

## 神経膜における Na チャネルの協力的相互作用

阪大基礎工 三井利夫

先に  $N_a$  チャネルと脂質 2 層膜からなるモデルについて論じ、膜の興奮を相転移との関連で説明した<sup>1)</sup>。その際チャネル間の相互作用は Bragg-Williams 近似のパラメータで表わすにとどめた。従って次の問題はそのような相互作用が実体的にどのようなものかということになる。一方 Hille によると、<sup>2)</sup> イカの巨大神経軸索における  $N_a$  チャネルの平均間隔は  $6000 \text{ \AA}$  であり、lobster の場合  $3000 \text{ \AA}$  である。従って  $N_a$  チャネル間に相互作用があるとすればそれはかなりの長距離力でなくてはならない。

1つのチャネルが開くと、そこを流れる電流のため当然他のチャネル近傍のポテンシャルが変化する。以下このような形のチャネル間相互作用を出来るだけ厳密に扱ってみる。結果はこの種の相互作用がかなりの強さを持った長距離力であることを示すこととなる。

考察の対象にする系を図 1 に示す。すなわち、厚さ  $2a$  の平板状の膜を考え、その一面は電導度  $\sigma_1$  なる外液に接し、他面は電導度  $\sigma_2$  なる内液に接しているものとする。膜の両側  $L-a$  なる距離に平面電極を置き、

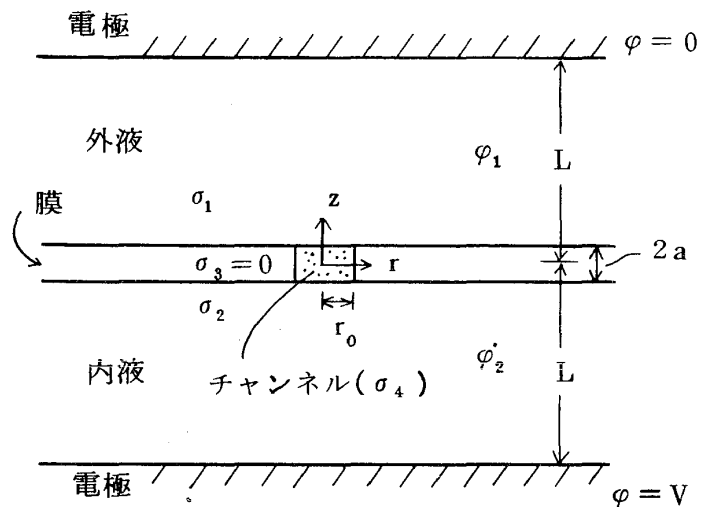


図 1 膜とチャネルのモデル。膜厚  $2a$  とチャネルの半径  $r_0$  は誇張して描いてある。

液 1 側の電極の電位を 0, 2 側のそれを  $V$  とする。開いた状態のチャネルは膜にあいた半径  $r_0$  の同筒状の孔と考え、これを通して一定密度  $j_0$  なる電流が流れているものとする。この孔の中心に座標原点をおき、円筒座標  $r$  と  $z$  とを用いる。チャネル以外の膜部分の電導度は 0 とし、チャネル部分の電導度はチャネルの開いた状態  $\sigma_4$ , 閉じた状態で 0 とする。チャネルが開くと、通常の下条件下では、 $10^{-10} \text{ sec}$  程度で定常状態に達するものと予想される。従って定常状態における外液中のポテンシャル  $\phi_1$  と内液中のポテンシャル  $\phi_2$  とを求めることとなる。得られた結果は次の如くである。

$$\varphi_1 = \frac{j_0 r_0}{\sigma_1} \int_0^\infty \frac{J_1(Cr_0) J_0(Cr)}{C} \cdot \frac{\sinh\{C(L-z)\}}{\cosh\{C(L-a)\}} dC, \quad (1)$$

$$\varphi_2 = \frac{j_0 r_0}{\sigma_2} \int_0^\infty \frac{J_1(Cr_0) J_0(Cr)}{C} \cdot \frac{\sinh\{C(L+z)\}}{\cosh\{C(L-z)\}} dC + V. \quad (2)$$

ただし、 $J_0$  と  $J_1$  は 0 次と 1 次の Bessel 関数で、 $C$  は積分変数である。 $L$  を大きくすると(1)式は次のようになる。

$$\varphi_1 = \frac{j_0 r_0^2}{2\sigma_1} \cdot \frac{1}{\sqrt{r^2 + Z^2}} \quad (3)$$

$\varphi_2$  についても似た式を得る。すなわち、チャネルが開いたことの影響はクーロンポテンシャルに相似の形で遠くまでおよぶ。

次に、Voltage Clamp の条件下で観測を行なっているものと考え、全体の電位が Self Consistent になるように  $j_0$  をきめ(1), (2)式に入れる。結果は大きな  $L$  に対して次のようになる。

$$\varphi_1 = \frac{1}{2\pi\sigma_1} \cdot \frac{V - V_{Na}}{R_1 + R_2 + R_4} \cdot \frac{1}{\sqrt{r^2 + (Z-a)^2}}, \quad (4)$$

$$\varphi_2 = -\frac{1}{2\pi\sigma_2} \cdot \frac{V - V_{Na}}{R_1 + R_2 + R_4} \cdot \frac{1}{\sqrt{r^2 + (Z+a)^2}} + V. \quad (5)$$

ただし、 $V_{Na}$  は  $N_a$  に対する平衡電位で、外液と内液における  $N_a^+$  の濃度できまり、海水中におかれたイカの神経軸索で 60 mV 位である。また  $R_i$  は次のような抵抗である

$$R_1 = \frac{1}{\pi\sigma_1 r_0}, \quad R_2 = \frac{1}{\pi\sigma_2 r_0}, \quad R_4 = \frac{2a}{\pi\sigma_4 r_0^2} \quad (6)$$

このような結果に基づいて、1つのチャネルが開くことが他のチャネルが開くことをどの程度に強くさそうか或いは抑制するかを調べると、 $V < V_{Na}$  でこの相互作用が協力的であること、つまり1つのチャネルが開くことが他のチャネルを開くようにさそうこと

三井利夫

が導ける。 $V > V_{Na}$  ではこの相互作用の符号は逆になる。このことから不応期の存在についてかなり合理的な説明ができる。なお、Kチャンネルに関しては、通常の状態では  $V > V_K$  なので、相互作用は抑制型と予想される。

$V < V_{Na}$  における相互作用は、上述のように、 $L$  を大きくすると距離に逆比例するような長距離力で、従って多チャンネル系を考えて求和を行うと当然発散する傾向を示す。現在詳しい検討を行なっているが、いずれにしても、 $N_a$  チャンネル系は非常に強い協力的相互作用のある系と言ってよさそうである。

#### 参 照 文 献

- 1) T. Mitsui : Collective Phenomena Vol. 1. No. 4 (1974).
- 2) B. Hille : Progress in Biophysics Vol. 21 (1970) p. 3.