

## 5F-08 簡易な浸透圧測定装置で測っているものは何か

伊藤 武

ITO Takeshi

信州大学教育学部

化学教育、教材解釈、簡易実験、浸透圧、半透膜

## はじめに

セロハンのような半透膜を隔てて、ショ糖溶液に水が浸透して液柱を押し上げる浸透圧の実験は、簡単で意表をつく、大変おもしろいものである。そして通常、このような印象的な実験から、浸透は溶媒側から溶液側へおこること、および、浸透圧は分子の種類によらず、ただその個数（モル濃度）だけで決まること、が導かれる。確かに浸透圧現象のもっとも本質的なところは、後半の浸透圧がモル濃度に比例するところ（束一的性質）なのだが、しかしこの実験から言えることは、実は前半の部分だけなのである。もともとファント・ホッフの平衡浸透圧の理論は、「溶質は膜を透過しない」ということを前提にしている。ところが、セルロース膜は透析に使われることから分かる通り、ショ糖程度の分子はかなり自由に通すのである。一体、セロハンのような不完全な半透膜の場合でも、浸透圧現象の本質的なところは保たれているものなのだろうか。浸透圧は本当に溶質分子の種類によらず個数だけで決まるのだろうか。このことを明らかにするために、ほぼ理想的な半透性を示すとされているフェロシアン化銅膜を使った場合と通常のセルロース透析膜を使った場合で、大きさのちがう三種類の溶質分子について実験し、若干の興味ある結果を得たので報告する。

## 液柱の高さの時間変化

もし膜が理想的な半透膜であれば、通常の実験のような純水の浸透に対する溶液の液柱の高さは、単調に増加し平衡浸透圧のところまで一定になるはずである。しかしセルロース膜の場合、ショ糖、ブドウ糖、尿素とも20～50時間以上では減少し始めている。特に尿素ではこの傾向が著しい。このことは時間が経つとセルロース膜を通して溶質が純水の方へ透過し、両溶液の濃度が等しくなってくるためと考えられる。一方、フェロシアン化銅膜の場合は、ショ糖、ブドウ糖、尿素とも液面は単調に上昇しオーバーフローして下降することはない。平衡浸透圧は水柱に換算すると非常に高さになるので液柱の上昇がそこで止まるかどうかは確かめようがないが、少なくともフェロシアン化銅膜の場合はセルロース膜の場合に比べて溶質の透過が著しく少ないことが分かる。

## セルロース膜の示す浸透現象

セルロース膜を通しての、異なる溶質、異なる濃度の溶液間の液の移動の観察から明らかになることは、セルロース膜に対しては等張液の概念がまるで成り立たないことである。ショ糖と尿素の場合、等モル溶液はもちろんのこと、尿素の濃度が10倍になっても、液は低濃度のショ糖溶液の方へ浸透している。一方ショ糖とブドウ糖の場合、等モルおよび2倍の濃度の溶液まではショ糖溶液の方へ浸透するが、ブドウ糖の濃度を3倍にすると正常に高濃度のブドウ糖溶液の方へ浸透するようになる。このことは、浸透圧を支配するものは溶質のモル数だけではなく溶質の種類にも依存し、分子量の大きいものほどより有効であるということを暗示している。

### フェロシアン化銅膜の示す浸透現象

同様の実験から、この場合は等張液の概念が成り立っているかどうかはかなり微妙である。ショ糖とブドウ糖の場合は、等モルの場合がやや不確かだが、ブドウ糖が2倍、3倍の場合は明らかに高濃度のブドウ糖溶液側へ浸透しており、一応等張液の概念が成り立っていると言って良いと思われる。一方、ショ糖と尿素の場合は等モルでは明らかにショ糖の方へ浸透しており、等張液の概念は成り立っていない。さらに、尿素の濃度を増していくと5~7倍くらいまでは依然としてショ糖の方へ浸透する。しかしこの場合、最初少し正常に高濃度の尿素側へ浸透し、その後ショ糖側へ浸透が逆転するという興味ある現象が見られた。このことについては次に論ずる。なお、尿素の濃度を10倍まで上げるとさすがに尿素側へ浸透するようになる。これらの事実から、フェロシアン化銅膜であっても尿素程度の分子の透過は防げず、そのような場合には等張液の概念は使えないということが分かる。

### 液の移動に関する一つの説明

以上のような実験事実、とくにフェロシアン化銅膜で見られた浸透の逆転現象は通常の平衡浸透圧の理論ではまったく説明できない。そしてそのようになる原因は膜が溶媒だけでなく溶質も透過することに由来すると考えられる。そこで上記のような液の移動方向を説明するために、次のようなモデルを考えた。

①溶媒、溶質ともに膜を透過できるが、透過し易さには違いがあり、水、尿素、ブドウ糖、ショ糖の順に透過し易いと考ええる。

②水の移動方向は通常の平衡浸透圧の理論（水の化学ポテンシャルの大小）に従う。

③溶質の移動方向は当然、最初入れた方から入れなかった方へ動く。

フェロシアン化銅膜の場合、ショ糖、ブドウ糖の透過速度は無視できるくらいおそいと考えれば、溶質がショ糖とブドウ糖の場合は近似的に水の透過だけを考えればよいから平衡浸透圧の理論が成り立ち、等張液の概念が使えることになる。一方、尿素はかなりの速さで透過できると考えると、ショ糖と尿素の場合、尿素溶液の方が濃度が高いとき、水と尿素の透過が競合し、最初は水が尿素側に浸透する方が勝るが、やがて尿素がショ糖側へ透過してくるにともない、両溶液の濃度差が減少して水の透過速度がおそくなり、ついに逆転現象が起これると考えられる。

セルロース膜の場合はすべての溶質が無視し得ない速さで透過すると考えられる。そこで両溶質の透過し易さの差に基づく溶質の流れと低濃度側から高濃度側への水の流れが競合することになり、その分だけ、透過しやすい溶質の方が高濃度でないにつり合わなくなる。ショ糖に対しブドウ糖では2~3倍、尿素は10倍以上ということである。なおこれらの場合、フェロシアン化銅膜のときと同様の逆転現象が起きていても不思議はないが、実際にそれがみられないのは、逆転現象が一番起こりやすいショ糖と尿素の場合に、尿素があまりにも透過し易く溶媒の水と区別がつかないくらいになってしまっているせいではないだろうか。

### まとめ

セルロース膜を使った簡易な浸透圧実験は、浸透圧の最も本質的な点、等張液の概念が成り立たないので、この実験をファント・ホッフの平衡浸透圧現象を示すものとするには問題がある。さらにここで測っているものは、溶質の膜の透過し易さという動的な量なので、この実験は静的な浸透圧現象というよりは、むしろ細孔を通した気体の拡散に類似の現象と考えられるからなおさらである。