

参 考 文 献

- 1) T. Taniuti and C.C. Wei, J. Phys. Soc. Japan 24 (1968), 941.
- 2) A.C. Newell and J.A. Whitehead, J. Fluid Mech. 38 (1969), 279.
- 3) P. Glansdorff and I. Prigogine, "Thermodynamic Theory of Structure, Stability and Fluctuations" (Interscience, New York, 1971), Part III.

興 奮 の 伝 播 と 興 奮 性 膜 の 形 成 過 程

北大・薬 相沢洋二, 小島陽之助

§ 1. はじめに

興奮現象は興奮ドメインと静止（非興奮）ドメインの間に生じる渦電流により誘起される広い意味の相転移（散逸的構造）である。この強い散逸的な相互作用をぬきにしは膜の興奮性機能を議論する事は出来ない。この小論の目的は、rate equation によって膜系に於ける渦電流の働きを明きらかにする事である。そのために二つの現象に注目する。一つは神経内の興奮の伝播であり、他の一つは興奮性をもたない膜が興奮性機能を有する膜に進化してゆく現象である。

§ 2. 興奮の伝播

膜上に分布している active domain の中で興奮しているドメインの割合を P とし、膜間電位差を V とする。この二つの変数によって興奮現象は記述される。興奮の基礎方程式を神経細胞にそって一次元であると近似する。興奮の rate, $\frac{dP}{dt}$ および膜電位の時間変化は次の式で与えられる。

$$dP/dt = k_1(V - V_c)P(1-P) - k_2P \int_{-\infty}^t (V(t') - E_r) e^{-\frac{t-t'}{T}} dt' + k_3 \frac{\partial V}{\partial x^2} \quad (1)$$

$$dV/dt = \frac{-1}{c} \{ P g_a(V - E_a) + (1-P) g_r(V - E_r) \} + k_4 \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} \quad (2)$$

ここで、 $k_1 \sim k_4$ は rate const. E_r, g_r (or E_a, g_a) は静止 (or 興奮) ドメイ

ンのコンダクタンスと起電力であり、 C はキャパシタンスである。(1) 式の右辺第1項は閾値電位 V_c によって渦電流の強さ ($\propto P(1-P)$) が制御されている事を示す。第二項は、輸送されたイオンの膜面上への累積等の効果によって、静止状態に戻そうとする効界を示す。 T はイオン累積に代表される余効時間と考える。第三項は長距離の渦電流の外向き部分 ($\propto \frac{\partial^2 V}{\partial x^2}$) に比例する効果のある事を仮定したものである。基本式 (1), (2) に於いて、電氣的パラメーターは実験からの測定値を用ひ、 $k_1 \sim k_4, T$ および境界条件を適当に選ぶ事によって、実験的に得られている神経内の活動電位の孤立波 (ソリトン) が得られる。これは、分散性媒質に於いて知られている多くのソリトンとは異り、散逸的な媒質に生じる時間一空間的秩序 (散逸構造) の一例である。この孤立波の性質について数値的な結果が得られているがそれらについては原論文を見て頂きたい。

§ 3. 興奮性膜の形成過程

ニテラ (藻の一種) の節間細胞の原形質を適当な塩溶液に滴下すると、ドロップを形成する。このドロップの表面膜は形成初期には、おもに脂質で構成されており、興奮性機能はない。しかし、ほぼ一時間の潜伏時間の後に適当な量のタンパク質 (もともと原形質に含まれているもの) が脂質の間に侵入する事によって突然に興奮性機能が発生する。膜を構成している物質系の構造形成に伴って興奮性機能という散逸構造が形成されてくる点に、この現象の興味がある、興奮性機能を記述する変数として、§ 2 と同様に P と V を考える。さらに、膜の物質組成を示すものとして、脂質及びタンパク質の濃度 x 及び y を選び。それらについての rate equation は、

$$dx/dt = k_1(1-x-y) - k_2 x \quad (1)$$

$$dy/dt = k_3(y_0 - y) \quad (2)$$

$$dP/dt = k_4(V - V_c)P(1-P) - k_5 \cdot P(1-y) \quad (3)$$

$$dV/dt = \frac{-1}{C} \{ g_a P(V - E_a) + g_r (1-P)(V - E_r) \} y - K_5 g_\ell (1-P)(V - E_\ell) \quad (4)$$

を仮定する $k_1 \sim k_5$ は rate const. y_0 はタンパク質の平衡濃度。 $V_c, E_a, E_r, g_a, g_r, C$ は § 2 の場合と同じ定数。 g_ℓ, E_ℓ の脂質の領域のコンダクタンスおよび起電力を示す。(3), (4) 式の意味は § 2 の場合と同じであるが、(3) 式の右辺第二項は、脂質領域では渦電流が消失する効果を示す。物質系の反応式 (1), (2) は簡単な一次

相沢洋二，小島陽之助

式を仮定している。物質組成は，(3)式の第二項を通じて，興奮性機能に影響を与えるが，逆の影響は無視している。興奮性機能は，電氣的なものであるため，(1),(2)式の反応に比べて非常に速い変化をする。そのため， $dP/dt = 0$ ， $dV/dt = 0$ として得られる準定常状態が実験的に得られると考えられる。(3)式が三次式であるため，一般に三つの準定常状態が得られるが，タンパク質濃度 (y) が低い場合には，静止状態に対応する一つの準定常状態しかないが， y の増加に伴って興奮及び閾値状態に対応する準定常状態が発生する。(1)～(4)式から，膜抵抗及び膜電位の時間変化が得られて，それらは実験と良く一致する。詳細については省略したので原論文を見て頂きたい。また，ここでは議論しなかったが，興奮過程に伴ひ，タンパク質や脂質の膜構成成分自体が大きく入れ換っていることが最近実験的に明きらかになった。さらに興奮時にエンタルピーその他の熱力学的量が丁度一次転移の様に不連続に変化をする。

このような点を考慮すると，膜系の興奮現象は構成成分の入れ換えまで含めた開放系に於ける広い意味の相転移と考えなくてはならない。このような場合の興奮性膜の統計理論が今後の課題である。

レーザー作用における非線型揺動

東大・理 柴田 文明

§ 1. 序

レーザー発振の理論は多くの人々によって展開されているが¹⁾，その手法はいずれも電磁場を表わす演算子 b^+ ，物質系を表わす演算子 S^+ ， S^- ， S^0 に対する Langerin eqs. を立てるか，あるいは適当な方法により分布関数の式に直して Fokker - Planck 型の方程式を議論するという形式をとっている。その際問題となるのはレーザー系における巨視変数は何かという点であるのだが，従来の扱いによればそれは b^+ であり S^+ 等であるということになっている。しかしレーザー系は非平衡状態にある典型的な統計力学の問題であるという認識に立てば取り扱いには以下に示すように，ただ Fokker-Fokker 形にすればよいというようなものではなくなる訳である。