

神経情報と物理系

大 貫 信^{*}

生物の種々のレベルの問題の中で、神経系による情報処理のレベルの問題の解析に対して、物理で常識的によく調べられている系の解析と比較することによって、神経系のシステム論がごく常識的に理解しうるものを含んでいることを強調する。

神経系はランダムな系で、その研究は、空間的ランダム性と時間的ランダム性から調べられている。前者については、例えば Farley らの計算機実験（長距離のランダム結合回路網で全活動度——興奮しているニューロン数——が脳波に似た振動をする）があげられる。又 Saito らが最近示したようにランダム結合系で局在振動と特性周波数が存在することは、無秩序系統計力学の結果と類似の様相を呈している。Anninos らによると、ランダムな興奮性結合（磁性体との対比では Ferro magnet）のみでは安定的興奮状態でエルゴード性になりたないことがある。このことは逆に、Ferro mag で Curie 点以下でエルゴード性になりたつかどうかについて検討することを要請する。というように、神経系の研究はある物理系の研究と理論的には関連した問題を含んでいて、この事情は時間的ランダムについての研究でも同じである。ここでは時間的ランダム系について物理の常識的システムが有効な面を述べる。

神経信号は細胞体の興奮（ $\sigma = 1$ ）非興奮（ $\sigma = 0$ ）であり、その信号は細胞体電位が閾値（ T ）を越えるかどうかできるが、みかけの細胞体電位は、他の細胞体からの神経軸索が接合するシナプスの電位から閾値を引いたものである。シナプス電位はパルス信号の到着で立上り減衰するのに数 msec かかる。それ故、ある量子時間（通常 1 msec にとられる）ではかって、その数倍以内に 2つの信号が到着するとそれらのシナプス電位が加算（時間加重）され、細胞体電位に寄与する。一方、減衰と時間加重性と

^{*}東海大学工学部通信工学科

4月から住所：北里大学医学部生物物理系，神奈川県相模原市麻溝台 〒228

大貫 信

いう点では、閾値電位は非加重であるから、閾値電位は Δt の巾のパルス電位が常に Δt 毎に細胞体にかかっているとみなせる。この形成的分類は重要で、例えば他の系からシナプスに Δt 位の緩和時間の電位がかけられたとすると（興奮性と抑制性電位の適当なカップリングで起る）それは形式的に閾値と同様の効果を持たらす。それ故神経電位は、振動数 $1/\Delta t$ の高周波成分と $1/\Delta t$ の高周波成分と $1/\Delta t$ 以下の低周波成分とにわけられ、それらが σ の変動（集合平均 $\langle \sigma \rangle$ が議論される）にどのような効果を持たらすかは、雑音（とりわけランダムな高周波成分）のある系での磁化のふるまいを見る問題と類似の現象を呈する。閾値 T とランダムな高周波成分 ΔT からつくられる $\tilde{T} \equiv T - \langle \Delta T \rangle$ を定義すると、 $\langle \sigma \rangle$ は次の式に従う。

$$\langle \sigma_i(n\Delta t + \Delta t) \rangle = f\left(\sum_{j=1}^N a_{ij} \langle \sigma_j(n\Delta t) \rangle / \tilde{T}\right) \quad (1)$$

f : 非線型単調増加関数

これは、 $\langle \sigma \rangle$ の変動が Δt にくらべてゆるやかならば

$$\tau \frac{d}{dt} \langle \sigma_i(t) \rangle = -\langle \sigma_i(t) \rangle + h\left(\sum_{j=1}^N a_{ij} \langle \sigma_j(t) \rangle / \tilde{T}\right) \quad (2)$$

ともあらわされる。

系の環境を決定する ΔT の変化に対する $\langle \sigma \rangle$ を調べる。図 1 の Stage I と Stage III のみからなるシステム（物理では恒温槽中の磁性体）でまず調べる。その結果、 $\tilde{T}$ の増大が脳波の α 波（約 10 Hz） $\rightarrow$ β 波（5 ~ 6 Hz）を持たらすには、結合(a_{ij}) が近距離で興奮性（Ferro）長距離で抑制性（Anti Ferro）であることが必要で、

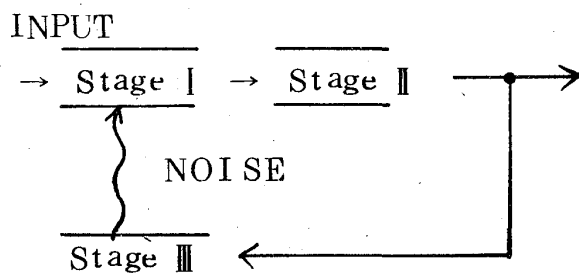


図 1

このようなカップリングは脳では広い領域で解病的に観察されていて、その点では単純な磁性 ($\tilde{T}$ の増大 $\rightarrow$ 高周波成分) と異なる。

脳がさらに、単純な物理系と異なる点は、環境 ΔT が系の出力で決定されるという点で、図 1 の Stage I, III の他に出力 (Stage II) の平均が ΔT にフィードバックされる系 ($\tilde{T} = T - CN \langle \sigma(t) \rangle$) がある。このエデルを式(2)で解析した結果 (Stage I で近距離興奮性、遠距離抑制性、結合密度は距離の指数的減衰、分子場近似) 視覚系の Flicker-Fusion の Kelley の心理実験をよく説明しうる (Flicker-Fusion: 眼に明るさの振動する光 (Flicker 光) を与えたとき、それが振動して見えるかどうかの境界条件は光の時間平均明るさと周波数で可変)。筆者は、Stage I; 外側膝状体、Stage II; 皮質領野、Stage III; 中脳毛様体と予想している。図 1 の Stage I と Stage III からのみなる系は管状の 2 次元神経網に対する脳の心因性刺激効果 (雑音とする) の解析に使われる。式(1)を用いた結果 (2 次元網; 横方向最近接結合のみ、縦方向長距離結合あり、いずれも興奮性のみ), $\tilde{T}$ の変化は管の振動の伝播速度に影響せず波形の変化のみもたらした。この結果は、心因性刺激で管の運動が激しくなるという予想にあわない。そこで、Stage I に Soft Coupling (結合定数が時間的にランダム変動; 磁性体スピンの基台の原子核間距離がランダムに変動; 高分子ではこのような基台間のゆるやかな結合があるかもしれない) を導入すれば、結合定数のゆらぎが高周波のときは、構造形成 (興奮 site 数増大) に伴ない $\tilde{T} (= T - \alpha \sum \langle \sigma_j(n\Delta t) \rangle)$ が減少しゆらぎと構造形成の相乗効果があらわれ、不安定点が存在すると考えられる (簡単のため、分子場近似で図 2)。この解析は今後の課題である。

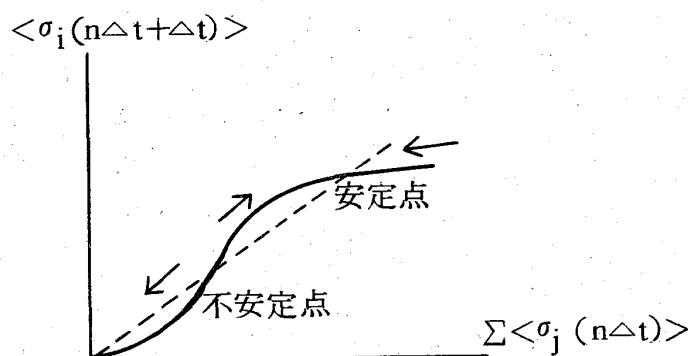


図 2

大貫 信

高次神経活動がすべて物理系と類似であると断定はできないが、類似した部分をつぶしていく必要がある。神経系のある器官に対して他の器官が環境決定として寄与するか或いはいわゆる外場として寄与するのかについて意見のわかれるところである。いずれにせよ、環境によるゆらぎと構造形成の相乗効果が神経系活動にみられるという点で、従来の物理システムに類似していながらそれを多様化、複雑化したものと考えられる。

「核酸および蛋白質合成の情報理論」

阪大理 塚本吉彦

紙数も限られているので、鑄型のエントロピーと媒液のエントロピーの関数形を導出する部分を記述するに止めたい。

核酸および蛋白質合成反応は鎖の開始、伸長、終端の三相に大別される。鎖伸長相では合成部位が鑄型上を一段階ずつ位置移動するにともなって、鑄型単量体に相補的に対応する基質単量体が種別され、続く一連の重合過程によって付加される。これらの合成反応において遺伝的符号の読み取りが行なわれる機構について、現在次のような過程を想定しうるであろう。まず、合成の場の吸着部位に基質単量体が衝突し、相補性の判別のために接触する。塩基符号以外の部位で吸着が行なわれると考えるのが適当であろう。次に、その基質単量体が鑄型単量体に対して相補的な場合には、それはさらに強く吸着されて後続の重合反応が進むが、他方、非相補的な場合には、その基質単量体は吸着部位から離脱していく。非相補的な基質単量体が判別のために吸着部位を占有している期間には、相補的な基質単量体が衝突してもはねかえされて吸着部位に到達できないから、いわば類似物による可逆的拮抗阻害が起る。合成の場の吸着部位に到達できる衝突のみが選択のための接触が行なわれる実効衝突である。

通信工学においては、通報を二元符号の時系列に変換して伝送するが、その場合の個