

この溶質が欲しい！を叶える

～シリコーンゴム膜の性質について～

Abstract

本研究はシリコーンゴムの特定の気体における特異的な透過性とその構造を応用して、シリコーンゴム膜による水中の溶質の選択的透過ができないかを探るものである。シリコーンゴムは幅広い用途で用いられており、酸素透過膜がその最たる例の一つである。市販品のシリコーンゴム (PDMS) と自作の装置を用いて実験を行っており、現在グルコースよりも小さな極性分子とトルエンに関して透過性が確認された。今後はゴム膜に圧力を加え展張度を変化させることで、ゴム膜の各溶質に対する透過性が変化するかを調査する。この

研究が目指すのはシリコーンゴム膜による水中での選択的透過膜を実現させることで、このアイディアには前例がなく、

これが実現すれば社会全体に大きな変革をもたらすことができると考える。

Keywords: 選択的分離膜, シリコーンゴム, 水和, 溶質, 疎水膜, 酸素透過膜

I, 研究概要

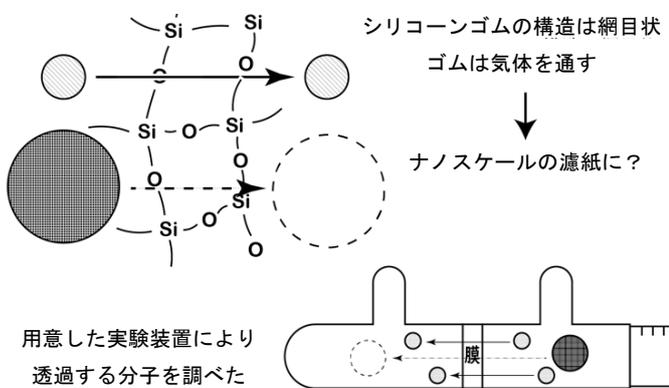


Fig.1 研究概要

シリコーンゴムというゴムがある。これは、ケイ素と酸素を主成分としたゴムの一種で、酸素透過膜などに用いられており、他のゴムと比べて異なる性質を多く持っている。私たちはシリコーンゴムの、他のゴムと比べて特定の気体の特異的に通す性質と、その分子構造に着目した。この二つの性質を利用すればシリコーンゴムを水中の溶質に対する膜として使えるのではないかと考えた。

この研究は、

・シリコーンゴムの性質を膜に応用し、シリコーンゴム膜を容易に調達できるナノスケールの分離膜とできるのではないかと

・膜にかかる圧力をかけ膜の分子網の目の大きさを変化させることにより、特定の溶質を任意の量、狙って透過させることができるのではないかと

という2つの仮説のもと進めている。

また、水中の溶質を分離することについては全く研究がなされておらず、この研究が初めてこれを明らかにしようとしているのである。

最後に、この研究が目指すのは、シリコーンゴム膜を圧力に応じて透過性を変化させることのできる選択的分離膜として活用し、広い分野に革新的な変化をもたらすことである。

II, 実験

本研究では厚さ50 μ mのポリジメチルシロキサン (PDMS) という種類のシリコーンゴムを用いている。他のゴムと比べ強度が高いため、薄く加工することができ、耐薬性も高い。

本研究の実験の概要は以下の通りである。

特製の実験装置の膜で隔てられた一方に透過性を調べたい溶質の入った溶液を、もう一方に純水を満たす。25 $^{\circ}$ Cで30分間放置したのちに、純水の満たされていた方にどのくらい溶質が溶けているか調べ、膜の各溶質に対する透過性を判定する。



※シリコーンゴムの薬品に対する耐性の原理は未解明のため、酸でも塩基でもない化学的に安定な物質を用いた。

この方法で以下の溶質について透過性を調べた。

- ・グルコース, スクロース→透過性を示さなかった
(高速液体クロマトグラフィーによる分析)
- ・メタノール, エタノール→透過性を示した
(高速液体クロマトグラフィーによる分析)
- ・トルエン ($C_6H_5CH_3$) →透過性を示した
(ガスクロマトグラフィーによる分析)
- ・KCl, NaCl, $CaCl_2$, $MgCl_2$, KNO_3 →透過性を示した
(電気伝導度計による分析)

III, 考察

上記の結果を見ると、まず、極性のあるグルコースが通らず、無極性であるトルエンが通ったことが分かる。両者は分子量から判断すると大きな違いがあるが、模型を確認すると立体的な差異はあまりないようである。このことから、極性が関係する水和という現象が透過性に関係しているのではないかと仮説を立てた。

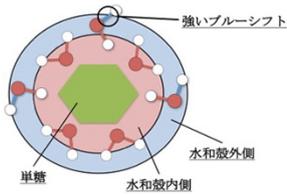


Fig. 4 糖の水和

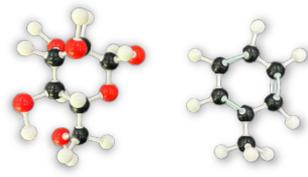


Fig. 3 模型

水和とは、極性のある分子が水中に存在する場合に分子が水分子を引き寄せ、全体としてひとまわり大きな塊となる現象のこと。

そこで、KCl, NaCl, CaCl₂, MgCl₂, KNO₃の実験により得られた、膜に対する透過率と式を用いて求めた水和半径を用いて透過率と水和半径に相関があるか調べたところ、相関は見られなかった。

以下に使用した資料を示す。

Tab. 1 各塩の各サンプル中における濃度および透過率

使用した塩	元の溶液 [nmol/L]	放置後の純水 [mmol/L]	透過率 (%)
KCl	705.3	0.9630	1.365
NaCl	851.9	8.519	10.00
CaCl ₂ · 2H ₂ O	339.8	0.001739	0.005120
MgCl ₂ · 6H ₂ O	330.2	0.1005	0.3044
KNO ₃	425.3	6.450	15.17

使用した蒸留水の電気伝導度[S]は 000 μS であった

$$\lambda_{\infty} = zF^2 / 6\pi N \eta_w r_s$$

For. 1 水和半径を求める式⁵⁾

イオン極限モル導電率[λ_∞]、イオン価の絶対値[z]⁴⁾ファラデー定数[F]、アボガドロ定数[N]、純水の粘性率[η_w]を用いて、溶液中を移動するときのイオン半径(水和半径)[r_s]を求めた。

Tab. 3 各塩化物の被塩化元素の水和半径(25℃)と透過率

水和半径 [Å × 10 ⁻¹⁷] (昇順)	K ⁺ (1.25)	Ca ²⁺ (1.54)	Mg ²⁺ (1.73)	Na ⁺ (1.84)
透過率 (降順)	Ca ²⁺ (0.005120)	Mg ²⁺ (0.3044)	K ⁺ (1.365)	Na ⁺ (10.00)

※各セル内の右下の括弧内の数値は実際の数値

※水和半径のデータは 25℃のものを使用しており実験時の条件と 5℃異なるが 100℃までの範囲において水和数は温度依存性をほとんど持たないので⁶⁾ 温度の差は無視できるものとした

以上の結果から分子については水和半径が透過性に関係し、イオンについては水和半径とは別の要因が透過性に関係していると考えられる。

グルコースのような分子と、KClなどから生ずる電離した単原子のイオンとは振る舞いがどのように違うのか、

実験のデータが少ないことによる誤差の影響がどれほどかを、今後追って実験を重ね明らかにしたい。

IV. 現在進行中の実験

現在、シリコーンゴム膜の圧力と透過性の相関を調べるために実際に圧力を変化させて実験を行っている。しかし、高度な定量実験となるため1つ1つの実験に時間がかかることや、分析の際のノイズの軽減のためのさらなる努力、分析装置の故障への対応など解決すべき課題が多い。

現段階での暫定的な結果としては圧力と透過性に相関が見られるので、このまま詳細を明らかにしてゆけばそう遠くない未来、選択的分離膜が実現できると考える。

V. 展望

この研究は全く触れられてこなかった部分に切り込んだ研究であり、先行研究がないことから全て手探りで研究を進めている関係で、思うように結論が出なかったり、実験の設定が難しい部分があり、未だ調べられていないことが多い。今後実験を繰り返し、水和半径と圧力および時間がシリコーンゴム膜に対する透過性とどのように関わっているのかを明らかにしたい。

VI. 参考文献

- 1) <https://www.packing.co.jp/GOMU/kitaitoukasei1.htm> (パッキンランド「各種ゴムの気体透過率比較」)
- 2) <https://ciaaw.org/> (CIAAW各原子量)
- 3) <https://academist-cf.com/journal/?p=6912> (糖の水和の図)
- 4) <https://research.kek.jp/people/hironori/nakao/lab/info/ionradii-ele.html> (高エネルギー加速器研究機構データベース Shannon et al., Acta A 32 (1976) 751.)
- 5) <https://info.ouj.ac.jp/~hamada/TextLib/kk/chap9/Text/Cs900901.html> (放送大学「第9章イオンの水溶液」)
- 6) https://www.jstage.jst.go.jp/article/nikkashi1948/92/9/92_9_785/_pdf (日本化学雑誌92巻9号「伝導度法による水和分子の計算」)

全て2024/03/12に再確認した。

使用器具

- ・高速液体クロマトグラフィー
島津社製SCL-40
- ・ガスクロマトグラフィー
島津社製GCMS-QP2010Ultra
- ・電気伝導度計
HORIBA社製B-173(m範囲)
HMDIGITAL社製AP-2(μ範囲)