

イオンチャンネルとミセル化平衡

日大生産工 ○山川 一三男, 三木 久美子, 中島 豊比古

1 緒言

動物細胞の細胞膜には, ATPをエネルギー源として能動的にナトリウムイオンをくみ出し, カリウムイオンをくみ入れるカチオン輸送系が存在している。この輸送系がナトリウムポンプであり, 細胞膜を介して存在するナトリウムイオンとカリウムイオンの濃度勾配を維持する働きをしている。このポンプの特色はナトリウムイオンのくみ出しと, 細胞内へのカリウムイオンのとりこみが共役系であり, 両方のイオンとも能動的に輸送されることである。この濃度の違いを使って神経細胞は電気的な信号を発生し, 生体内での, 情報の伝達と情報の処理という役割を担っている。この仕組みで最も重要なものは細胞膜の両側に貫通し特定のイオンだけを通す小さな穴を持ったイオンチャンネルと呼ばれる膜タンパク質である。通常は細胞内のナトリウムイオン3個を外にくみ出すと同時に外液のカリウムイオン2個をくみ込む機能をもつナトリウムポンプと, 内部のカリウムイオンを選択的に外部へ透過させるカリウムチャンネルが細胞膜に存在して, 細胞内外のイオン濃度の差を生じて-70mVに分極しているのである。ところが, 細胞内の電位がプラス方向に少し変化すると, 電位差依存性のナトリウムチャンネルが働き出し, 外部のナトリウムイオンが内部に取り込まれ電位がさらに上昇する。この電位変化がさらにナトリウムチャンネルの活動を活発にして細胞内の電位を一気にプラスにまで押し上げる。電位がプラスになるとナトリウムチャンネルは閉じてしまい, 代わってカリウムイオンを内から外に運び出す電位差依存性のカリウムチャンネルが作動を開始する。

このように生体内において, カリウムイオンとナトリウムイオンの濃度勾配は重要な役割を担っている。この濃度勾配により生ずる機構に関しては, 膜電位の発生機構として詳細な報告があるが, 濃度勾配を維持する本質的な機構に関しては検討がなされていない。

また, デカン酸のアルカリ金属塩において, リチウム塩はミセルを形成せず, 常圧ではKrafft点も存在しないこと, 一方ナトリウム塩はアルキル鎖の炭素数が7以上であればミセルを形成することを報告した。対イオンと共通のイオンを有する塩を添加した場合, 臨界ミセル濃度(cmc)は添加塩の種類や電荷による影響を受けないといわれている。今回, 対イオンとしてカリウムイオンを用い, ドデカン酸カリウム水溶液およびカリウムイオンを添加した溶液の電気伝導度データを解析すること, またドデカン酸カリウムのcmcの変化を求め, ドデカン酸のアルカリ金属塩と添加アルカリ金属塩の異なるパターンの溶液の伝導度を測定し, ドデカン酸イオンが形成する荷電ミセルに影響するカリウムイオンとナトリウムイオンの差異を検討した。

これらの知見を総合し, ミセル形成時におけるナトリウム塩とカリウム塩のミセル化平衡定数の差異をもとに, 生体膜におけるイオン輸送を平衡論的に解明し, 濃度勾配を維持する機構の解明に取り組むものである。

2 実験方法

ドデカン酸カリウム(DK)水溶液および添加塩として塩化カリウム, 塩化ナトリウムを用いて電気伝導度を測定した。また, 添加塩として塩化カリウムを用いたドデカン酸ナトリウム(DNa)水溶液の電気伝導度を測定した。測定は, 添加塩の一定濃度溶液を調製し, ドデカン酸塩を種々の量加えた溶液で行った。電気伝導度の測定には東亜電波工業社製電導度計CM-50ATを用い, セル定数 $1.000 \times 10^{-1} \text{ cm}^{-1}$ のセルを使用した。測定温度は 25 ± 0.1 である。

密度測定は, 京都電子工業社製の振動型密度比重計DA-300を用いて 25 ± 0.01 で測定した。振動周期 T の値より密度を算出した。

The Micellization Equilibrium and the Mechanism of Ion Channel

Isao YAMAKAWA, Kumiko MIKI and Toyohiko NAKAJIMA

3 実験結果および考察

ドデカン酸カリウム水溶液に塩化カリウムを添加した水溶液の伝導度測定結果を、Fig.1に示す。荷電ミセルの泳動速度が単量体イオンよりずっと遅く、また強い対イオン結合によってミセルの実効電荷が大きく下がるため、ミセル形成後の溶液の電解伝導率 κ は下がったものと思われる。また図より、塩化カリウムの増加とともに cmc は低濃度側にシフトしていくことがわかる。これは、ミセル形成に際してドデカン酸イオンの間の静電反発が添加塩によって抑えられるためと思われる。cmc以後の濃度における直線の傾きはほとんど同じであり、ドデカン酸イオンの場合、塩化カリウムの添加により、形成するミセルの会合数にはそれほど差異がみられないといえる。この結果はドデカン酸ナトリウム水溶液に、塩化ナトリウムを添加した場合にも観察され、ドデカン酸イオンの形成するミセルの形状は添加塩により大きく変化しないと言える。

荷電ミセルは対イオンを強く引きつけてそれらをミセル周辺に固定し、その結果ミセルをつくるイオン間の静電反発が弱まりミセルは安定に存在することができる。Fig.2はドデカン酸イオンに対し、対イオンとしてカリウムイオンおよびナトリウムイオン、添加イオンとしてカリウムイオン、ナトリウムイオンを用いたときの添加塩の濃度に対するcmcの値を示したものである。DNa-NaClとDK-KClを比較すると、ナトリウム塩にナトリウムイオンを過剰に存在させた方が添加塩濃度が同じ場合、cmcが低濃度側にシフトしていることがわかる。これは、ナトリウムイオンがカリウムイオンよりドデカン酸イオン間の静電反発を弱め、ミセルを安定化するとと思われる。また、DK-NaClのcmc値はDNa-NaClの値とほぼ同じ値が得られた。これは、ドデカン酸イオンと対イオンとしてカリウムイオンが形成するミセルの中に、ナトリウムイオンを添加した場合、ミセル周辺の対イオンがカリウムイオンからナトリウムイオンに交換されていくと考えられる。すなわち、生体膜である脂質二重層の対イオンとしてカリウムイオンが存在した場合、ナトリウムイオンが高濃度になるとイオン交換がおこり、生体膜の対イオンはほとんどがナトリウムイオンとなり、ナトリウムポンプの細胞内から外へのナトリウムイオンの移動に関係していると思われる。ミセル化のこれらの平衡を求め解析することで、ナトリウムポンプやナトリウムイオンチャンネルの機構について推定していく。

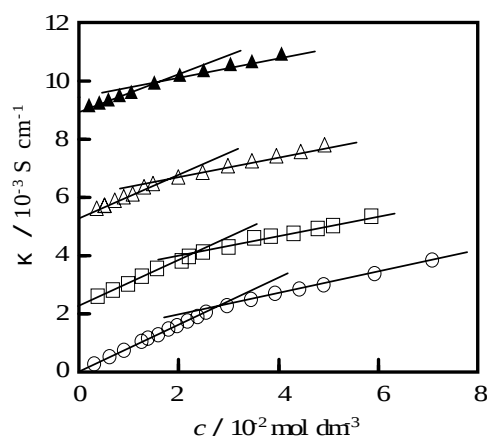


Fig.1 Conductivities of solutions of potassium dodecanoate in water and in KCl solutions at 298K.

The concentrations(mol kg⁻¹) of added KCl solutions :

- : 0, □ : 0.01628,
- : 0.04018, ▲ : 0.07023

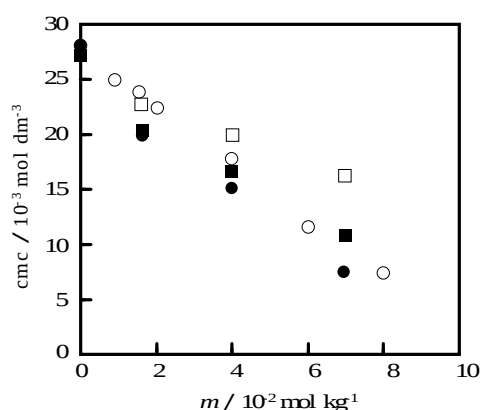


Fig.2 Critical micelle concentrations of solutions of sodium or potassium dodecanoate in NaCl or KCl solutions.

m is concentrations (mol kg⁻¹) of added NaCl or KCl solutions.

- : DNa-NaCl, ● : DNa-KCl,
- : DK-KCl, ■ : DK-NaCl