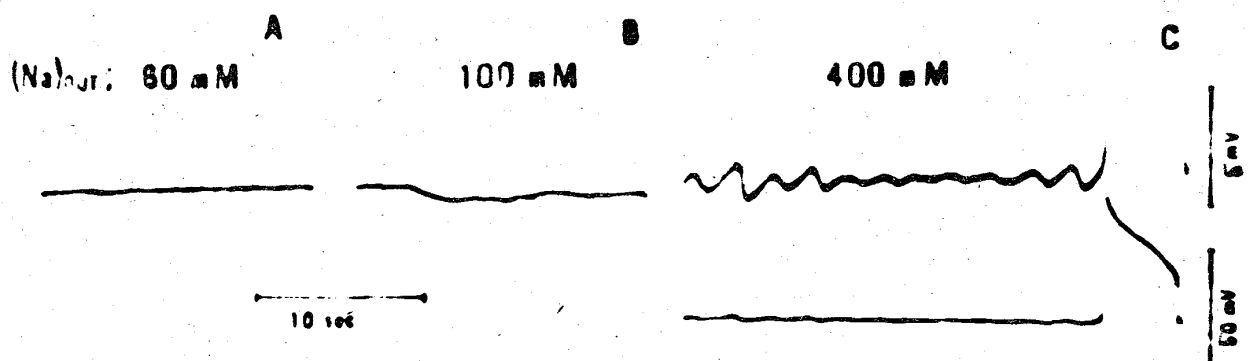


興奮性生体膜の機能

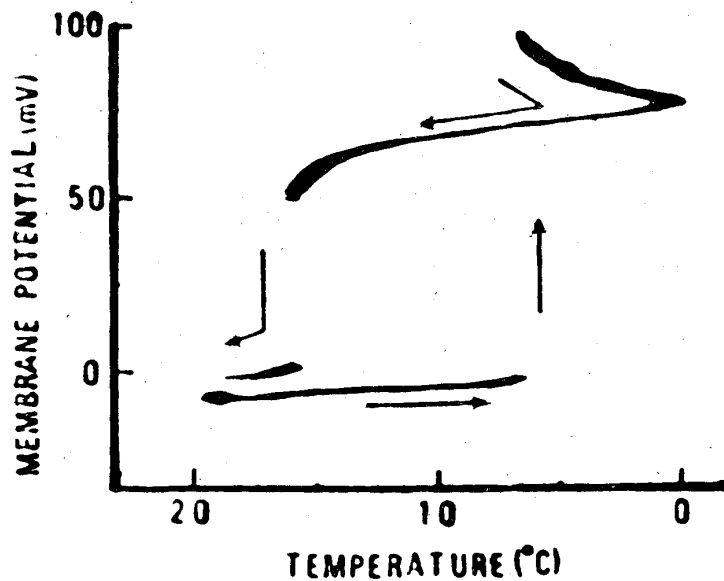
北大葉 小 畠 陽之助

神経膜の興奮と相転移

約10年前イカの巨大神経の研究に導入された細胞内灌流技術は、1950年代に確立された神経興奮に対する電氣的等価回路に基く現象論的解釈を大きくゆさぶった。すなわち神経の興奮は Na^+ とか K^+ という特定のイオン種の一過性膜透過係数の変化によって起るのではなく、むしろ膜系において起る何等かの転移現象とみなすのが妥当であることが次第に明らかになって来た。膜が転移を起すことが興奮現象の発現になるという考えは、最近実測された興奮時一過性に発生する熱や、複屈折、光散乱など神経の光学的性質の変化からも支持される。また蛍光色素による解析から疎水性膜から親水性の膜に転移することも検出された。どの様な形の刺激であれ、わずかな刺激エネルギーが引金になって膜構成分子の集合状態が変化を起すとすれば、神経膜ばかりでなく感覚受容器膜の特異的なしきも効率の極めて良いエネルギー変換も統一して考えることができそうである。事実神経膜の相転移を起させる原因は、電気刺激とは限らず外液の塩濃度の変化でも、温度の変化でも、また薬物による刺激でも差支えない。図1および図2に



(図1) イカ神経の塩環境による興奮と、転移直前の電位揺動、内液 30 mM CsF 、外液 100 mM CaCl_2 に NaCl を順次増加して入れてある。



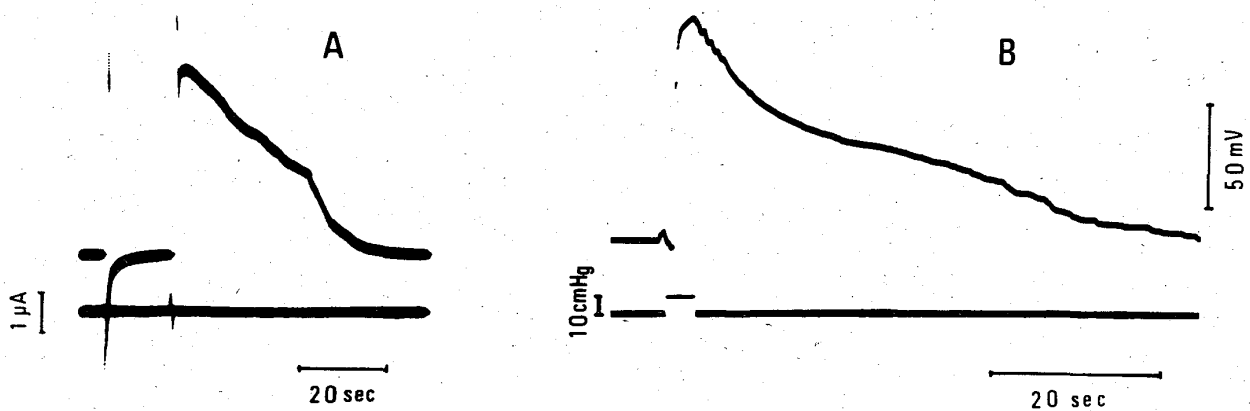
(図2) イカ巨大神経の温度変化による興奮内液 15 mM CsF, 外液 100 mM CaCl₂ + 100 mM NaCl

イカ巨大神経の興奮現象(膜電位の不連続変化)を温度および塩組成を変えることにより起させた時の例を示す。転移する直前の電位の同調的揺動および履歴現象は、興奮現象がある種の転移と考えて良いことの証拠となる。また図2の温度による履歴現象は外からわずかな交流電場を与えると消失する。過飽和や過冷却の現象が外からの perturbation を加えると消滅するのと同じである。しかしながら興奮する主要部分は 100 Å 位の非常に薄い膜で、細胞全体の 0.01% にも足りない。上述のような結果が出て、この様な微少部分で膜が相転移を起していると結論するためには現在はいまにも不明な点が多すぎる。そこで外部条件、たとえば塩組成のわずかな変化で分子の集合状態が変わる様なモデル膜を作ることができたら、相転移を起したときに膜現象がどのように観測できるか、あるいは膜が相転移を起すだけで生体膜の興奮現象が発現できるかどうかを検討できよう。

転移を伴うモデル膜

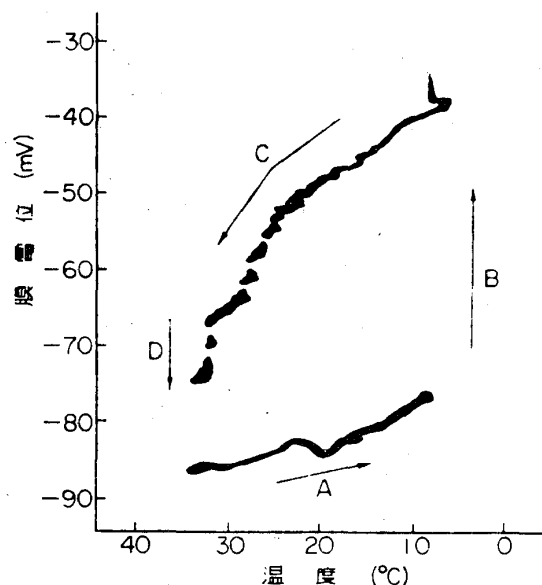
dioleylphosphate (DOPH) という合成リン脂質類似物質は天然のリン脂質と同

様に適当な外部条件の下にミセルを作ったり脂質二重膜を作る性質を持っている。この DOPH をミリポアフィルターに適当量吸着させて塩溶液に浸すと塩濃度の高い所と低い所で明らかに異った性質を示す。ある臨界濃度 C_t を境として、低濃度側では疎水性の油状膜、高濃度側ではミリポア中に数多くの脂質二重膜ができて親水性の膜になる。従って膜両側の塩濃度 C_1 と C_2 をちょうど C_t の両側になるような条件で、圧力差を掛けたり電流を流して膜内塩濃度を変えることにより膜の性質が急変することが期待できる。図 3 に DOPH-ミリポア膜に電流および圧力刺激を与えたときの電圧応答を示



(図 3) DOPH-ミリポア膜の電流および圧力刺激による興奮, 外液
1 mM, : 125 mM KCl

す。膜が相転移を起すことにより少なくとも形式的には生体膜の興奮性を再現できることがわかる。さらに外部条件を適当に選べば、さまざまな生体膜現象をこの転移を伴うモデル膜により実現することはむずかしいことではない。図 4 には温度変化による DOPH-ミリポア膜の電位およびその履歴現象の一例を示した。図 2 に示したイカの神経の温度による電位変化と完全に対応できよう。

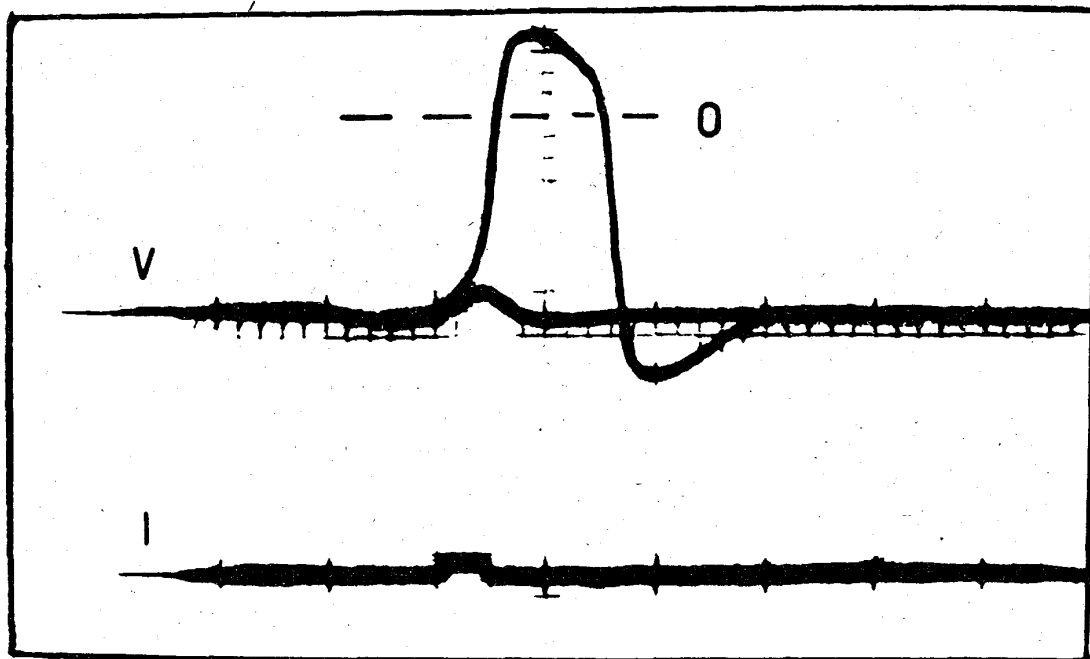


(図4) DOPH-ミリポア膜における温度変化による興奮とその履歴現象

理論的問題

膜現象は電流が流れたり、イオンが透過している非平衡の現象である。膜の構造自体も非平衡状態で形成され機能を出している。今迄述べてきた膜が転移を起すというのは平衡系としての考え方で、非平衡系において平衡系と同じような普通の転移を考えてよいかどうか疑問である。事実膜自体が全く転移を起すことがあり得ないガラスフィルターを用いても外部条件を適当に選ぶと、活動電位やその他生体膜特有と思われる特殊な刺激-応答関係を出すことが可能である。図5にガラスフィルター系で観測された活動電位の図を示す。これは一つの定常状態から別の定常状態への“広い意味の転移現象”と考えられる。二つの定常状態間の転移は、例えば半導体中のフォノンの不安定性、レーザーの発振現象、気体プラズマの発振、流体の熱不安定性など物質系において広く観測される現象である。平衡系における相転移が自由エネルギー極少で規定されるのに対して、広義の転移は何を極少にして記するのかという問題は、現在物理学において一般論としては未解決の問題である。この原理が判れば、ガラス膜系の興奮性も、DOPH

ーミリボア系も，また生体膜の興奮も同一の理論体系の中にはいるのかもしれない。



(図5) ガラスフィルター膜の電流刺激による興奮現象(活動電位)，外液 0.1M: 0.01M NaCl .

原生生物の感覚受容，運動，走性

九州大学・理学部 太和田 勝 久

- 1) 原生生物は単細胞生物で通常 $20\mu\sim 500\mu$ の大きさである。
- 2) 走性には，2種類ある。
 - (a) 細胞の前後の刺激強度の差を感知する。
 - (b) 刺激強度の時間変化を感知し，一種のブラウン粒子的運動をしながら走性を示す。