

### 化学ポテンシャル

化学ポテンシャル  
(部分モル自由エネルギー)

out	in
$A_o$	$A_i$

$$\mu_o = \mu^\circ + RT \cdot \ln A_o$$

$$\mu_i = \mu^\circ + RT \cdot \ln A_i$$

$$\Delta\mu = \mu_i - \mu_o = RT \cdot \ln(A_o/A_i)$$

T: Kelvin 温度

R: ガス定数(2cal · mol<sup>-1</sup> · K<sup>-1</sup>)

### 電気ポテンシャル

電気ポテンシャル---電荷を分子がもっていれば電位ができる

out	in
$A_o^+$	$A_i^+$
$V_o$	$V_i$

$$G_o = zFV_o + G^\circ$$

$$G_i = zFV_i + G^\circ$$

$$\Delta G = G_o - G_i = zF(V_o - V_i)$$

V: 電位

F: ファラデー定数(2.3 x 10<sup>4</sup> cal · V<sup>-1</sup> · mol<sup>-1</sup>)  
(96500クーロン · mol<sup>-1</sup>)

z: 電荷数

### 電荷をもった物質の濃度差の持つエネルギー

$$\Delta\mu_A^{z+} = \Delta\mu + \Delta G = RT \cdot \ln(A_o/A_i) + zF(V_o - V_i)$$

$V_o = 0$  mV とすると

$$\Delta\mu_A^{z+} = -zF \cdot V_i + RT \cdot \ln(A_o/A_i)$$

ここで平衡時を考えると  $\Delta\mu_A^{z+} = 0$

$$zF \cdot V_i = RT \cdot \ln(A_o/A_i)$$

$$V_i = RT/zF \cdot \ln(A_o/A_i) \text{ -----ネルンストの式}$$

$V_o = 0$  mV としたときの平衡時の電気化学ポテンシャル

### 熱力学の単位と定数

Gas constant (R)

$$R = Nk_B$$

$$R = 1.9872 \text{ cal} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$R = 8.3145 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$R = 0.08206 \text{ L} \cdot \text{atm} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$$

Avogadro's number (N)

$$N = 6.0221 \times 10^{23} \text{ molecules} \cdot \text{mol}^{-1}$$

Coulomb (C)

$$1 \text{ C} = 6.241 \times 10^{18} \text{ electron charges}$$

Faraday (F)

$$1 \text{ F} = N \text{ electron charges}$$

$$1 \text{ F} = 96,494 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1} = 96,494 \text{ J} \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$$

Kelvin temperature scale (K)

$$0 \text{ K} = \text{absolute zero}$$

$$273.15 \text{ K} = 0^\circ \text{C}$$

### 平衡電位を求める

$$RT/zF = \frac{\frac{\text{ジュール}}{\text{mol} \cdot \text{K}^\circ} \cdot \text{K}^\circ}{(z) \frac{\text{ジュール}}{\text{ボルト} \cdot \text{mol}}} = \text{ボルト}$$

$$\text{平衡電位} (\Delta\psi) = RT/zF \cdot \ln(A_o/A_i)$$

$$= \frac{8.314 \times 298}{1 \times 96500} \times 2.303 \cdot \log(A_o/A_i)$$

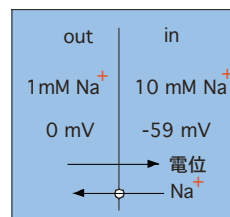
$$= 0.059 \cdot \log(A_o/A_i) \text{---volt}$$

### 平衡膜電位の実例

$$\text{平衡電位} (\Delta\psi) = 0.059 \cdot \log(1/10)$$

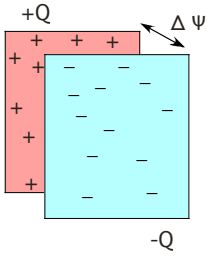
$$= -59 \text{ mV} \text{ ---拡散電位}$$

$$1 \Delta \text{pH} = -59 \text{ mV}$$



釣り合った状態 (平衡電位)

どのくらいのイオンが動くか？



$C = Q / \Delta \psi$   
 Q: 電気量[C]  
 C: 電気容量[F]⇒ファラド  
 $\Delta \psi$ : 電位[V]

1[F]とは1[C]の電荷を蓄えたときの電位差が1[V]になる量

1[C]= 2つの等しい量の電荷を1m離して置いたときに $9 \times 10^9$ Nの力を及ぼしあう状態

1[V]= 1[C]の電荷をBからAまで移動させるのに1[J]の仕事をする必要とする電位差

Joule (J)

$1J = 1 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$

$1J = 1 \text{ C} \cdot \text{V (coulomb volt)}$  ∴  $[J] = [V] \cdot [C]$

$1J = 1 \text{ N} \cdot \text{m (newton meter)}$

神経軸索の電気容量

$C = 1 \mu\text{F}/\text{cm}^2$  -----神経軸索の電気容量

1 mVの電位差を作るためには

$Q = C \cdot \Delta \psi$   
 $= 1 \times 10^{-6} \times 10^{-3}$   
 $= 10^{-9}$ クーロン/cm<sup>2</sup>

1価のイオン1モル=96500クーロン⇔ $10^5$  であるから

$Q = 10^{-9}$ クーロン/cm<sup>2</sup>⇒ $10^{-14}$  モル/cm<sup>2</sup>

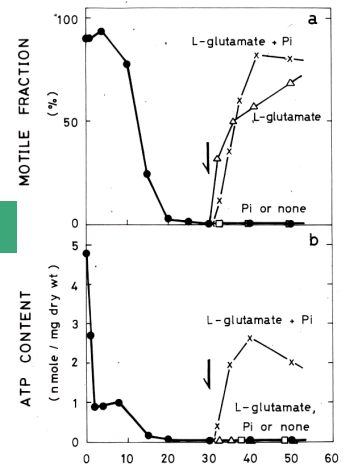
∴  $= 6 \times 10^9$  イオン/cm<sup>2</sup>  
 $= 60$  イオン/μm<sup>2</sup>

非常に少ないイオンの移動で電位は形成される。巨視的にはイオン濃度の変化はほとんどない。

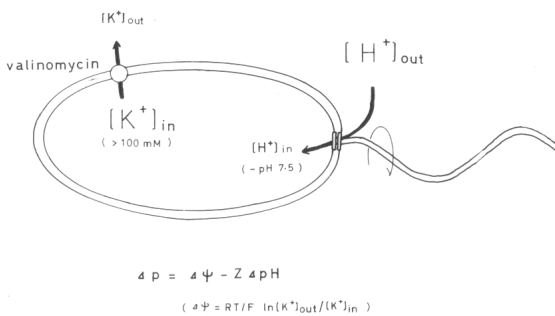
バクテリアの運動



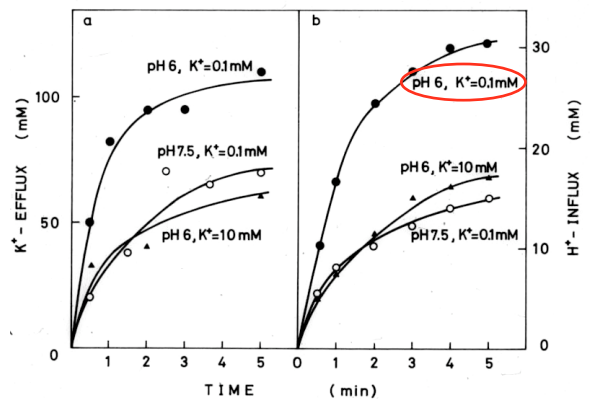
ATP量とべん毛運動



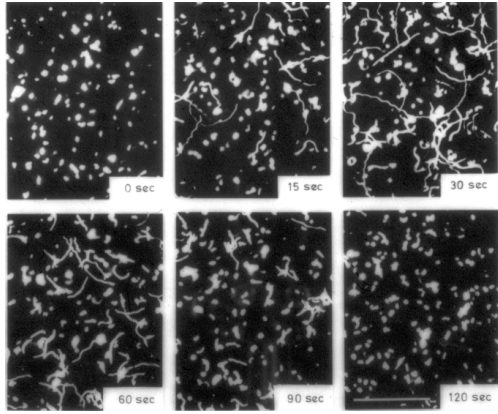
プロトン駆動力と運動



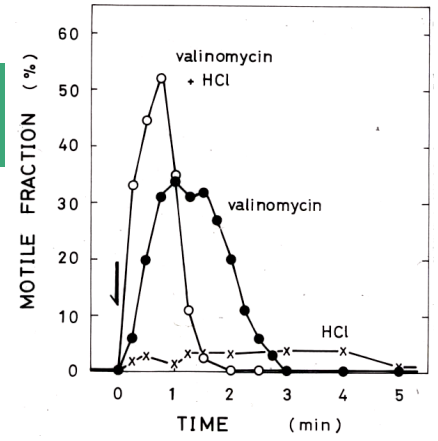
外液条件によるK<sup>+</sup>とH<sup>+</sup>の流入出



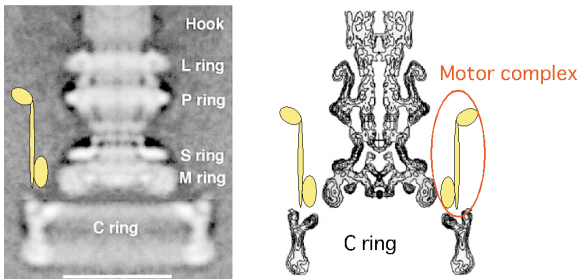
人工プロトン駆動力による枯草菌の運動を観察



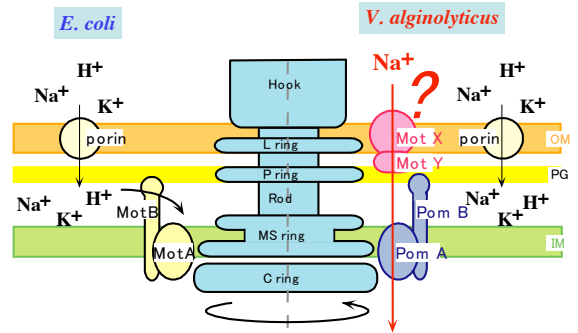
拡散電位による  
べん毛運動



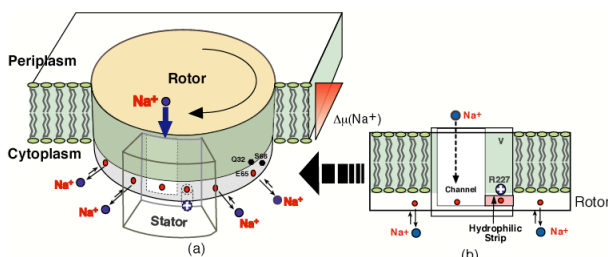
Motor Structure of flagella



最新のNa<sup>+</sup>型モーターの模式図



イオン流入と回転共役のモデル



プロトンと共役して回転するべん毛

(ストライアー生化学5版より引用)

