

糖の分子構造と浸透現象の関係性

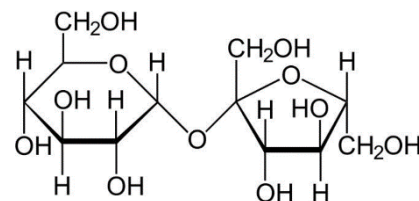
愛媛県立松山南高等学校 松山南高 SSH 浸透班

3年 井上 愛理 桐畑 咲良 野中 綾乃
河野 華緒 宮本 存大

1 課題設定の理由

糖類の中でも、単糖類 $C_6H_{12}O_6$ や二糖類 $C_{12}H_{22}O_{11}$ は、それぞれ同じ分子式の性質が異なる構造異性体が存在するなど、大変興味深い有機化合物である。

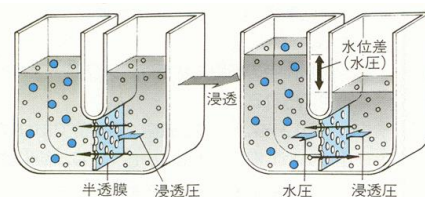
例えば、単糖類であるグルコース、フルクトース、ガラクトースはいずれも還元性があり、銀鏡反応を示し、フェーリング溶液を還元する。しかし、二糖類は、還元性がある単糖類がそれぞれ結合してできているにもかかわらず、その



結合の仕方で異なる性質を示し、特にスクロースは還元性を示さない(図1)。先行研究において、矢野ら(1994)は、糖の甘味やすい膵β細胞からインシュリン分泌を誘発する効果は、各糖間に明確な差があり、構造によって敏感に影響するなど、分子式は同じでも分子構造の違いで異なる性質を示す特徴が報告されている。

図1 還元性を示さないスクロース

ところで、濃度の異なる2種類の水溶液を半透膜を境として接触させると、低濃度の方から高濃度の方へ溶媒の移動が起こる。この浸透現象は、図2の



ように高校の生物や化学の教科書で扱われているが、図2 浸透現象の教科書での取り扱いこれらに関する定量的な実験を行うことはほとんどない。

単糖類や二糖類は特徴的な性質を持っており、私たちは、同じ濃度でも、糖の分子構造の違いで、浸透現象に違いが出てくるのではないかと考えた。

そこで、同濃度の単糖類、二糖類の浸透現象に関する実験を行い、糖の分子構造と浸透現象の関係性について調べることにした。

2 実験・研究の方法

(1) 単糖類の浸透現象の観察

まず、3種類の単糖類の浸透現象を調べることにした。

実験装置については、図3に示す市販の浸透圧実験器(ケニス株式会社)を用いることにした。予備実験で異なる濃度の実験を行い、最も明らかな結果が出た、

0.2mol/L で比較することにした。

【実験方法】

- ①半透膜（透析用セルロースチューブ）をリングで固定する。
- ②試料容器に 0.20mol/L のグルコース水溶液を入れる。
- ③半透膜が蒸留水に沈むようにセットする。
- ④水分子が半透膜を通過した水溶液側の液面上昇の高さ（cm）を 10 分ごとに測定する。
- ⑤同じ実験を 3 回行い、平均をとる。
- ⑥試料溶液に入れる溶液を、0.20mol/L のフルクトース水溶液、0.20mol/L のガラクトース水溶液に変えて、それぞれ実験を行う。

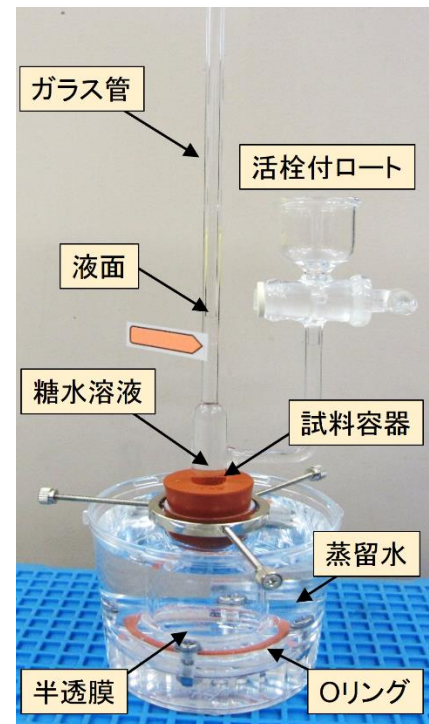


図3 浸透圧実験器

(2) 二糖類の浸透現象の観察

3 種類の二糖類の浸透現象を調べることにした。

実験装置については、図3に示す浸透圧実験器を用いることにした。

【実験方法】

- ①半透膜をリングで固定する。
- ②試料容器に 0.20mol/L のマルトース水溶液を入れる。
- ③半透膜が蒸留水に沈むようにセットする。
- ④水分子が半透膜を通過した水溶液側の液面上昇の高さ（cm）を 10 分ごとに測定する。
- ⑤同じ実験を 3 回行い、平均をとる。
- ⑥試料溶液に入れる溶液を、0.20mol/L のスクロース水溶液、0.20mol/L のラクトース水溶液に変えて、それぞれ実験を行う。

3 結果と考察

(1) 単糖類の浸透現象の実験結果

まず、実験で用いた半透膜の性質を確認した。

この実験では、浸透現象により、水分子が半透膜を通過し、グルコース水溶液側に移動することで液面上昇する（図4）。

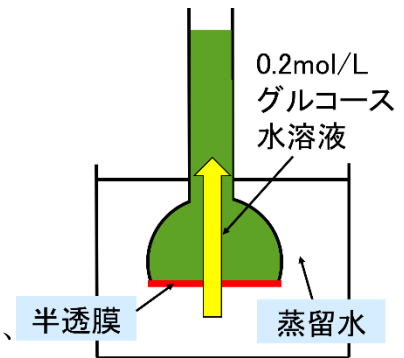


図4 浸透現象における半透膜の性質の確認

私たちは、逆にグルコース分子が半透膜を通り抜け、蒸留水側に移動しないか、60分後の蒸留水を取ってフェーリング反応で確認した。

結果、図5のように、60分後の蒸留水の一部はフェーリング反応をしなかった。



図5 実験後の蒸留水側のフェーリング反応の結果（陰性）

このことから、本実験で、グルコース分子が半透膜を通り抜け、蒸留水側に移動することはないことが分かった。

次に、単糖類水溶液（0.2mol/L）の浸透現象における経過時間と液面上昇度の関係を調べると、表1のような結果になった。

表1 単糖類水溶液（0.2mol/L）の浸透現象における経過時間と液面上昇度の関係

単糖類の種類 (0.20mol/L)	液面上昇度 (cm)			
	1回目	2回目	3回目	平均
グルコース	1.7	1.5	1.6	1.6
フルクトース	1.1	1.2	1.2	1.2
ガラクトース	0.7	0.7	0.8	0.7

図6のように、60分までは、経過時間と液面上昇度の関係は、3種類の単糖類とも比例関係があることが分かった（室温 25℃）。

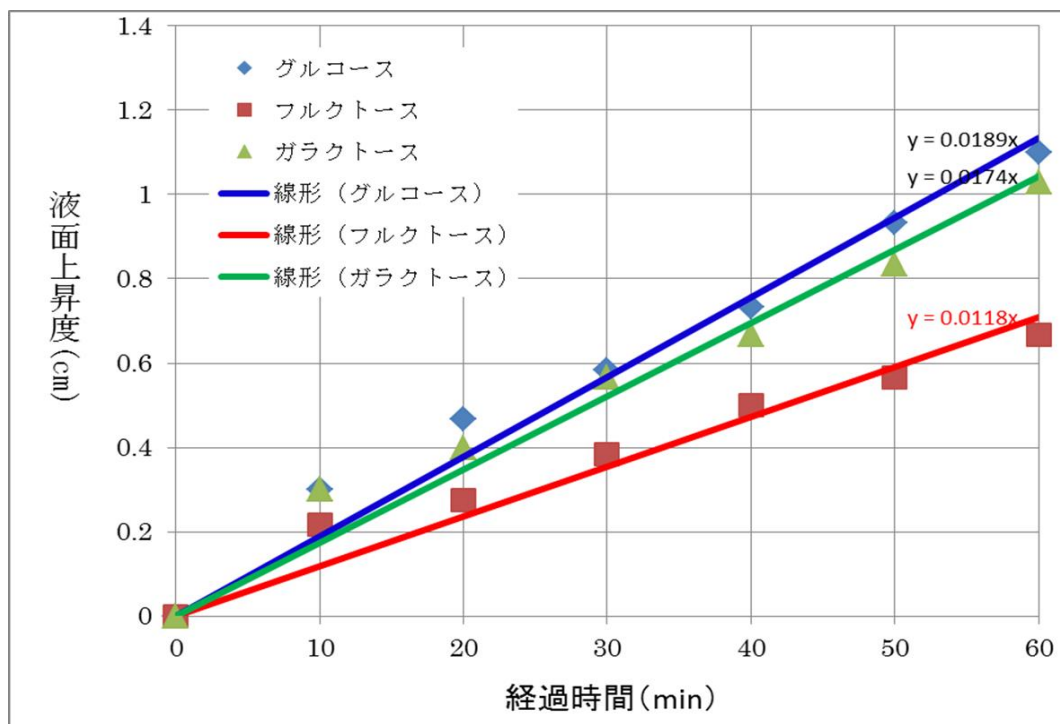


図6 単糖類水溶液 (0.2mol/L) の浸透現象における経過時間と液面上昇度の関係

60 分後の結果を比較すると、液面上昇度が最も大きいのが、グルコースであり、同じ分子量の単糖類であるが、液面上昇度は、

グルコース > ガラクトース > フルクトースの順になることが分かった。

(2) 二糖類の浸透現象の実験結果

次に、二糖類水溶液 (0.2mol/L) の浸透現象における経過時間と液面上昇度の関係を調べると、表 2 のような結果になった。

表 2 二糖類水溶液 (0.2mol/L) の浸透現象における経過時間と液面上昇度の関係

二糖類の種類 (0.20mol/L)	液面上昇度 (cm)			
	1 回目	2 回目	3 回目	平均
マルトース	2.6	2.5	2.5	2.5
スクロース	1.8	1.9	1.8	1.8
ラクトース	1.1	1.3	1.2	1.2

0.20mol/L のマルトース、スクロース、ラクトース、いずれの水溶液も時間の経過とともに液面上昇が観測された。(室温 25℃)

図7のように、60分までは、経過時間と液面上昇度の関係は、3種類の単糖類とも比例関係があることが分かった（室温 25℃）。

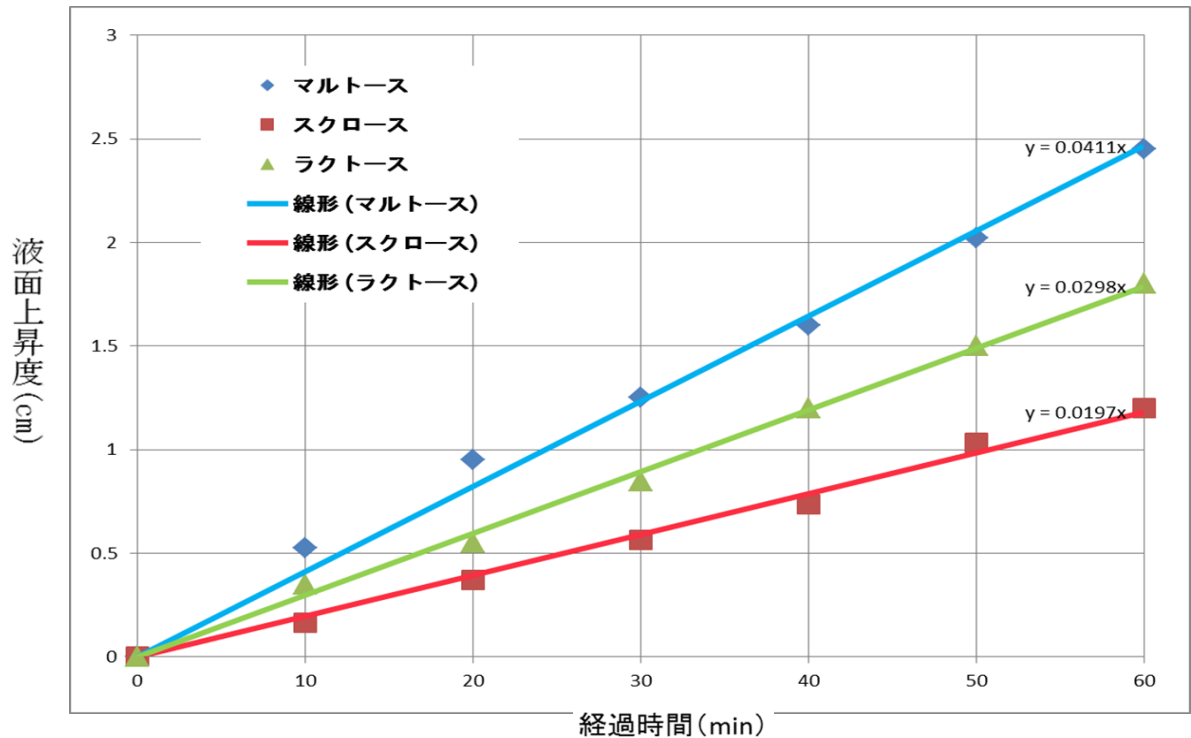


図7 二糖類水溶液 (0.2mol/L) の浸透現象における経過時間と液面上昇度

また、単糖類の時と同様に、60分まででは、経過時間と液面上昇度の関係は、3種類の二糖類とも比例関係があることが分かった（図7）。

同じ分子量の二糖類であるが、液面上昇度は、

マルトース > ラクトース > スクロース

の順になり、その上昇度は同濃度の単糖類の約2倍の値になることが分かった。

(3) 単糖類、二糖類の浸透現象の違いについての考察

単糖類、二糖類の浸透現象の違いについて、考察することにした。

単糖類の液面上昇度は、表3のように、

グルコース > ガラクトース > フルクトース

の順であり、糖の種類によって違いが出た。また、同じ分子量の二糖類の液面上昇度は、表4のようにマルトース > ラクトース > スクロースの順であった。

構成している単糖類の液面上昇度を考察すると、二糖類の液面上昇度は単糖類

表3 糖の種類と液面上昇度の関係

単糖類	液面上昇度
グルコース	1.6cm
ガラクトース	1.2cm
フルクトース	0.7cm

の結果と相関関係があり、構成単糖類に影響を受けていることが分かった。

表4 糖の種類と液面上昇度の関係

二糖類	液面上昇度	構成単糖類	備考
マルトース	2.5cm	グルコース+グルコース	1位+1位
ラクトース	1.8cm	グルコース+ガラクトース	1位+2位
スクロース	1.2cm	グルコース+フルクトース	1位+3位

次に、「なぜ、液面上昇度はグルコース > ガラクトース > フルクトースの順になるのか？」について考察することにした。

武井ら（1999）の先行研究では、ヒドロキシ基は親水性であり、水分子と水和することで、浸透圧を高く保つことができると報告されている。

そこで、私たちは単糖類に含まれるヒドロキシ基の個数やヒドロキシ基の向きに着目し、考察することにした。

① ヒドロキシ基の個数（1分子当たり）

まず、次の8個の単糖類の1分子当たりのヒドロキシ基の個数を比べることにした。

α-グルコース、β-グルコース、α-ガラクトース、β-ガラクトース、α-フルクトース（5員環）、β-フルクトース（5員環）、α-フルクトース（6員環）、β-フルクトース（6員環）

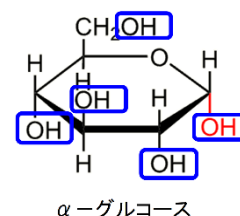


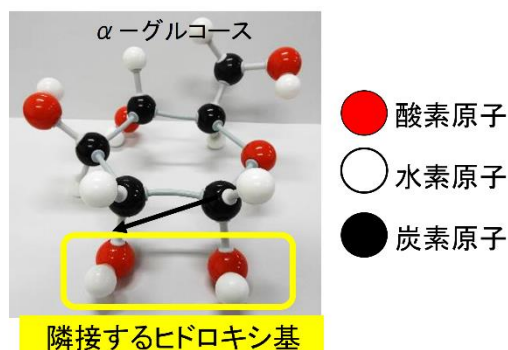
表5 各単糖類のヒドロキシ基の数

表5のように、各構造異性体の存在比を考慮しても、1分子に含まれるヒドロキシ基の数はすべて5個であり、違いは見られなかった。

単糖類	ヒドロキシ基の数
α-グルコース	5個
β-グルコース	5個
α-ガラクトース	5個
β-ガラクトース	5個
α-フルクトース(5員環)	5個
β-フルクトース(5員環)	5個
α-フルクトース(6員環)	5個
β-フルクトース(6員環)	5個

② 1分子内の隣接するヒドロキシ基の向き

武井ら（1999）の報告から、ヒドロキシ基が水和しやすい状態ほど、浸透圧を高く保つことができると考え、**図8**のように1分子内の隣接するヒドロキシ基の向きについて考察した。赤色が酸素原子、白色が水素原子、黒色を炭素原子とした分子モデルで分子を作成し、考えることにした。



私たちは、隣接するヒドロキシ基の向きに **図8** 隣接するヒドロキシ基の向きは、**図9**のように、大きく3つのパターンがあると考えた。

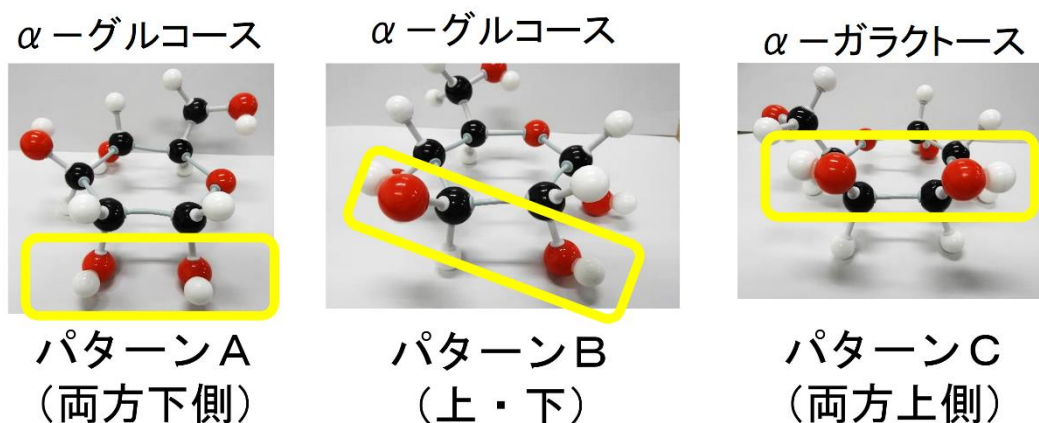


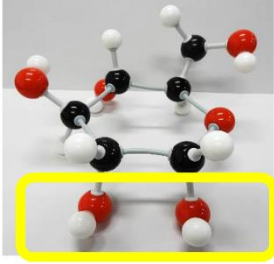
図9 隣接するヒドロキシ基の向き（3つのパターン）

パターンAは、隣接するヒドロキシ基が両方下側になっているとき、パターンBは、隣接するヒドロキシ基が上下になっているとき、パターンCは、隣接するヒドロキシ基が両方上側になっているとき、のように、隣接するヒドロキシ基の向きは、大きく3つのパターンがあると考えた。

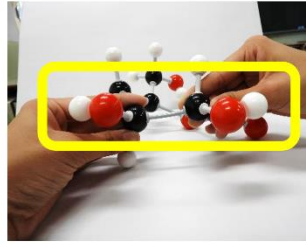
次に、パターンAの基本構造で、ヒドロキシ基を動かし、水溶液中で可能性のある構造を考察した。

図10のように、パターンAでは、隣接するヒドロキシ基は、両方の下側になっているが、これを動かすと、両方水平になるパターンと、一方が下で、もう一方が水平になるパターンができた。

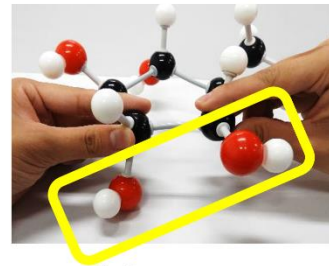
α -グルコース



パターンA
(両方下側)



パターンA
(両方水平)



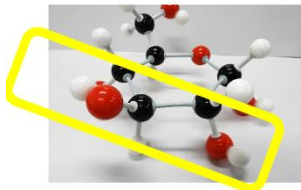
パターンA
(下+水平)

図10 パターンAの基本構造で水溶液中で可能性のある構造

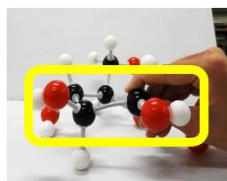
次に、パターンBの基本構造で、ヒドロキシ基を動かし、水溶液中で可能性のある構造を考察した。

図11のように、パターンBでは、隣接するヒドロキシ基は、上下になっているが、これを動かすと、上、水平になるパターンと、両方水平になるパターン、水平と下になるパターンができた。

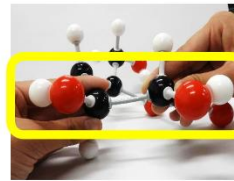
α -グルコース



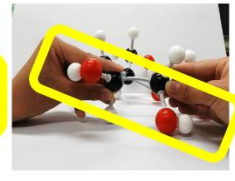
パターンB
(上・下)



パターンB
(上+水平)



パターンB
(両方水平)

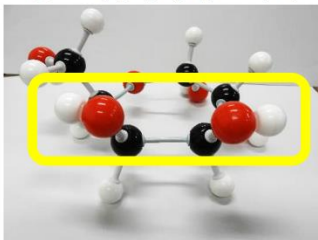


パターンB
(水平+下)

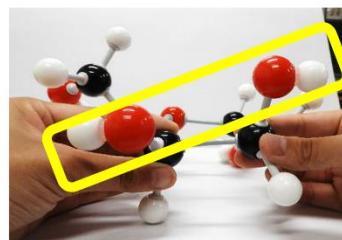
図11 パターンBの基本構造で水溶液中で可能性のある構造

次に、パターンCの基本構造で、ヒドロキシ基を動かし、水溶液中で可能性のある構造を考察した。

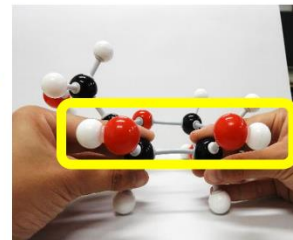
α -ガラクトース



パターンC
(両方上側)



パターンC
(水平+上)



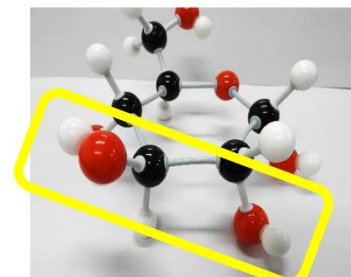
パターンC
(両方水平)

図12 パターンCの基本構造で水溶液中で可能性のある構造

図 12 のように、パターン C では、隣接するヒドロキシ基は、両方上側になっており、これを動かすと、水平、上になるパターンと、両方水平になるパターンができた。

次に、水和しやすいヒドロキシ基の向きを考察した。

先行研究で、ヒドロキシ基は、水分子と水和することで、浸透圧を高く保つことが報告されており、図 13 のように、隣接するヒドロキシ基で最も水和しやすい向きのパターンは、水分子が水和した際、立体障害が少ない向きであり、ヒドロキシ基が上・下にあるパターン B が最も水和しやすい向きと考えた。



パターン B
(上・下)

図 13 隣接するヒドロキシ基で最も水和しやすいと考えた向き

そこで、分子モデルから、ヒドロキシ基が上・下にあるパターン B の数を数え、各構造異性体が存在する存在比を考慮し、平均数を求めた (表 6)。

表 6 各構造異性体が存在する存在比を考慮して求めた平均数

単糖類	存在比	パターン B (上下) の数	存在比を考慮した平均数
α -グルコース	38%	2個	2.62
β -グルコース	62%	3個	
α -ガラクトース	データなし	1個	2に近い値 (β の方が存在比が高い)
β -ガラクトース	データなし	2個	
α -フルクトース(5員環)	10%	2個	1.09
β -フルクトース(5員環)	32%	1個	
α -フルクトース(6員環)	2%	2個	
β -フルクトース(6員環)	53%	1個	

1 分子内にあるパターン B (上下) の平均数はグルコースは 2.62 になった。

ガラクトースは存在比のデータがなかったが、他の単糖類が β の存在比が大きいことから、ガラクトースの平均値は 2 に近い値になると考えた。また、フルクトースは、1.09 になった。

このように、構造異性体の存在比を考慮したパターン B の平均数は、

グルコース > ガラクトース > フルクトースの順となり、液面上昇度の順序と一致し、ヒドロキシ基が水和しやすい状態が多く存在するほど、浸透現象における水分子の移動が活発になると考えた。

4 まとめと今後の課題

短時間（60分程度）の浸透現象における液面上昇の大きさは、単糖類では、グルコース、ガラクトース、フルクトースの順に、二糖類では、マルトース、ラクトース、スクロースの順になることが分かった。

1つの分子内で隣接するヒドロキシ基が上・下にあるパターンBが最も水和しやすい向きと考えると、各構造異性体の存在比を考慮したパターンの平均数は、グルコース、ガラクトース、フルクトースの順となり液面上昇度の順序と一致し、ヒドロキシ基が水和しやすい状態が多く存在するほど、浸透現象における水分子の移動が活発になり、液面上昇度が大きくなると考えた。

本研究では、水和しやすさを、その指標として1つの分子内で隣接するヒドロキシ基が上・下にあるパターンBの平均数で考察した。今後は、分子モデルでのヒドロキシ基の距離を実際に測定して、その距離から水和しやすさを算出する方法を考察してみたい。また、浸透現象における液面上昇度を長い時間（数日間）に渡り調査し、どのように変化するのか、さらに、異なる種類の半透膜を用いて実験を行い、同じ現象が起こるか等、継続して研究を行いたい。

5 参考文献

○矢野由起，謝名堂昌信，「糖の親水性と疎水性」，『京都女子大学食物学会誌』
49，p1-14，1994

○謝名堂昌信，「糖の疎水的側面(化学の窓)」，『化学と生物』，p29-32，1984

○團野弘，「よく分かる生活習慣病の薬」，『浸透圧利尿剤』，p130-131，2010

○武井孝，安宅真和，小西とも子，藤正督，渡辺徹，近沢正敏，「シリカの表面水酸基の構造評価－化学反応法と分子吸着法－」，『粉体工学会誌』，1999