

『カラフル人工いくらオブジェに関する基礎研究』

～ 最適インクの検討と膜形成メカニズムの解明 ～

愛知県立岡崎工科高等学校

科学技術部1年

壁谷宗汰、小早川泰輝、齋藤拓矢、豎本悠吾、永田真那斗

1 はじめに

小学生向けの科学実験において人気のある「人工いくら」。まるで本物のシヤケの卵のような外観をしている。塩化カルシウム水溶液の中に、食紅で着色したアルギン酸ナトリウム溶液をスポイトで滴下するだけで、人工いくらを作製できる。アルギン酸ナトリウムは、ワカメやコンブなどの海藻類のネバネバ成分として知られている。多糖類の一種で、六員環の糖構造が繰り返し繋がった高分子化合物である。ゲル化剤や増粘剤の用途で食品添加物などにも用いられている。水中ではナトリウムイオンが電離するため、側鎖のカルボキシ基がマイナス電荷をもった状態で水に溶ける。高分子溶液特有の粘性をもつ。滴下する側の液は、カルシウムイオンが存在すれば、塩化カルシウムによらず乳酸カルシウムなどでも代用できる。原理としては、アルギン酸ナトリウムの側鎖に多数存在する電離状態のカルボキシ基に「2価の陽イオン」であるカルシウムイオンが触れると、瞬間的に水に不溶な“アルギン酸カルシウム”の膜が形成さる。



Fig.1 人工いくら



Fig.2 人工いくらオブジェ

この人工いくらに様々なカラフルな色を付けて、色鮮やかなカラフル人工いくらを用いたオブジェ作り (Fig.2 参照) に挑戦したことが、本研究に取り組もうと思ったきっかけである。単純に、各種食紅で色を付けたアルギン酸ナトリウム水溶液を用いることで、カラフルな人工いくらを作製は容易にできた。しかし、オブジェ作りの段階で一つの課題にぶち当たることとなった。

その課題とは、人工いくら内部の色が外部の水へ漏れだしてしまい、最初は無色透明だったオブジェの色が時間経過とともに色が付いてくるとともに、いくらの色が無色への色褪せていってしまうというものである。そこで、色が漏れ出てこない最適インクの検討を目的に本研究を開始した。

2 研究目的

以下の3点について、研究を進めた。

- ① いくらの色が漏れ出てこない最適なインクを見つける
- ② 陽イオンが膜形成に与える影響を明らかにする
- ③ 理想的なカラフル人工いくらオブジェを作製する

3 原理・仮説

まずは、人工いくら原理についてイラストを用いて説明する (Fig.3 参照)。

アルギン酸ナトリウムはナトリウムイオンが電離することで、水に溶ける。糖分子の構造が何千回～何万回繰り返した分子構造をしているため、鎖のような構造をしている。そのため、アルギン酸ナトリウム水溶液を揺ると、高分子鎖が絡まり合うため高い粘性を示す。この高分子の側鎖には、電離後のカルボキシ基 $[-COO^-]$ が多数存在しており、マイナスの電荷を有していることとなる。そこへ、2価の陽イオンであるカルシウムイオンが接触すると、静電的な相互作用により2本の高分子鎖をくっつける。電荷を失うため会合体を形成する(アグリゲーション)。この化学反応が瞬時に起こることによって、滴下されたアルギン酸ナトリウム水溶液の液滴は水に触れる表面積を極力小さくするために、球状の構造を取りその表面だけがアルギン酸カルシウムの不溶膜となるのである。つまり、人工いくらの中身は液体(アルギン酸ナトリウム水溶液)のままということである。実際に、作った人工いくらを指でつぶすと中の液が飛び出してくる。

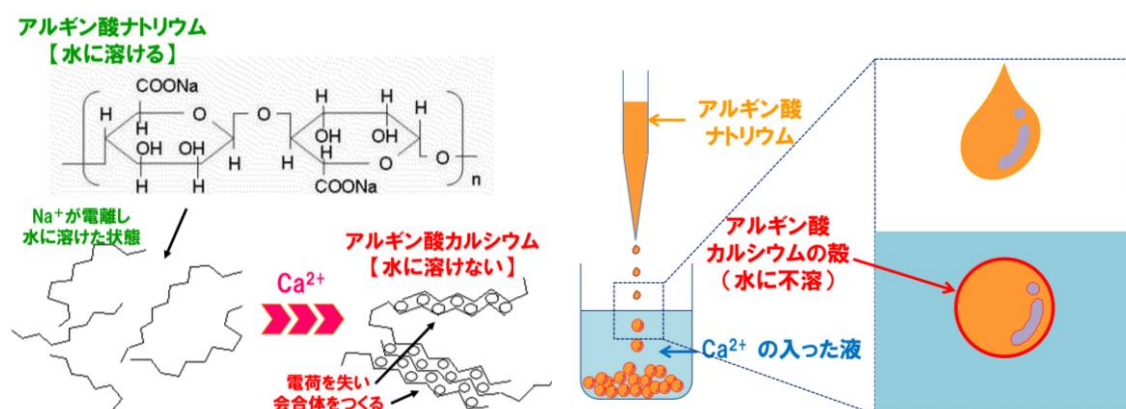


Fig.3 人工いくら原理

以上のような原理を踏まえて、膜形成条件の仮説を立てると、カルシウムイオン以外でも『2価以上の陽イオン』であれば膜形成が可能なのではないかと考えられる。また、多糖類のアルギン酸カルシウムの膜は、生体膜同様に半透膜であると予想される。内部に入れるインクの分子サイズが小さいと膜から漏れ出し、分子サイズが大きいと膜内部に色が留まると考えられる。

4 実験方法

4-1 最適インクの検討

人工いくらを作る材料として、1%アルギン酸ナトリウム水溶液および1%塩化カルシウム水溶液を調製した。検討したインクは次に示す7種類である。食紅(赤)、水性ペン(赤)、アクリル絵の具(赤)、ガラス絵の具(ピンク)、蛍光ペン(ピンク)、ポスターカラー(ピンク)、ブラックボードマーカー(ピンク)。それぞれのインクをアルギン酸ナトリウム水溶液に混ぜて着色した後、塩化カルシウム水溶液中に滴下させて人工いくらを作製した。

これら作製した人工いくらを、試験管を用いて純水中に浸漬させ1日静置した。純水中に漏れ出てきた色を評価するために、PET ボトルのキャップ(白色)に液を注ぎ入れ、真上からデジタルカメラで撮影し外観を記録した。

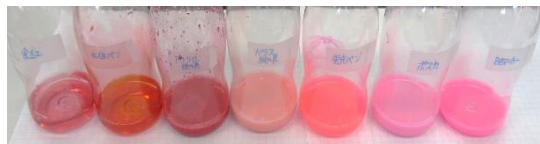


Fig.4 各種インクで着色したアルギン酸ナトリウム



Fig.5 人工いくらを純水に浸漬させている様子

4-2 陽イオンが膜形成に与える影響の検討

各種陽イオンを含む水溶液をビーカーに入れておき、そこへアルギン酸ナトリウム水溶液(ブラックボードマーカーで緑色に着色したもの)を滴下し、人工いくらに膜が形成するか否かを観察した。また、膜形成が確認できたものは、人工いくらを指でつまみ「膜の脆さ」も検証した。検討したイオンは下の表に示す。

Table1 検討した陽イオン

イオン	試薬	価数
Na ⁺	硝酸ナトリウム	1
K ⁺	硝酸カリウム	1
Mg ²⁺	塩化マグネシウム	2
Ca ²⁺	塩化カルシウム	2
Str ²⁺	硝酸ストロンチウム	2
Ba ²⁺	硝酸バリウム	2
Cu ²⁺	硝酸銅(Ⅱ)	2
Fe ³⁺	塩化鉄(Ⅲ)	3
Al ³⁺	硫酸アルミニウム	3

4-3 カラフル人工いくらオブジェ作り

4種類のブラックボードマーカー(ピンク、橙、黄、青)を用いて、虹色のアルギン酸ナトリウム水溶液を調製し、塩化カルシウム水溶液を用いてカラフル人工いくらを作った(赤、橙、黄、緑、青、藍、紫)。プラスチック容器に純水とともにカラフル人工いくらを入れてオブジェ作りを行った。



Fig.6 虹色のアルギン酸ナトリウム水溶液と実験の様子

5 結果

5-1 最適インクの検討

検討結果を Table3 に示す。7種類のインク全てで正常な膜形成が確認できた。アルギン酸ナトリウム水溶液へインクを混ぜる段階で、アクリル絵の具を用いた場合に分散がうまくいかず均一な液にならなかった。作製した人工いくらを純水中に浸漬させ観察していると、食紅、水性ペン、アクリル絵の具、ガラス絵の具、蛍光ペンに関しては、色が漏れ出てきた。食紅からはほぼ全ての色が漏れ出し、最終的には無色透明の球体となった。水性ペンからは最も顕著に色が漏れ出た。ガラス絵の具からはピンク色が漏れ出し、最終的には白い球体となった。アクリル絵の具と蛍光ペンからはゆっくりと色が漏れていたが、確実に色は抜けていた。以上のことを踏まえると、いくらから色が漏れ出ないという条件を満たしていたのは、ポスターカラーとブラックボードマーカの2種類であった。

Table3 最適インクの検討結果

インク種類	食紅	水性ペン	アクリル 絵の具	ガラス 絵の具	蛍光ペン	ポスター カラー	BB マーカ
調製直後の 外観							
純水に浸漬 (1日経過後)							
色の 漏れ出し	×	××	×	×	×	○	○
							

※BB マーカー＝ブラックボードマーカ

5-2 陽イオンが膜形成に与える影響の検討

合計9種類の陽イオンを用いて、膜形成の様子を観察した。1価の陽イオンは、膜が形成されなかった。2価の陽イオンに関して、マグネシウムイオン以外で膜形成が確認され、どれも指でつまむと弾力のある人工いくらになっていた。3価の陽イオンは、膜形成が確認されたものの「脆い」人工いくらであった。

5-3 カラフル人工いくらオブジェ作り

Fig.7 に示すように、ブラックボードマーカを用いたカラフルな人工いくらを作製することができた。これらの人工いくらを純水と共に PET 容器に入れて「オブジェ」を作った (Fig.8 参照)。

Table4 陽イオンが膜形成に与える影響

イオン	blank (純水)	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Sr ²⁺	Ba ²⁺	Cu ²⁺	Fe ³⁺	Al ³⁺	
価数	-	1	1	2	2	2	2	2	3	3	
膜形成 (外観)	×	×	×	×	○	○	○	○	○	○	
膜触感	-	-	-	-	ぶにぶにっとしており弾力がある					脆い(碎ける)	

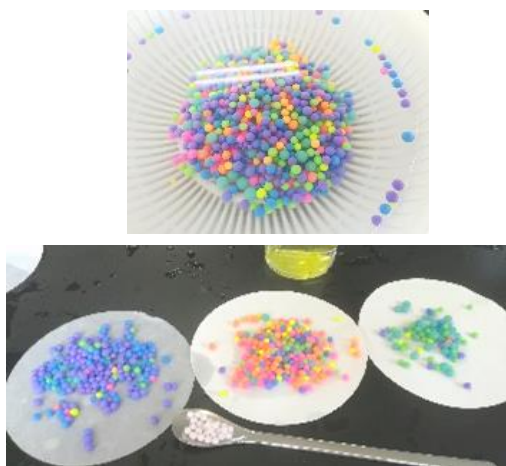


Fig.7 カラフルな人工いくら



Fig.8 カラフル人工いくらオブジェ

6 考察

6-1 最適インクの検討

今回の検討結果として、ポスターカラーやブラックボードマーカーを用いることで、色漏れが起こらずオブジェに適したカラフル人工いくらを作製できることがわかった。ポスターカラーの材質は「顔料と固着剤(バインダー)」である。このバインダーには「デキストリン」という多糖類が使用されることが一般的である。構造式を Fig.9 に示す。アルギン酸ナトリウムの構造と良く似ているため馴染みが良いことが伺える。また、デキストリンは高分子化合物であり分子サイズが大きいいため人工いくらを膜を通過することが困難なのであろう。

一方で、食紅や水性インク、蛍光ペンは色漏れが起き

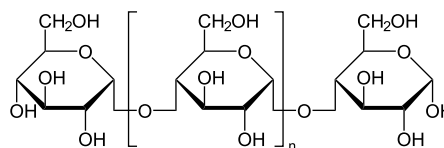


Fig.9 デキストリンの構造式

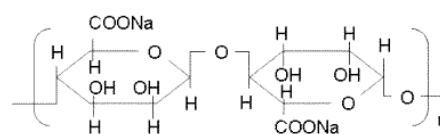


Fig.10 アルギン酸ナトリウムの構造式

た。これらのインクにはバインダーが使用されておらず、一般的な色素は小さな分子構造をしているため人工いくら膜を通過したと考えられる。さらに、ガラス絵の具を用いた人工いくらが最終的に「白色」の球体になったことに関して、ガラス絵の具のパッケージには材質が「ポリアクリルエマルジョンと染料」と記載がある。このことから、ピンク色の染料のみが人工いくら膜を通過して外へ出ていき、ポリアクリルエマルジョン成分が膜内に残留したことによると考えられる。

アクリル絵の具が水系のアルギン酸ナトリウムと混ざりにくかったことに関して、アクリル絵の具の材質は「乳剤とピグメント」とあり、ピグメントとは水に溶けない色素のことを指すので、このような現象が起きたと考えられる。

6-2 陽イオンが膜形成に与える影響の検討

予想では2価以上の陽イオンを用いれば膜が形成されると考えていたが、結果としては「2価のマグネシウムイオン」のみ膜が形成されなかった。Mg以外のCaやSr、Baなどのイオンは、安定な膜が形成され、弾力のあるいくらが作製できた。Mgは原子番号が小さくイオンサイズも小さいことが影響するのかもしれない。イオン化傾向はカルシウムよりも小さいので会合体を形成しにくいことに関係していないようだ。また、3価の鉄やアルミニウムのイオンを用いた場合に、脆い膜が形成された。脆いという表現よりも、膜内部まで固まっていて弾力性がない状態であった。まだまだ解明できていないことが多い。今後もいろいろな条件で検証を行っていききたい。

7 まとめ・今後の展開

本研究では、「カラフル人工いくらオブジェ」を作製するための最適なインクの検討と膜形成における陽イオンの違いについて知見を得ることができた。インクに固着剤(バインダー)を含むもの、具体的には「ポスターカラー」や「ブラックボードマーカー」のインクは、色漏れが起きなかった。その中でも「ブラックボードマーカー」は蛍光色のインクも容易に手に入るため、見映えの良いカラフルな人工いくらオブジェを作るのに最も適していると結論付けられる。また、陽イオンの影響としては、マグネシウム以外の2価イオンであれば安定な人工いくらが形成できるという知見が得られた。

今後としては、『持続可能な開発目標(SDGs)』の17の目標と関連付けた研究に発展させたい。オブジェを作るときに用いる容器を、廃材(破損した化学実験器具など)にすることで、ごみを減らすとともに化学や環境に興味をもつ人たちが増えることを願いたい。さらに、医療分野の『ドラッグデリバリーシステム(DDS)』への応用展開も検討したい。外的環境の変化がトリガーとなって、人工いくらに変化を起こす(色変化、膜崩壊など)ということも我々の実験の中でわかってきたので、今後深めていきたい。

最後になりますが、今年度本校は学校名が変わり、これまでの「工業高校」から新しく「工科高校」になった。科学分析機器の導入も追加され、よりいっそう科学的な研究活動を行っていききたい。また、同時に環境科学科の中に「生活コース」が設定され、地域の子どもたちに科学を教える機会も増えていく。そんなときに、今回の研究で扱った『カラフル人工いくらオブジェ作り』などを通じて、科学への興味関心の芽生えにつながるような活動をしていきたい。



Fig.11 カラフル人工いくらオブジェ

8 参考文献

- ・実験マニア(亜紀書房)
- ・サイエンスビューー化学総合資料(実況出版)