

# スライムの構造の推察

静岡県立清水東高等学校  
自然科学部化学班 2年 石橋美愛 生駒花奈

## 1 研究動機

スライムとは、四ホウ酸ナトリウム水溶液（以後の記述では、「ホウ砂水溶液」と称する）とポリビニルアルコール（以後の記述では「PVA」と称する）によって作られる。スライムがこの二つから作られるときPVAとホウ酸イオン間に架橋結合ができる。これは、あまり強い結合ではないため橋掛けは自由に組み変わる。これが、スライムに流動性が残っている理由である。PVAとホウ酸イオン間の結合については、まだ解明されていない。今回の研究では、その内部構造を探るため、使用薬品の濃度を変化させたスライムを作成し、粘度を測定することでその差異から、結合部の解明に関する知見を得ようと考え、研究を行った。

## 2 実験1 〈ホウ砂水溶液の濃度〉

### (1) 実験方法

ホウ砂水溶液 0.10mol/L、PVA100%(質量パーセント濃度)をそれぞれ 20mL、80mL で混ぜ合わせたものを基準として、スライムを作成した。PVAの質量パーセント濃度は、そのまま、ホウ砂水溶液濃度を、0.050~0.15mol/Lの間で、0.010mol/L ずつ変化させた。また、ホウ砂水溶液とPVAをメスシリンダーの中に入れ、完全に反応し液体がなくなるまで混ぜ合わせた。そこに、鉄球を落とし入れて鉄球がメスシリンダーの底に着くまでの時間を計測し、先行研究<sup>参考文献②</sup>よりスライムの粘度を算出する落球粘度式を用いて粘度を求めた。また、気候条件の影響を受け数値が大幅に変動するため、実験1を2回行い、その2回の結果から傾向を掴むことにした。

ホウ砂水溶液濃度(mol/L)	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	
粘度 (Pa・s)	$0.0085 \times 10^2$	$0.017 \times 10^2$	$0.026 \times 10^2$	$0.03 \times 10^2$	$5.1 \times 10^2$	$1.5 \times 10^2$	$3.2 \times 10^2$	
ホウ砂水溶液濃度(mol/L)	0.08	0.09	0.1	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15
粘度 (Pa・s)	$4.2 \times 10^2$	$6.0 \times 10^2$	$8.9 \times 10^2$	$8.4 \times 10^2$	$16 \times 10^2$	$22 \times 10^2$	$52 \times 10^2$	$27 \times 10^2$

表1 ホウ砂水溶液濃度と粘度の関係性 1回目

ホウ砂水溶液濃度(mol/L)	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	
粘度 (Pa・s)	$0.0085 \times 10^2$	$0.0085 \times 10^2$	$0.017 \times 10^2$	$0.025 \times 10^2$	$0.30 \times 10^2$	$3.8 \times 10^2$	$9.7 \times 10^2$	
ホウ砂水溶液濃度(mol/L)	0.08	0.09	0.11	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15
粘度 (Pa・s)	$1.3 \times 10^2$	$9.5 \times 10^2$	$14 \times 10^2$	$10 \times 10^2$	$19 \times 10^2$	$25 \times 10^2$	$62 \times 10^2$	$30 \times 10^2$

表2 ホウ砂水溶液濃度と粘度の関係性 2回目

次頁の図1において、横軸はホウ砂水溶液濃度(mol/L)、縦軸は粘度(Pa・s)を表している。○は1回目の測定記録、□は2回目の測定結果を表している。相関係数は、それぞれ 0.82、0.79であった。また、0.030mol/L 前後から反応の目視は不可能になった。

### (3) 考察

結果より、ホウ砂水溶液濃度が高いほど粘度が高く、両者には正の相関関係がある。図2よりPVA、ホウ酸イオン、水分子それぞれのモデルとする。図から確認できる通り、基準のスライムより、ホウ砂水溶液濃度が高い方が架橋結合の橋部分が増加すると考えられる。

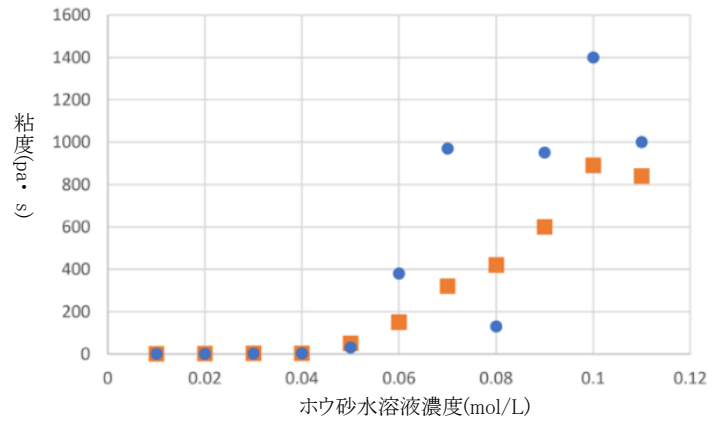


図1 ホウ砂水溶液濃度と粘度の関係性

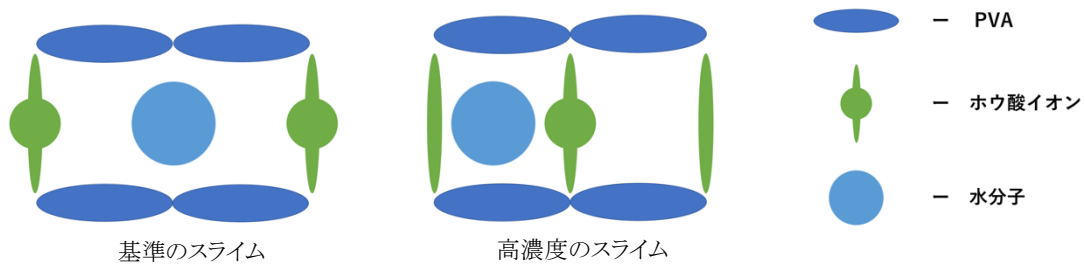


図2 ホウ砂水溶液濃度変更時のスライム模式図

## 3 実験2 (PVAの濃度)

### (1) 実験方法

ホウ砂水溶液濃度はそのまま、PVAに蒸留水を加え、質量パーセント濃度を50~100%の間で5%ずつ変化させた。(100%は洗濯糊の原液そのままの状態を指す)濃度以外の設定は実験1と同様に行い再び粘度を求めた。

### (2) 結果

PVA質量パーセント濃度(%)	30	35	40	45	50	55	60	
粘度 (Pa·s)	$0.0085 \times 10^2$	$0.0085 \times 10^2$	$0.043 \times 10^2$	$0.10 \times 10^2$	$0.26 \times 10^2$	$0.67 \times 10^2$	$1.1 \times 10^2$	
PVA質量パーセント濃度(%)	65	70	75	80	85	90	95	100
粘度 (Pa·s)	$1.3 \times 10^2$	$2.7 \times 10^2$	$3.7 \times 10^2$	$6.2 \times 10^2$	$8.4 \times 10^2$	$9.4 \times 10^2$	$0.11 \times 10^2$	$0.11 \times 10^2$

表3 PVA と粘度の関係性1回目

PVA質量パーセント濃度(%)	30	35	40	45	50	55	60	
粘度 (Pa·s)	$0.0085 \times 10^2$	$0.0085 \times 10^2$	$0.030 \times 10^2$	$0.060 \times 10^2$	$0.40 \times 10^2$	$0.56 \times 10^2$	$2.1 \times 10^2$	
PVA質量パーセント濃度(%)	65	70	75	80	85	90	95	100
粘度 (Pa·s)	$2.2 \times 10^2$	$1.7 \times 10^2$	$3.2 \times 10^2$	$5.7 \times 10^2$	$3.3 \times 10^2$	$5.8 \times 10^2$	$7.0 \times 10^2$	$7.2 \times 10^2$

表4 PVA と粘度の関係性2回目

次頁の図3において、横軸はPVA濃度(質量パーセント濃度)、縦軸は粘度(Pa·s)を表している。○は1回目の測定記録、□は2回目の測定記録を表している。相関係数は、それぞれ0.97、0.94であった。また、30%前後から反応の目視は不可能になった。

### (3) 考察

結果より、PVA濃度が高いほど粘度が高く、両者には正の相関関係があり、特に比例類似した形状であった。図4よりPVA、ホウ酸イオン、水分子それぞれのモデルとする。図から確認できる通り、基準のスライムより、PVA濃度が高い時の方が含まれる水分子の数が減少すると考えられる。

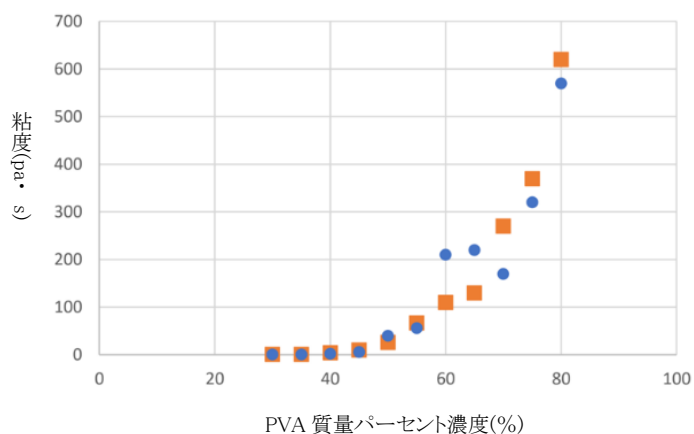


図3 PVA 濃度と粘度の関係性

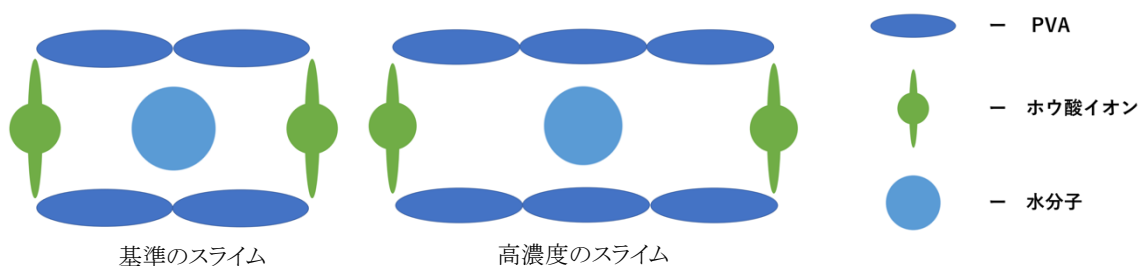


図4 PVA の濃度変更時のスライム模式図

## 4 考察

実験1、実験2の(3)考察より、ホウ砂水溶液濃度、PVA濃度により粘度が変化したことから架橋結合に含まれる水分子の数が粘度に影響を及ぼしていることがわかった。また、ホウ砂水溶液、PVAの濃度が高くなるほど形成される架橋結合の橋部分が増加するため、PVAとホウ酸イオンを結びつける結合部分が増加することが関係していると考えた。今回は、鉄球の落下速度と粘度には正の相関関係があることを仮説として実験したが、正確には鉄球の落下の途中で鉄球の運動は変わってしまう。そのため、スライムの粘度と鉄球のスライムを媒質とした速度に正の相関関係があるとは今の我々の研究段階では言い切れない。だが、同様の条件下で実験を行ったため、他のデータと比較したときに、それらに関係性があることは明確である。模式図や様々な文献では架橋結合の平面構造は示されているが、実際のところ、架橋結合は3次元で起こるため、立体構造をとる可能性が高い。内部では、この模式図のような結合が縦横斜めの3次元に広がっていると考えた。そして、今回の研究のみでは結合部分が水素結合であるという推察ができるデータを得ることができなかった。そこで、そのほかのスライムの特徴に注目し、さらに研究を進めた。

## 5 実験3 (塩析の確認)

### (1) 目的

スーパーボールをスライムから作成した際、スライムに塩化ナトリウム水溶液をかけると、固体部分と液体部分に分かれることを確認した。そのため、この反応がコロイドの塩析の反応ではないかと考えた。コロイドについての調査をすると、親水コロイドの塩析の反応では、水素結合が起こるという文献を見つけた参考文献③④。そこで、スライムが親水コロイドであるかを確認するための実験を行った。

## (2) 実験方法

塩析の反応を確かめるため、NaOH 水溶液 1.0mol/L(A)、NaCl 水溶液 1.0mol/L(B)、NaCl 水溶液 5.0mol/L(C)を基準のスライムに加え、30 回混ぜてから静置した。この時、酸性の水溶液を加えるとスライムの溶解が起きるので、塩基性水溶液から選出した。

## (3) 結果

写真1～3は、左から、A、B、Cの実験直後の様子である。NaCl 水溶液 1.0mol/Lを加えたスライムではあまり反応は見られなかった。NaCl 水溶液 5.0mol/Lを加えたスライムは沈殿が見られた。NaOH 水溶液を加えたスライムも沈殿が見られた。

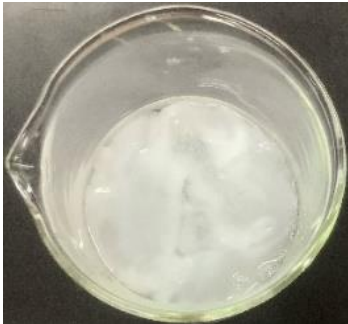


写真1 Aの様子



写真2 Bの様子

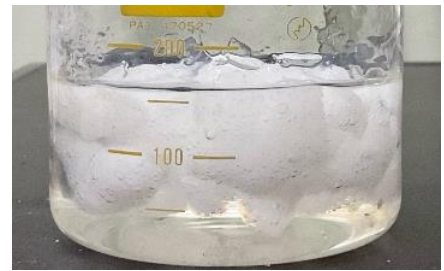


写真3 Cの様子

## (4) 考察

高濃度の塩化ナトリウム水溶液を加えると、塩析による沈殿の反応が見られた。また、低濃度の場合では、あまり沈殿の反応が見られなかったことから、スライムは親水コロイドであると考えた。

## 6 実験4 〈チンダル現象の確認〉

### (1) 目的

実験4と同様。

### (2) 実験方法

ホウ砂水溶液、PVA、スライムの入ったビーカーに、レーザー光を当てた。

### (3) 結果

写真4にある3つのビーカーは、左からホウ砂水溶液、PVA、スライムの順である。PVA、スライムに当たった光は一様に輝いて見えた。

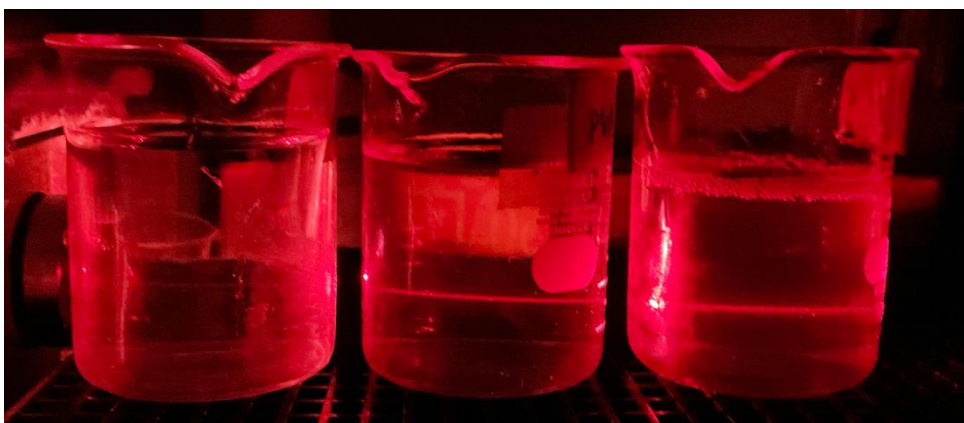


写真4 実験4の様子

### (4) 考察

ホウ砂水溶液ではチンダル現象は確認できなかったが、PVAとスライムでは確認できた。

## 7 まとめ

今回の研究から主に3つのことがわかった。

ア：スライムの架橋構造について、ホウ砂水溶液とPVAの濃度を変化させた場合、架橋結合には下限が存在し、結合の要となる橋部分がスライムの性質を変化させること。そしてその原因はPVAやホウ砂水溶液濃度が極端に低いと架橋が変わる速度が速くなり、橋がかかりにくくなってしまうこと。

イ：結合部については、現時点では水素結合の可能性が高いということ。

ウ：文献<sup>参考文献⑤</sup>から得たデータより、スライムは非共有結合による可逆架橋である物理架橋ということから非共有結合であると断言できること。

## 8 今後の展望

ア：架橋結合を取る物質はスライムの他にもタンパク質などがある。タンパク質の蛍光作用を使うことで電子顕微鏡を用いれば、結合間の距離を測ることができると考えられる。距離の計測が可能になれば、内部構造についてより具体的に、また立体的に思考していくことができると考えられる。完全に同じ架橋結合構造を再現することは難しいが、タンパク質の種類は多様なので、スライムの架橋構造と類似した構造を作成することで、スライムの架橋結合の推察につながると思う。

イ：スライムの粘度を含む性質は気温や湿度など気候条件の影響を強く受けるため、粘度測定時の外的条件を揃えていきたい。

ウ：スライムの溶解とは、スライムに酸性の水溶液などを加えると架橋結合を担っているホウ酸イオンがホウ酸になることで結合の壁が取れてしまい、橋掛けによって貯えられていた水が取り除かれる反応である。また、塩析とは、PVAとホウ砂塩の構造体が凝縮し水酸基が沈殿することと学んだ。ここから、スライムに加える酸性、塩基性の物質を変化させることによって溶解や塩析の反応を確認したところ、強酸や強塩基の方が弱酸や弱塩基よりも反応が顕著に見られた。よって、溶解や塩析を起こすスライムに加える水溶液の量を固定し、濃度を変化させれば溶解の際は完全にスライムが溶解した反応の極限の値を求めることができ、架橋結合の一時的な個数を割り出すことが可能であると考えた。この時の塩析の反応は何を持って完全に反応したと定義するかについては考えていきたい。それにより、スライムの内部構造を立体的に理解できると思う。

## 9 参考文献・参考web

① 「フォトサイエンス化学図録」(数研出版, 数研出版編集部編、2017年)

② 「粘度比較によるPVAゲル生成の仕組みの解明」(常葉学園菊川高等学校 自然科学部)あすなる学習室 論文集

<https://gakusyu.shizuokac.ed.jp/science/sonota/ronnbunshu/h24/123114.pdf>

③ 「コロイドの話」(培風館、北原文雄、1984年発行)

④ 「界面・コロイド化学の基礎」(講談社、北原文雄、1994年発行)

⑤ 「高分子の架橋とゲル化」(理論高分子科学研究所、田中文彦)

<http://www7b.biglobe.ne.jp/~ftanaka/member/ftanaka>