

## 事例Ⅰ 細胞膜の性質とはたらき

### 指導のポイント

「細胞」については、「生徒にとって理解しやすい」と教師が考えている一方で、「よくわかった」という生徒がそれほど多くないなど、内容によって教師と生徒の意識の違いが見られる（平成17年度高等学校教育課程実施状況調査の結果より）。特に浸透現象については、溶質の熱運動、水溶液の濃度、膜の仕組みなどを総合的に組み立てて理解する必要があるため、生徒が敬遠しがちな分野である。

そこで、生徒の理解を促し、科学的な思考力・表現力の育成に取り組む6つの授業展開例を作成し、ワークシートとして示した。これには、PISA調査で「連続型テキスト」と呼ばれている文章で表されたものだけでなく、「非連続型テキスト」と呼ばれているデータを視覚的に表現したもの(図、グラフなど)も含まれている。また、読解の過程においては、単なる「テキストの中の情報の取り出し」だけではなく、書かれた情報から推論して意味を理解する「テキストの解釈」、書かれた情報を自らの知識や経験に位置付ける「熟考・評価」の3つの観点を設定し、課題が構成されている。各シートのねらいと概要は以下の通りである。

#### ワークシート1：身近な現象を説明しよう

単元導入部において、身近な現象の中に見られる浸透現象を考察し、説明させる。正確な知識は持っていない段階であるので、結果と考察を分けて記述させ、自由な発想を大切に取り上げ、分子レベルでの生命現象についての関心を高めさせる。

#### ワークシート2：浸透現象

実験結果の分析から、溶質の熱運動と膜の透過性に注目させて、浸透現象の理解を促す。定型文の穴埋めによる考察で、表現力の基礎を養う。

#### ワークシート3：浸透現象の応用

家庭科（調理分野）で見られる浸透現象について、生徒の知識や考えを出し合って話し合うグループ討論による授業展開を意図している。口伝による情報（○○は△△すると良い。）の科学的裏付けを知り、関心を高めることで探究的な活動につなげる。

#### ワークシート4：＜演習1＞観察・実験における浸透現象の説明

観察・実験に見られる浸透現象に対し、知識をもとに論述する力を養う。その際、自分の経験を叙述するだけでなく、目的や条件を明確にして自分なりの考えを書かせる。

#### ワークシート5：＜演習2＞グラフの読み取りと内容の説明

問題演習において、グラフが示す内容の正確な読解力と、読解内容の正しい表現力を養う。まずは、縦軸と横軸が表す事項を把握し、次に、グラフの傾きが意味することを読み取るため、状態が変化した時間ごとに区切って考えさせる。

#### ワークシート6：＜演習3＞課題文の読解

問題演習において、課題文の読解力を養う。物質移動の異なるしくみを文章中から読み取り、求められている課題について考察する。

- (1) ナメクジに塩をかけると、ナメクジはどうなるか？また、砂糖をかけた場合はどうなるか？なぜそうなるのか、理由を説明せよ。

結果： 水分が出て、体が縮む。どろどろに溶けてしまう。砂糖の場合も同じように縮む。・・・等

理由： 体の外側が体液より高張となり、水分が体外に出てしまう。

- (2) シャキッとした食感のサラダを作るためには、野菜をどのようにしておくと良いか？また、その理由を説明せよ。

方法： 氷水に浸しておく。お湯に浸しておく。・・・等

理由： しおれ気味の野菜は、蒸散により細胞内が高張となっている。真水に浸すことで細胞内に水が入って膨らみ、瑞々しい食感が得られる。

- (3) 植木鉢の植物に濃い肥料を与えたら良く成長するか？また、その理由を説明せよ。

結果： 枯れてしまう。／ × たくさんの肥料でどんどん育つ。・・・等

理由： 濃い肥料を撒くと、地中の水が根の細胞より高張となり、根が吸水するどころか細胞中の水が出てしまう（根焼け）。そのため水不足でしおれて枯れてしまう。

- (4) スポーツドリンクは、水や他の飲み物と比べてどんな特徴があるか？また、それはどんな点が体によいのか説明せよ。

特徴： スポーツドリンクは、浸透圧（濃度）を体液とほぼ同じ大きさに調整してある。・・・等

理由： 「体液に似たミネラル成分のスポーツドリンクを飲めば、水分の吸収速度も速く、かつ無理なく行える。同時に、汗と一緒に出ていったミネラルも補給できるから。」

\* 発汗で失われた水分を満たすのに、浸透圧の関係からいえば、浸透圧の低い真水からのほうがより効果的に水分を補給できそうだが、ただの水ではいけないのだろうか？

「もちろん、真水でも水分の補給はできますが、より早く体への水分補給ができるのです。つまり水分だけが入っていくと、一定のミネラル濃度で保たれている体液の浸透圧が崩れてしまう。そのため、これ以上水は飲めませんよ、という指令がでるので、不足した水分を十分補えない場合もあるのです。」（ポカリスエットの大家製薬㈱広報より）

「外科医がハードな手術後、点滴液を飲んでいるのは関係者ではよく知られた話であった。しかし、点滴液はしよ

つぱい。そこで、医学的に必要な成分を破壊しないようにしながら、微妙な味を加えれば、一般の人にも体にいい飲み物となる」という開発秘話がある。

(5) イチゴなどのジャムは、長期間腐りにくい。その理由を説明せよ。

理由： 多量の砂糖を加えることでジャムが高張になり、腐敗菌の増殖が妨げられる。

### <実験：酢卵の変化>

#### 準備

【試料】 ほぼ同じ大きさの鶏卵 3 個

\* 卵殻は主成分が炭酸カルシウムであるため、以下の反応により分解される。



【器具】 ビーカー 2 個、メスシリンダー、電子天秤

【薬品】 20%酢酸水溶液（食酢でも可）、1mol/L スクロース水溶液

#### 方法

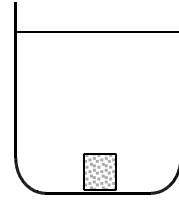
- (1) 鶏卵 2 個を酢酸に浸し、卵殻を分解する。1～2 日後、残っていた卵殻を軽く水洗いして取る。（食酢を使用した場合は数日かかる。）
- (2) 1 個の卵殻除去卵は水に 1 日浸す。・・・ A  
もう 1 個の卵殻除去卵はスクロース水溶液に 1 日浸す。・・・ B
- (3) 卵殻つき鶏卵と A、B を比較する。

#### 結果

	卵殻つき鶏卵との大きさの比較	卵殻膜の様子	質量
卵殻つき鶏卵			* g
A			g
B			g

\* (全体質量－卵殻質量)

考察： A、B の様子から、鶏卵の卵殻膜の性質について説明せよ。



＜予備実験：水溶液の性質＞

方法：角砂糖を水中に静かに入れて放置する。

結果：砂糖は（ 溶けて見えなく ）なる。

考察：なぜそうなるのか？

[ ]

まとめ：物質を構成する粒子は（ 熱運動 ）しているため、水分子とともに砂糖(スクロース)分子は（ 移動 ）して、全体の濃度は（ 均一 ）になる。  
このような現象を「 拡散 」という。

＜実験 1：膜の透過性の違い＞

準備

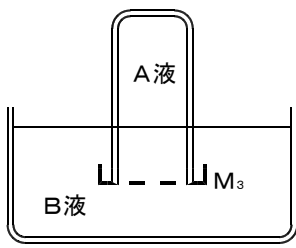
【器具】試験管 3 本、ビーカー 4 個、ラップフィルム ( $M_1$ )、セロファン ( $M_2$ )、濾紙 ( $M_3$ )、輪ゴム 3 個

【薬品】蒸留水 + フェノールフタレイン ( $C_{20}H_{14}O_4$  分子量318) 液 数滴：A 液  
5%アンモニア水 ( $NH_3 + H_2O \rightarrow NH_4^+ + OH^-$ )：B 液

方法

- (1) 各試験管に A 液をほぼいっぱい入れ、口をそれぞれ  $M_1$ 、 $M_2$ 、 $M_3$  でおおい、輪ゴムで縛る。
- (2) ビーカーに B 液を入れ、下の図のようにセットし、A 液と B 液の色の変化を観察する。

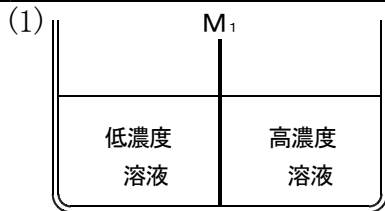
<p>＜結果＞</p> <p>色の変化が見られた部分を赤色で塗りつぶせ。</p>	<p>＜考察＞</p> <p>溶液中の粒子(分子やイオン)の動きに着目し、空欄に適する語句を記入し、見られた現象が起きた理由を説明せよ。</p>
<p>フェノールフタレイン液 ↓ B液</p>	<p>・フェノールフタレインは、( アンモニア <math>\cdot NH_4^+ \cdot OH^-</math> ) と混合すると赤紫色に変わる。</p>
<p>A液 B液 <math>M_1</math></p>	<p>・A液の色が変化（ しない ）ことから、アンモニア (<math>NH_4^+ \cdot OH^-</math>) は、<math>M_1</math> を通過（ しない ）。</p> <p>・B液の色が変化（ しない ）ことから、フェノールフタレインは、<math>M_1</math> を通過（ しない ）。</p> <p>∴ <math>M_1</math> は、( 溶質を通さない ) 性質をもつ膜、つまり「 不透膜 」と考えられる。</p>
<p>A液 B液 <math>M_2</math></p>	<p>・A液の色が変化（ した ）ことから、アンモニア (<math>NH_4^+ \cdot OH^-</math>) は、<math>M_2</math> を通過（ した ）。</p> <p>・B液の色が変化（ しない ）ことから、フェノールフタレインは、<math>M_2</math> を通過（ しない ）。</p> <p>∴ <math>M_2</math> は、( 物質(粒子の大きさ・分子量)によって通したり通さなかったりする) 性質をもつ膜、つまり「 半透膜 」と考えられる。</p>



- ・ A液の色が変化（した）ことから、アンモニア（ $\text{NH}_4^+ \cdot \text{OH}^-$ ）は、 $\text{M}_3$ を通過（した）。
- ・ B液の色が変化（した）ことから、フェノールフタレインは、 $\text{M}_3$ を通過（した）。

∴  $\text{M}_3$  は、（溶質を通す）性質をもつ膜、つまり「全透膜」と考えられる。

以上の実験結果をもとに、下記の各設定ではどのように考えられるか、空欄に記述してみよう。

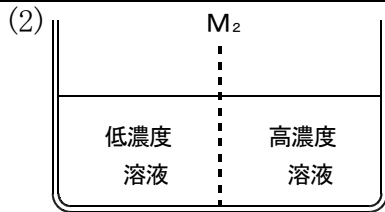


$\text{M}_1$  : ラップフィルム … 「不透膜」

溶質は $\text{M}_1$ を

溶媒は $\text{M}_1$ を

したがって左右の水位は、

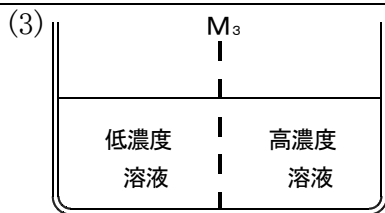


$\text{M}_2$  : セロファン … 「半透膜」

溶質は $\text{M}_2$ を

溶媒は $\text{M}_2$ を

したがって左右の水位は、

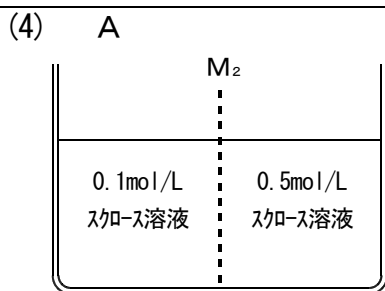


$\text{M}_3$  : 濾紙 … 「全透膜」

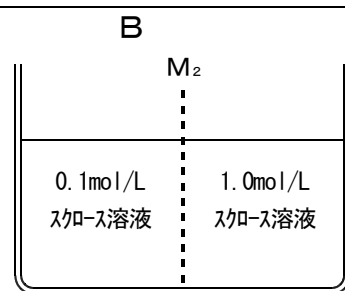
溶質は $\text{M}_3$ を

溶媒は $\text{M}_3$ を

したがって左右の水位は、



$\text{M}_2$  : セロファン



AとBを比較すると、水位の差は、

このことから、

### < 参考：浸透圧解説用モデルによる理解 >

#### 作り方

- (1) ペットボトルを中央で切断する。
- (2) 洗濯ネットを挟んで、再びはめ込む。
- (3) 径と色の異なる発泡スチロールビーズをボトルの口から入れる。  
(大粒—青色：溶質分子、小粒—白色：水分子 を表す。)

#### 方法

1 分間程度激しく振る。

#### 結果

粒子がランダムな方向に激しく動くことで、液面を表すビーズの高さが変化し、小さなビーズ（水分子）が高張液側に移動したことがわかる。

- (1) アズキなどの煮豆をおいしく作るには、砂糖をいつ（初めに・途中で・最後に）入れて煮ると良いか。また、その理由は何か。話し合ってみよう。

砂糖は最後に入れると良い。なぜならば、乾燥したマメは水に入れるとふやけてきて、マメの中の細胞膜が半透膜の性質を表すようになる。マメがやわらかく煮上がるためには、中心部まで水がよく浸み込まなくてはならないので、初めはたくさん水で十分に時間をかけてよく煮ることが大切である。しかし、初めから調味料を加えていると、半透膜を境にして濃度の異なる溶液が接していることになり、濃度の低い（薄い）細胞内から高い（濃い）細胞外へと水の移動が起こり、芯が固く味も浸み込みにくい煮豆となってしまう。中心まで火が通ると、細胞膜は半透性を失うことになり、この時に砂糖などの調味料を加えると、中まで味の浸み込んだ煮豆ができることになる。

\* 古いマメでは、細胞壁が乾き切っていてなかなか元に戻らないから、煮るのには新しいものよりもずっと時間がかかる。このため、盛岡や八戸などの旧南部領には、なかなか寝つかない子どもを指して『ふるあずき』ということばがあった。実際にあずき餡を古アズキでつくってみると、なかなかねない（煮えない）。

- (2) 梅酒を作る時に使う砂糖は、グラニュー糖、上白糖、氷砂糖のどれが良いか。また、その理由は何か。話し合ってみよう。

氷砂糖が良い。なぜならば、ウメの果皮は、不完全な半透膜と見なすことができる。青ウメを焼酎に漬けたとき、初めは、ウメの果実の内部のほうが浸透圧が大きく、外部から水やアルコールが果肉のほうへ入って行く。氷砂糖は質量に比べて表面積が小さいために溶ける速度も遅いので、外側の砂糖の濃度はなかなか高く（濃く）ならないが、やがて外部の砂糖の濃度が十分に高く（濃く）なって、浸透圧がウメの内部よりも大きくなると、今度は果皮の内側にあったアルコール分が外側へ出てくる。この時、果肉の中で長時間かかってアルコール等と反応して生じたエキス分も、果皮が不完全な半透膜であるために、いっしょに抽出されてくる。梅酒独特の香りやコクはこのようにして生じるので、作り方の本に、よく「傷のない青ウメと氷砂糖を・・・」と書いてあるのは、それなりの理由がある。グラニュー糖や上白糖は、結晶が小さいために表面積がずっと大きく、溶解速度も著しく早くなる。そのため、外側の焼酎の中の砂糖の濃度もたちまちに高く（濃く）なり、ウメにアルコールが浸透するよりも先に、初めから内部の水分が出てしまい、しわくちゃのウメが沈んだ、コクの乏しい梅酒ができることになる。

- (3) 浸透現象を利用している事例を医療・食品・工業分野などからあげてみよう。

例：糖尿病患者の血液の人工透析

浅漬けのもと

逆浸透 (Reverse Osmosis : 高張液側から低張液側へ圧力をかけることによる水分子の移動) を用いた R.O. システム

→ 海水の淡水化プラント (日本の離島、中東の砂漠地帯、イギリスの豪華客船クイーンエリザベス号 等)

浄水システム (NASA スペースシャトル・コロンビア号、日本の PKO (国連平和維持活動) カンボジア派兵  
やイラク派兵 等)

**<演習 1> 観察・実験における浸透現象の説明**

- (1) 良く晴れた日が何日も続いたときに、庭で育てていた植物に水を与えるのを忘れていたら葉がしおれてきた。この時、その植物の根の細胞に何が起きているかを、次の言葉をすべて使用して説明せよ。 「細胞膜・浸透圧・土壌水・半透性」

( '07神戸大<sup>2</sup> )

土壌中の水が不足することで土壌水の浸透圧が上昇し、根の細胞の半透性の細胞膜を介しての水の吸収が起こらなくなった。

- (2) 植物細胞の細胞膜は、細胞壁に押しつけられているため、光学顕微鏡で観察されにくい。植物組織にどのような処理をすると、光学顕微鏡で細胞膜の存在を確認できるか。具体的な方法を説明せよ。

( '07奈良女子大<sup>1</sup> )

植物組織を薄く切り出して、高張のショ糖液などに数分間浸す。その後、その細胞を光学顕微鏡で観察すると、細胞膜が細胞壁から離れてくる現象(原形質分離)が見られるので、その存在を確認できる。

- (3) 赤血球を高張液に浸した場合、どのような変化が見られるか。また、溶血とは何か。説明せよ。

赤血球を高張液に浸すと、細胞内外の浸透圧差により水が細胞外に出て、収縮する。

溶血とは、蒸留水または非常に低張な溶液に浸された赤血球が、細胞内外の浸透圧差により吸水して破裂し、ヘモグロビンが流出する現象である。

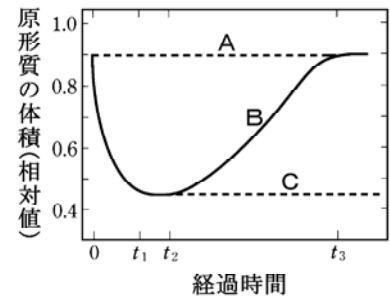
**<演習 2> グラフの読み取りと内容の説明**

次の文章を読み、下の(1)～(6)の問いに答えよ。

( '06大阪薬大 改題 )

植物細胞の細胞膜の外側には、丈夫で弾力性のある細胞壁がある。植物細胞を高張液に浸すと、水が細胞外へ移動して原形質の体積が小さくなるが、細胞壁はほとんど収縮しないので原形質が細胞から離れる。このような現象を ( a ) という。この状態の細胞を等張液中に戻すと細胞内に水が移動し、原形質の体積が元に戻る。このような現象を ( b ) という。

右の図は、ほぼ同じ浸透圧になるように調整したエタノール水溶液 (A)、エチレングリコール水溶液 (B)、およびスクロース溶液 (C) に、ある植物細胞を浸し、それぞれについて原形質の体積の時間変化を調べた結果のグラフである。ただし、この条件下では、どの場合でも原形質流動が観察された。



(1) 文中の a、b に入る最も適切な語は何か。それぞれ答えよ。

a : ( 原形質分離 )      b : ( 原形質復帰 )

(2) A、B、C の各水溶液に浸した植物細胞の体積の時間変化をグラフから読み取り、下の表に記述せよ。また、その現象が起きた理由から、その時間帯での原形質内外の濃度差を考察して、( ) に記号 [ <、=、> ] を記入せよ。

		0 ～ t <sub>1</sub> までの時間帯	t <sub>2</sub> ～ t <sub>3</sub> までの時間帯
A エタノール 水溶液	読み取り 結果	原形質の大きさに変化はなかった。	原形質の大きさに変化はなかった。
	考察	原形質内の濃度 ( = ) 原形質外の濃度	原形質内の濃度 ( = ) 原形質外の濃度
B エチレングリコール 水溶液	読み取り 結果	原形質から水が出て、小さくなった。	原形質に水が入って、大きくなった。
	考察	原形質内の濃度 ( < ) 原形質外の濃度	原形質内の濃度 ( > ) 原形質外の濃度
C スクロース 水溶液	読み取り 結果	原形質から水が出て、小さくなった。	原形質の大きさに変化はなかった。
	考察	原形質内の濃度 ( < ) 原形質外の濃度	原形質内の濃度 ( = ) 原形質外の濃度

(3) 図中のスクロース水溶液の場合 (C) について、原形質の体積が時間とともに小さくなり、その後一定になったのはなぜか。説明せよ。

細胞を浸したスクロース水溶液は高張液であるので、細胞から水が出て、原形質の体積が減少した。その後、細胞内の浸透圧が大きくなって細胞外のスクロース水溶液と等張になったため、水の出入りがなくなったため (原形質の体積は一定になった)。



- (4) 図中のエチレングリコール水溶液の場合 (B) について、原形質の体積が時間とともに小さくなり、その後大きくなって、元に戻ったのはなぜか。説明せよ。

エチレングリコール水溶液も高張液であるので、細胞から水が出て原形質の体積が減少したが、エチレングリコールは徐々に細胞内に透過するので、それに伴って細胞内の浸透圧が細胞外より大きくなって吸水したため (原形質の体積が元に戻った (原形質復帰した))。

- (5) 図中のエタノール水溶液の場合 (A) について、原形質の体積が変化しなかったのはなぜか。考えられることを簡潔に述べよ。

エタノールは水とほぼ同じ速度で細胞膜を透過することができるので、細胞から水が出る速度と、細胞内に透過するエタノールと水の速度が等しいため (原形質の体積は変化しなかった)。

- (6) 結果の違いから、3種類の物質と水に対する細胞膜の透過性の違いを不等号で示せ。

エタノール > エチレングリコール > スクロース

#### <発展>

エチレングリコールと同様に、細胞膜をゆっくりと透過する物質として尿素がある。ヒトの体内における尿素生成のしくみや、尿素の性質を利用した例を調べてみよう。

タンパク質など窒素化合物の代謝で生じた有毒なアンモニアは、肝臓でオルニチン回路の反応により無毒の尿素となり、血液や筋肉などの組織中に存在している。血液中の尿素は、腎臓において濾過され、尿中の成分として体外に排出される。

尿素は、乾燥して荒れた肌で保湿因子としてはたらく。これは、体内に尿素があることで高張になって吸水することと、尿素の「水素結合」の性質による。酸素や窒素について水素はプラスの電気を帯び、酸素原子はマイナスの電気を帯びているため、通常の結合 (共有結合) の10分の1程度の強さで、2つ分子間で互いに引き合うことになる。尿素は6ヶ所の水素結合サイト、また、水の分子は4ヶ所のサイトを持っており、両者は水素結合を介してくっつき合い、混じり合うことができる。このため、皮膚に尿素配合剤を塗ると、尿素が水分子をつかまえ、肌の乾燥を防ぐことができる。

また、尿素は皮膚表面の余分な角質を除く働きもある。角質を作るタンパク質の分子はCO-NHというペプチド構造をたくさん持っており、分子同士が水素結合でくっつきあっている。ここに尿素を加えるとタンパク質同士の水素結合の間に割り込んでその構造を破壊してしまう。

つまり尿素は潤いを保つだけでなく、肌をツルツルにする作用も合わせ持っていることになる。また、もともとが生体成分なので、毒性などの心配がなく安心して使えるというメリットもあるため、尿素を20%程度配合したクリームやローション、入浴剤などが開発され、使用されている。

次の表は、ヒトの血しょうと赤血球に含まれる物質の濃度を相対値で示したもので、ヒトの赤血球では、a の濃度は細胞外の血しょうよりも高く、b の濃度は血しょうよりも低い。これは、細胞膜が能動輸送によって b を排出し、a を細胞内に取り入れているからである。

	a	b	c	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
血しょう	5	144	3	1	11	28
赤血球	150	2~20	0.001以下	3	74	27

血液を採取し、凝固しないようにして4℃に置くと、① a は赤血球内から流出し、b は赤血球内に流入してきた。次に、温度を37℃にまでもどすと、② a と b の細胞内の濃度がしだいに回復してきた。

一方、採取した血液を37℃に置いておくと、血しょう中の酸素濃度が減少しても、③ a と b の細胞内濃度には変化がなかった。ところが、同様に37℃で酸素濃度が低下した条件で、呼吸（酸素を必要としない呼吸）の反応を妨げる薬剤を加えると、④ a は赤血球内から流出し、b は赤血球内に流入してきた。

なお、物質 c は赤血球細胞内に微量に存在し、細胞外に排出されている。

- (1) 上の文と表に示されている a ~ c の組合せとして、最も適当なものを次のア~カのうちから一つ選べ。 ( イ )

	a	b	c		a	b	c		a	b	c
ア	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	イ	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	ウ	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>
エ	Ca <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	オ	Ca <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	カ	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>

- (2) 細胞膜における受動輸送と能動輸送を比較して、両者の相違点を述べよ。

受動輸送では、溶質が高濃度の側から低濃度の側へエネルギーの消費なしに移動するが、能動輸送では、溶質が低濃度の側から高濃度の側へエネルギーを使って移動する。

- (3) 上の文中の下線①~④は、拡散（受動輸送）か、能動輸送か。

① ( 拡散 ) ② ( 能動輸送 ) ③ ( 能動輸送 ) ④ ( 拡散 )

- (4) 上の文と表の説明として誤っているものはどれか。次のア~カのうちから二つ選べ。

ア 赤血球における物質の能動輸送には、酸素を必要としない呼吸によるエネルギーが利用される。

イ 赤血球では、温度を4℃に下げると原形質流動が低下し、細胞内のイオン濃度が変化する。

ウ 赤血球では、温度を4℃に下げると能動輸送が低下し、細胞内のイオン濃度が変化する。

エ 赤血球では、温度を4℃に下げるとエネルギー生産に関与する酵素の活性が低下する。

オ Cl<sup>-</sup>は、赤血球から血しょうへ排出されている。

カ 赤血球における細胞内のイオン濃度は、能動輸送によって維持され、受動輸送（拡散による輸送）は関与していない。 ( イ、カ )