかし、前癲癇状態を脳波で観察することができる¹⁾のか。日本光電中四国（株）の協力による私の簡単な実験では、検出が困難であった。 β 脳波の振動数領域（13～70Hz）での、専門家による実験と解析の工夫が望まれる。（次号につづく）

【参考文献】

- 1) J.M. ハーリー著/西村辦作、新美明夫編訳“減びゆく思考力”，大修館書店（1992）。
- 2) 計見一雄著“脳と人間＝大人のための精神病理学＝”，三五館刊（1999）。
- 11) 読売新聞（1999.6.4）。
- 13) 武田曉著“脳と物理学＝物理学は脳を理解できるか＝”，裳華房（1999）。
- 44) 武田曉著“形の科学＝複雑系-物理・生物から経済まで＝”，裳華房（1997）。
- 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）。
- 55) 日本放送協会編“NHK テレビ技術教科書”，日本放送出版協会（1989）。
- 56) 佐藤愛子・利島保・大石正・井深信男編“光と人間の生活ハンドブック”，朝倉書店（1995）。