

インクジェットプリンターを用いた指紋検出の開発

錦江湾高校 化学研究部 1年 塚田記久 榎田彩夏 蛭川幸茉

1 動機

ニンヒドリン反応は、アミノ基を持った物質に反応し警察の鑑識では、指紋検出に用いられている。一般的にはニンヒドリン水溶液を入れたスプレーを用いているが、吹きかけにはムラがあり、指紋検出が上手くいかない場合もある。そこで、ニンヒドリン水溶液をインクカートリッジにいれ、プリンターを用いて、均一にニンヒドリン水溶液を吹きかける方法を開発する。

2 方法

0.5%濃度のニンヒドリン水溶液を作り、メラミンスポンジに浸透させ、市販のプリンターインクを分解したものとのスポンジと交換した (Fig. 1. 2)。市販のインクジェットプリンターにセットし、通常のプリントと同じようにプリントする (Fig. 3)。プリントした紙にL-アラニンの0.3%濃度の溶液を筆で紙につけ、ドライヤーで熱する (Fig. 4)。



Fig.1 0.5%濃度のニンヒドリン溶液



Fig2 インクカートリッジにそれぞれ濃度の異なる溶液に浸したメラミンスポンジを詰めたもの

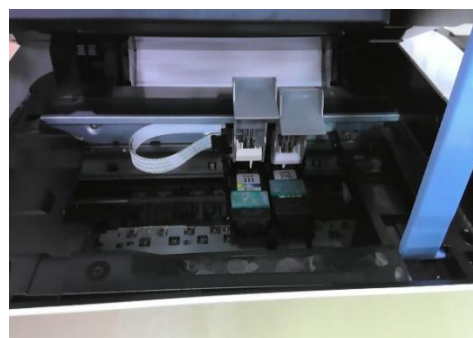


Fig.3 インクカートリッジをセットした様子



Fig.4 ニンヒドリン溶液でプリントしたもの

3 結果

プリントした紙にL-アラニン水溶液をつけ、ドライヤーで熱した結果、通常のニンヒドリン反応と同じように、青紫色に反応するという結果を得られた。しかし、インク代わりとして利用したものがニンヒドリン溶液のみだったため、プリントした後の反応に色むらが目立った。

4 考察

実験結果から、通常のインクと同じように、粘度を高める必要があるという課題が見つかった。また、プリンターがたびたび故障してしまったことから、インク自体を改良し安全に利用できるものにしていきたい。また、将来的にはニンヒドリン溶液の濃度をインクの色ごとに段階わけし、スキャンする際の紙の色を変える事によってインクの濃度を指定し、水墨画のように一色で濃淡を表現できるようにしたい。

化学部門

廃棄される野菜を利用した新しいソーセージの開発（仮）

鹿児島県立曾於高等学校 科学部化学班

2年 和泉 鈴 重住 帆香

1年 狩川 春菜 東 来夢 有川 帆乃花

1. 研究概要

市販されているソーセージには発色剤や結着剤など食品添加物が大量に添加されており、今や体に悪い食品の代名詞となりつつある。また、曾於市は農業が盛んであり、摘果や規格外商品など食べられるにもかかわらず廃棄される野菜や果物がある。そこで、ソーセージと野菜のみで新しいソーセージを開発することにより、食品ロスを減らし、さらに食品添加物を使用せず、さらに野菜の栄養も取れるソーセージを開発した。

2. 動機および目的

鹿児島県曾於市は農業、畜産業が大変に盛んである。しかし、農作物には規格外商品として食べることができるにもかかわらず出荷できずに捨てられるものも多い。また、畜産業は食肉だけではなく、加工品の生産も多いが、加工品は食品添加物が多く体に悪いというイメージがある。また無添加ソーセージも販売されているが、色は灰色っぽく、価格も高いためあまり一般的ではない。また、野菜をふんだんに使ったベジタブルソーセージ等も一部の企業で作られてはいるが、ほとんどがにんにく、タマネギなどの香り付けであったり、珍しい野菜が中心で発色剤が不使用のため色が不自然であったり、野菜がそのままゴロゴロと入っているところなどを売りとしているものがほとんどであった。肉の色に着目したソーセージで、普段毎日食べることのできる野菜を用いた無添加ソーセージを作成している企業は私たちの調べる限りでは見つからなかった。

そこで我々は、食品添加物の代わりに捨てられる野菜で着色し、栄養価を高めたソーセージを作

ることで食品ロスを減らし、健康的で付加価値の高い、世界初の新しいソーセージの作成を模索することにした。

3. 実験方法

規格外や家庭で余っている野菜や果物をホモジナイズし、0 g～5 gの値で市販の豚肉ミンチ10 gとよく混ぜ、直径が20 mm以内（羊腸を用いたウインナーソーセージの規格）になるようにラップで巻いて形成し、10分間加熱殺菌後その色を観察するというスクリーニング作業を行った。

その後良い色味が発現したものに食塩を0 g～0.25 gの範囲内で添加し、その食味や食感を評価し、色及び味の変化を観察した。

4. 実験器具および使用薬品等

豚ミンチ肉 市販品 10 g

野菜・果物類 曾於高校の農園で採れて傷のある物、家庭で作りすぎて余っている物等

食塩 塩 塩化ナトリウム 99%以上 公益財団法人塩事業センター

亜硝酸ナトリウム ExtraPure 含有量 97%以上 ナカライテスク

5. 実験・結果・考察

5-1 亜硝酸ナトリウムの発色作用

豚肉10 gに0.07 g/kg (70 ppm)を最大値として（1 厚生省告示第370号 2017）亜硝酸ナトリウム水溶液を各濃度で加えてみて、亜硝酸ナトリウムの発色能力を探った。結果として、最大値の半分の35 ppm分を加えても十分な発色能力があることが分かった。ただし、この最大値は残存値の最大量であり、加工により分解されている可能性もある。

5-2 スクリーニング

5-1の色と比較し、様々な野菜・果物をホモジナイズし、0 g～5 gの範囲内で様々な量を豚ミ

ンチ 10 g に加え、10 分間加熱殺菌を行った。微量の亜硝酸ナトリウムでも発色するため、加える野菜等の残存亜硝酸根を調べたが、ほとんどの野菜で亜硝酸根は検出限界以下であることがわかった（2 藤沼賢司ら 2007）。

よって、亜硝酸根で発色させるのではなく、植物内の色素であるアントシアン等の色素で着色することにより、新しい色のソーセージができないか実験を行った。

結果として、トマトや枝豆を用いたソーセージの染まり具合が良かったが、詳細は当日に報告する。

5-3 食塩添加実験

豚肉は食塩と練り合わせることで、肉中から主要なタンパク質であるアクトミオシンが可溶化し、練り肉は強い結着力と保水力をもった粘性の肉となる（3 谷口亜樹子 2013）。5-2 により色味の良かったソーセージに対し、食塩を 0～0.25 g 加えて肉の粘り気及び食味を改善させた。食塩を加えることにより色味の変化はほぼ無かった。食味については部員 5 人で試食して最適量をミーティングで決定した。

が、加える材料により最適な食塩量はまちまちであった。詳細については当日報告する。

5-4 ソーセージの作成

以上の結論を踏まえ、羊の腸を用いてそれぞれをケーシングし、羊の腸を用いたソーセージの完成とした。作成後すぐに冷凍することで冷凍品として賞味期限を 180 日と仮決定した。こちらも詳細については当日報告する。

6 反省と今後の課題

この研究の意義として、捨てられるはずの野菜をソーセージに使うことで、大幅な食品ロスのカット、原材料の仕入れ値の低下、ソーセージの栄養価の強化、発色剤を使わないことによるソーセージの食品としての安全性の向上及びイメージアップにつながり、ひいてはブランド化による地域活性化につながる、成功すれば何重にもメリット

が重なる研究である。

反面、捨てられるはずの野菜の安定供給は難しく、季節性の問題や地域住民の理解や協力なしでは大量生産は難しい。

また、アントシアン系色素は pH の影響を強く受ける。この問題については塩基性側では豚肉は結着しにくく、崩れやすい（4）という特性により、酸性側のみ考えれば良い。しかし肉の pH を測ったり、安定的に保ったりする方法については今後十分検討しなければならない。

食品を開発する以上、賞味期限の設定も行わなければならない。賞味期限は 3 サンプルを毎日細菌量を測定し、最近が発生してから 8 掛けの日を目安に決定しなければならないが、今回はそこまでの時間がなく、次回の課題としたい。

さらにソーセージには燻製という作業がある。燻製機自体は自作で作成する予定であったが、これにも様々な条件があるため来年度までの課題としたい。

総じて今年は新型コロナウイルス禍等により十分な実験の時間が取ることが出来ず、来年度の課題とすべきことが多く残ってしまったが、ひとまずは満足のいく野菜色素ソーセージを完成することができたことは、研究を始める第一歩として形を残せたのではないかと思う。

7 参考文献等

- 1) 厚生省告示第 370 号 2017
- 2) 東京都健康安全研究センター研究年報 第 58 号 別刷 2007
- 3) 食品加工学と実習・実験 光生館 2013
- 4) ナンチクハム 小田氏による直接取材

発表分野	化学
発表題目	－塩化コバルトの不思議を探る－
学校名・ 団体名	鹿児島県立川辺高等学校 サイエンス同好会
生徒氏名	辰野ルナ（１年） ， 松蘭りさ（１年）
<研究の要旨> お菓子の袋に入っていたブルーのシリカゲルが赤色に変化したことから、塩化コバルトの存在を知り興味を持った。資料で見た塩化コバルトと２種類の試薬で起こる色の変化を確認する目的で実験を始めたが、失敗の連続だった。色がピンクに戻る条件を割り出し、濃度の違う過酸化水素水の反応にかかる時間を比較することに成功するまで、データを取りながら研究した。また温度の違いを利用した可逆反応の実験を行った。この時加える液や量の違いで色が変わった。これらの内容を『塩化コバルトの不思議を探る』と題して報告する。	

1. はじめに

大好きなサクッとした食感のあるクッキーを食べ残し、封を開けたままにしていた。随分経って思い出し、触れてみたら湿気っていた。この時、ブルーのシリカゲルが赤くなっていることに気付いた。なぜ色が変わったのかという疑問から、水分の有無で色が変わる塩化コバルトに興味を持った。色々な条件下で七変化する塩化コバルトの不思議を探るべく、その色の変化を確認するためには、どのような条件が適するのかを求めて研究した。

2. 実験方法 ２種類の実験を行った。２－(1)、２－(2)として記す。

２－(1) 塩化コバルトと酒石酸ナトリウムカリウムと過酸化水素水を用いた実験

－色の変化から、濃度の異なる過酸化水素水を用いて反応にかかる時間を比較する－

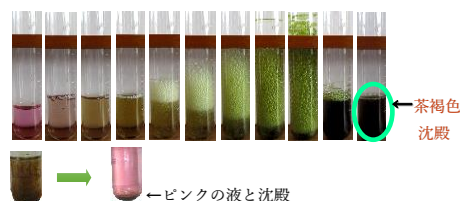
塩化コバルトと酒石酸ナトリウムカリウムの溶液に過酸化水素水を加えることで起きる色の変化(ピンク→黄色→緑→黄色→ピンク)にかかる



時間を求める。その結果を利用し、過酸化水素水の濃度の違いによる反応にかかる時間を検証すると共に、実験に最適な濃度を決定する。

3. 結果と考察

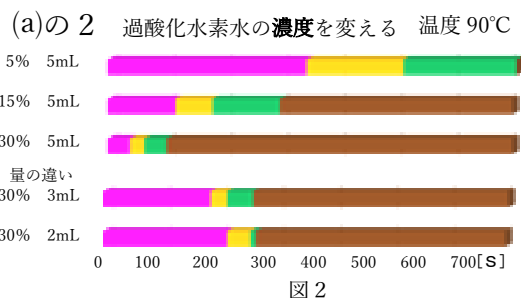
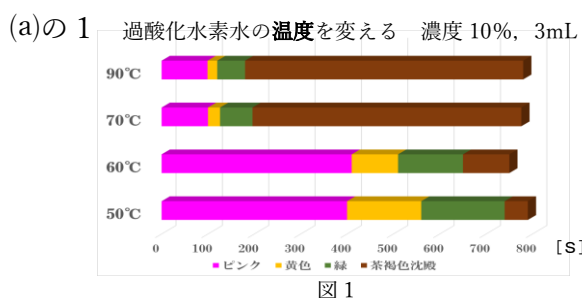
予想では過酸化水素水を加えると、ピンク→黄色→緑→黄色→ピンクという色の変化が簡単に起きると考えていた。しかし、何度実験してもピンク→黄色→緑→茶褐色沈殿となり、反応にかかる時間を計ることができなかった。ただし、この茶褐色沈殿は、翌日にはピンクの液と沈殿に変化した。



この結果を受けて、どのような条件ならピンク→黄色→緑→黄色→ピンクの色の変化が観察できるのか。実験を成功に導くため、次項①の手順で再度実験に挑戦した。

① 実験が失敗したことにより、追加した実験項目と結果

- 過酸化水素水の温度と濃度を変える。
- (a)の失敗から、条件を統一するため溶液の濃度を決める。
- 塩化コバルトと酒石酸ナトリウムカリウム溶液の温度を変える。
- (c)で成功した溶液を翌日実験に使用したら失敗した。成功するための条件を見出す。
- 色の変化が何度行っても成功する条件を割り出す。
- (e)を基に、過酸化水素水の濃度による反応にかかる時間の違いを検証する。



ここにあげたデータはほんの一部である。(a)での実験はいずれも失敗。時には反応が激しすぎて、何度も噴きこぼれた。過酸化水素水を温めて使用することは断念した。ちなみに泡の発生している試験管に線香を近づけたら、炎が大きくなった。この事から発生した気体は酸素であることが考えられる。

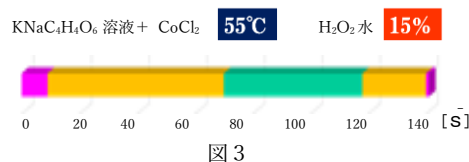


(b)では正確なデータを取るため、酒石酸ナトリウムカリウム水溶液の濃度を 0.2 mol/L に定めた。しかし、この濃度で前項(a)の実験を再度行っただが、全て失敗だった。

次に(c)塩化コバルトと酒石酸ナトリウムカリウム水溶液の温度を変えて何度も挑戦した。

初めて実験に成功したのは、水溶液の温度は 55°C で、過酸化水素水の濃度は 15%。(図 3) ここで学んだことは、正確な濃度や量や温度をきちんと記録しないと成功へは導けず、データも残せないということだった。

☆ 初めて成功した条件



ところが、成功した塩化コバルト + 酒石酸ナトリウムカリウム水溶液を用いて翌日実験したら失敗した。そこで塩化コバルトを直前に混ぜたら成功。(d)では塩化コバルトを直前に混ぜることが重要なことが分かった。

(e)の結果：(a)～(d)を通して実験を繰り返して、色の変化が何度行っても成功する条件は、右の図 4 の通り。過酸化水素水の濃度は 5%, 10%, 15% が良い。

過酸化水素水の濃度	酒石酸ナトリウムカリウム水溶液 + 塩化コバルトの温度				
	50°C	55°C	60°C	65°C	70°C
5%	○	○	○	○	○
10%	○	○	○	○	△ピンクの液 + 沈殿
15%	×	○	○	○	×
30%	×	×	×	×	×

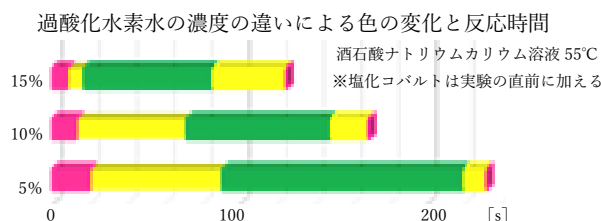


色の変化を録画したものを紹介

図 4

その後(f)により、過酸化水素水の濃度 (5%, 10%, 15%) の違いによる反応にかかる時間を比較した。

図 5 より過酸化水素水が濃い方が反応の進みが早いことが確認出来た。



また、一度色の変化が終わりピンクになった液に過酸化水素水を加えると、再び同じ色の変化が起こることも確認した。しかし、次のような条件が必要なことが分かった。反応直後、反応熱で溶液が高温の時→失敗。翌日完全に溶液が常温に戻っている時→失敗。反応後、反応熱が取れ溶液が常温になってすぐの時→成功。ただし、この反応が成功したのは2回目までだった。

② なぜ色の変化(ピンク→黄色→緑→黄色→ピンク)が起きるのか?

ピンク色はコバルト(Ⅱ)の色、緑色はコバルト(Ⅲ)の色ということは文献で確認出来た。私達の推測は過酸化水素水が存在したことで、コバルト(Ⅱ)を酸化し、コバルト(Ⅲ)に変化した。また、酸化状態のコバルトが酒石酸などを酸化して、元のコバルト(Ⅱ)へ変化し緑色が消えたのではと考えたが、反応の仕組みなど正確なところはいくら考えても分からない。今後の課題である。

2. 実験方法

2-(2) 可逆反応に関する実験

実験① 温度による色の変化と平衡(赤⇌青)を観察する。

実験をよりよく観察するために、塩化コバルト溶液と塩酸の調製に取り組む。

実験② ①の液に濃塩酸を加えたときの色の変化を観察する。

実験③ ②の青色の液に精製水を加えたときの色の変化を観察する。

3. 結果と考察

実験①では 0.5 mol/L 塩化コバルト溶液 10mL に濃塩酸 5mL を加えた溶液を 2 本に分け用いた条件がベストであった。実験結果が図 6 である。氷水と熱湯に浸けた。20 秒後には熱湯に浸けた物は青に変化、これを氷水に浸けると 18 秒後には赤色に変化した。この時、先程作った溶液 15 mL を試験管に全て入れると色の変化が間延びし観察に適さない。15 mL を 2 本に分け 7.5mL にすると変化が間延びせず観察に適していた上に、色を比較しながら観察が出来て良かった。

また熱湯に浸けた物は、液の上の方から温まる様子も確認出来る。

この水溶液は、下の化学式のように赤色と青色の錯イオンが共存して、平衡状態にあると考えられる。



次に実験①の溶液に、濃塩酸や精製水を加えたときの色の変化を報告する。

実験② (図 7)

塩化コバルトを水に溶解させたのち、濃塩酸を加えると水分子と塩化物イオンの交換が起こり、テトラクロロコバルト(Ⅱ)酸イオンが生成する。これに濃塩酸を加えていくと、

No.	時間	氷水	熱湯
(a)	スタート		
(b)	5 秒後		
(c)	10 秒後		
(d)	15 秒後		
(e)	20 秒後		
(f)	氷水に浸けて 8 秒後		
(g)	氷水に浸けて 13 秒後		
(h)	氷水に浸けて 18 秒後		

図 6

赤紫から青紫を経て青に変化する。濃塩酸を加え過ぎると赤色が濁り、さらには加えると青色となり熱湯に浸けた状態と同じで観察に適さないことがわかった。

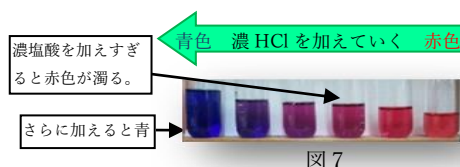


図 7

実験③ (図 8)

この化学反応より、精製水を加えると左辺の H_2O が増え平衡は右へ移動し、赤色へ変化する。精製水を加えすぎると赤色が薄めすぎた状態になり、可逆反応の実験には不適切だった。

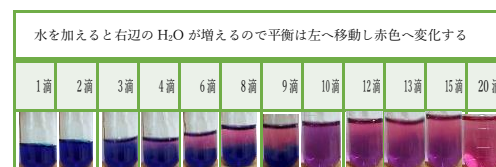
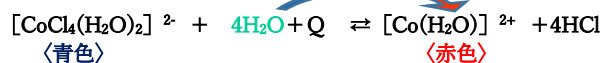


図 8

① 可逆反応を半永久的に観察する方法はないか。

25g で 2,500 円程度と高価な試薬の可逆反応を半永久的に観察する方法はないか考えた。試験管ごと封管した。とても便利である。

試験管を封管した→
いつでも使用でき便利



4. 結論

(2)-1 の実験で濃度の異なる 3 種類の過酸化水素水 (5%, 10%, 15%) で反応にかかる時間を比較するには、溶液の温度を 55℃ から 65℃ の間で設定すること、また塩化コバルトは酒石酸ナトリウムカリウム溶液に実験の直前に混ぜることが、成功のポイントであることが分かった。この実験を終えてから改めて文献を調べた。酒石酸ナトリウムカリウム溶液 + 塩化コバルトを 90℃ にして実験を行っていた。私たちは 55℃ ~ 65℃ でよい結果が得られた。これは加熱器具を使用しなくてもポットのお湯に浸けるだけで、温度の調節が可能で実験が楽に行えた。文献の温度を確認しなかったことで失敗を繰り返したが、お陰で科学の醍醐味を味わうことができた。

また、(2)-2 で取り上げた実験は、塩化コバルト溶液に加える濃塩酸や精製水の量で液色が変わることが分かった。可逆反応の観察には試験管に入れる溶液の量も大切になる。廃液を少なくするために、溶液を試験管ごと封管した物は 8 ヶ月経っても利用可能である。

最後に、1 年生 2 名の部員で初めて手にした器具や試薬ばかりで、不安が大きかったが今回の研究を通して、失敗することの大切さを学んだことが、一番の収穫だったと思う。今後は、どうして塩化コバルトの 2 価から 3 価への反応があのような不思議な色の変化を見せるのか。コバルト以外の試薬でこのような変化を示す物質がないか研究を続けていく。

5. 謝辞

鹿児島県生徒理科研究発表大会において、鹿児島大学有馬一成准教授・濱田季之准教授から研究に対しての助言をいただいた。心から感謝申し上げます。

6. 参考文献

- (1) 千葉県学校教育情報ネットワーク www.chiba-c.ed.jp > shidou > k-kenkyu
平成 18・19 年度-反応速度・化学平衡の指導方法の研究- 2020 年 5 月 29 日
- (2) 三宅泰雄監修 (1992 年) 『化学小事典第 3 版』 三省堂

鉄イオンと銅の酸化還元反応に関する研究

鹿児島県立鶴丸高等学校 化学部

2年 内野太陽

1年 小倉凜千 二反田愛 川野佳高

1. 研究動機

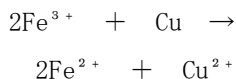
部員は電子やイオンに興味を持ったためそれに関する様々な文献に目を通していったところ、鉄イオンを酸化剤として銅イオンを加工するエッチングという技術を知った。その際に見られる化学反応に疑問を持ったため、本研究に取り組むこととした。

2. 研究目的

鉄のイオンは、2価と3価の2種類がある。 Fe^{3+} の方が Fe^{2+} よりも安定であり、 Fe^{2+} の化合物は酸化されて Fe^{3+} の化合物に変化しやすい。しかし、 Fe^{3+} の化合物を溶かした水溶液に銅板を入れて放置したところ、水溶液から Fe^{2+} が検出された。そこで、本研究では Fe^{3+} よりも不安定である Fe^{2+} が生成された原因を解明することを目的とした。

3. 実験

項目2の研究目的で述べた反応は



である。 Fe と Cu とでは、イオン化傾向が $\text{Fe} > \text{Cu}$ であるが、この場合銅が酸化されたことから、単体の状態とイオンの状態とでは、同じ元素でも電子の失いやすさが異なると考え、まず Fe 、 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} の

電子の失いやすさの傾向を調べることとした。

$(\text{Fe}, \text{Fe}^{2+})$ 、 $(\text{Fe}, \text{Fe}^{3+})$ 、 $(\text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+})$ の組み合わせで電池の仕組みを用い、どちらが電子を失いやすいのか調べた。

① $(\text{Fe}, \text{Fe}^{2+})$

準備・操作

- 1 0.10 mol/l の硫酸鉄(Ⅱ) 水溶液約 100ml を1つの200ml ビーカーに入れた。
- 2 用意した水溶液に電極として白金電極と鉄釘を差し込み、さらに電極とテスターを直列に接続し、電圧・電流を測定した。

② $(\text{Fe}, \text{Fe}^{3+})$

準備・操作

- 1 0.10 mol/l の塩化鉄(Ⅲ)水溶液約 100ml を1つのビーカーに入れた。
- 2 用意した水溶液に白金電極と鉄釘を差し込み、さらに電極とテスターを直列に接続し、電圧・電流を測定した。

③ $(\text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+})$

準備・操作

- 1 塩化カリウム(KCl)を電解質として、水 100ml 当たり 33.3g の濃度の水溶液を作り、寒天を入れてU字管内で水溶液を固め、塩橋を作成した。
- 2 0.10 mol/l の硫酸鉄(Ⅱ)水溶液と塩化鉄(Ⅲ)水溶液をそれぞれ約 100ml ずつ 200ml ビーカーに入れ、2つの水溶液を塩橋で接続した。(水溶液を電氣的に接続するため。)
- 3 2つの水溶液に白金電極を1本ずつ差し込み、さらに電極とテスターを直列に接続し、電圧・電流を測定した。

4. 結果

		正極	電圧	電流
実験①	Pt Fe ²⁺ Fe	Pt	0.960	0.28
実験②	Pt Fe ³⁺ Fe	Pt	1.00*	5.82*
実験③	Pt Fe ²⁺ Fe ³⁺ Pt	Fe ³⁺	0.358	0.10

単位：電圧(V)，電流(mA)

実験②において、Fe 極(負極)で気体が発生した。Pt 極(正極)でもわずかながら気体の発生が確認できた。

*電圧、電流の値は不安定であったため、この値は一時的なものであるが、電圧は常時 1.00V 台であった。

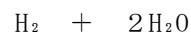
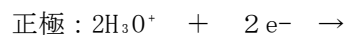
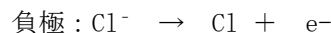
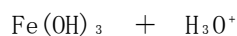
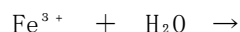
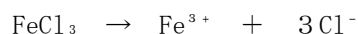
5. 考察

①(Fe, Fe²⁺)

- 1 電流の向きから、電子を受け取ったのは Fe²⁺、電子を失いやすいのは Fe であると考えられた。

②(Fe, Fe³⁺)

- 1 電流の向きから、電子を受け取ったのは Fe³⁺、電子を失いやすいのは Fe であることが考えられた。
- 2 Fe 極(負極)で発生した気体については、塩素であると考えた。
また、Pt 極(正極)で発生した気体については、塩化鉄(Ⅲ)の加水分解により生じたオキシニウムイオンが電子を受け取ることによって発生した水素であると考えた。
- 3 測定後の水溶液にヘキサシアニド鉄(Ⅲ)酸カリウム水溶液を指示薬として滴下したところ、ターンブルブルーが観察され、Fe²⁺の生成が確認された。



③(Fe²⁺, Fe³⁺)

- 1 電流の向きから、電子を受け取ったのは、Fe³⁺、電子を失いやすいのは Fe²⁺であることが考えられた。

6. 今後の展望

- ・Cu と Fe²⁺では、電子を失いやすいのがどちらかを調べる。
- ・上記の反応が銅以外の金属と Fe³⁺でも起こるか調べ Fe³⁺が Fe²⁺となるのが銅の影響かどうかを調べる。
- ・上記の反応が Cu と Fe³⁺の他の化合物でも起こるか調べ、Fe³⁺が Fe²⁺となるのが陰イオンの影響かどうかを調べる。

7. 参考文献

- ・化学 I・II の新研究 ト部吉庸
- ・新化学小事典 三省堂

さびの研究

池田学園 池田高等学校 SSH 課題研究化学班①

1. 研究の目的

自転車を外に放置すると、さびが付着する。自転車をさびさせない方法について興味をもった。しかし、さびについて知らないことが多いので、どのような条件でさびるのか。また、さびの性質は金属のそれと見た目以外に異なる点はあるのか。これらのことを調べることにした。

2. 実験方法

金属は、アルミニウム箔、鉄板、銅板、ステンレスウールの4種類を用いた。溶液は、水道水、雨水、海水、2.4%食塩水、2.4%砂糖水を用いた。用いた金属は、すべて質量を測定した。

各金属を容器に入れ、それぞれ溶液を注ぎ、蓋をした。2か月放置し、金属の変化を観察した。また、金属だけを容器に入れ蓋をして同じ期間放置した。

2か月後、金属を溶液から取り出し、乾燥させ質量を測定し、変化を調べた。

溶液から取り出した金属に、3.0Vの電圧を加え、電流を測定した。また、溶液から取り出した鉄片と銅片をガスバーナーで直接加熱し変化を調べた。

3. 実験結果

① 観察の結果

金属の変化を表1にまとめた。

表1 金属の変化

	アルミニウム箔	鉄片	銅片	ステンレスウール
水道水	○	○	×	×
雨水	○	○	×	×
海水	○	○	○	×
2.4%食塩水	○	○	○	×
2.4%砂糖水	○	○	○	×
溶液に浸さない	×	×	×	×

(○：変化あり ×：変化なし)

金属の変化の様子は、下のとおりである。

アルミニウム箔は、金属光沢が消えた。

鉄片は、すべて赤褐色の沈殿が生じた。

銅片は、海水と食塩水で青色の沈殿が生じた。ほかの溶液は、金属光沢が消えた。

② 質量の変化

質量の変化を表2にまとめた。

表2 質量の変化

	アルミニウム箔	鉄片	銅片	ステンレスウール
水道水	0	0	0	0
雨水	0	0	0	0
海水	0.15	0.14	0.13	0.13
2.4%食塩水	0.11	0.10	0.10	0.10
2.4%砂糖水	0	0	0	0
溶液に浸さない	0	0	0	0

(単位：g)

すべての金属で、海水と2.4%食塩水は質量が増加した。

③ 電気伝導性

アルミニウム箔、鉄片と銅片は、金属光沢がある部分は電流が流れたが、金属光沢がない部分は電流が流れなかった。

スチールウールは、電流が流れた。

④ 加熱後の変化

鉄片は、赤褐色の部分は色の変化はなかったが、赤褐色の部分が剥がれ落ちた。剥がれ落ちた後の鉄片は加熱により黒色になった。

青色の沈殿が生じた銅片は、青緑色の炎色反応を示したが、金属光沢が消えた赤色の銅片は炎色反応を示さなかった。また、加熱した銅片は、すべて黒色になった。

化学

Al^{3+} と OH^- の反応について

鹿児島県立指宿高等学校物理化学部

3年 本野良汰 大迫岳文

2年 高峯祥子

1年 迫田貴之祐 有村絆 中村隼 坂田桜甫
久保俊介 上堀内理斗

1 動機

指宿高校物理化学部の活動は主に3つある。

- (1) 火山ガス分析
- (2) 部員の興味関心に基づいた科学実験
- (3) 授業でする実験の準備の手伝い

今回の研究は、(3)から始まった。 Al^{3+} aq に、 NH_3 aq を加えると、量の多少にかかわらず、 $\text{Al}(\text{OH})_3$ の沈殿ができるとある。しかし、簡単な確認に 0.050 mol/L の Al^{3+} aq に NH_3 の原液 (28%) を加えても、沈殿ができてないように見えたことがきっかけとなった。

2 実験の目的

$\text{Al}(\text{OH})_3$ の沈殿の生成は、 NH_3 aq と NaOH aq の比較をしている。授業でも題材になるので NH_3 aq と NaOH aq の両方を調べることにした。

使用した試薬は、以下の通りである。

- ・ $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$: 林純薬工業(株) 一級
- ・ NH_3 aq 28% : 純薬工業(株) 一級
- ・ NaOH : 和光純薬工業(株) 一級

本研究では、 Al^{3+} aq 5種の濃度 1 mL に対し、 NH_3 aq 8種、 NaOH aq 7種を用意し、0.5 mL ~ 4 mL を加える実験を行った。測定は、授業でする実験が前提なので目視により 0~5段階で評価した。

想定したことは、溶液の濃度が高いと沈殿ができやすいことだ。だが、 NaOH aq では、0.5 mL 加えただけでも沈殿ができる条件を超えることや、逆に 4 mL 加えても沈殿が溶けないで終わってはならない。そこで目的を3つ立てた。

目的1 Al^{3+} aq 0.050 mol/L と NH_3 原液の反応
沈殿ができないのか、できていないように見えるだけなのか確認する。

目的2 NH_3 aq との反応の条件の決定

沈殿の生成後 NH_3 aq を加え続けても沈殿に変化がないと判断しやすいこと。

目的3 NaOH aq との反応の条件の決定

1 mL 程度で沈殿し、4 mL までに沈殿が溶けることを確認できる条件を明らかにする。

3 測定結果

NH_3 aq・ NaOH aq が 15 mol/L ~ 2 mol/L までは、 Al^{3+} aq が濃いと多くの沈殿ができ、薄いと少なくなるのは想定通りだった。

異なったのは、 NH_3 aq・ NaOH aq を 1 mol/L よりも低濃度で加えた場合だった。低濃度の場合、 Al^{3+} aq の濃度が大きいと沈殿ができにくい。(表 1)

4 考察

目的1については、0.050 mol/L の Al^{3+} aq 1 mL の場合でも 0.5 mL の NH_3 aq 原液とは少量しか生成しないが沈殿の確認ができた。

ただし、1 mL ~ 4 mL では沈殿が確認しにくく、人によっては無いと判断してしまうこともあり得る。低濃度の Al^{3+} aq の場合、沈殿が少なく、液量が増加すると分散され見にくくなるのが原因と考えられる。

沈殿の確認には、チンダル現象を利用した。 Al^{3+} aq 0.050 mol/L に 4 mL の NH_3 aq を加えたとものだ。肉眼では沈殿があるとはいい難かったが、チンダル現象が確認されることから生成したと考えている。また、一晩放置すると、沈殿が底に沈み、生成していることが確認できた。(図 1)

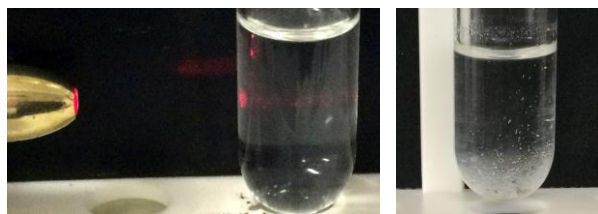


図1 チンダル現象と一晩放置後の様子

目的2及び3については、 Al^{3+} aq を 1 mL にし、 NH_3 aq・ NaOH aq の加える量を 0.5 mL ~ 4 mL の範囲とするならば、次の条件が適すると考える。

Al^{3+} 0.50 mol/L , NH_3 aq・ NaOH aq 2 mol/L
--

表 1 目視による沈殿の状況 5 多い～0 なしで示す

		NH ₃															
		15mol/L (28%原液)				6.0mol/L				2.0mol/L				1.0mol/L			
		0.5mL	1mL	2mL	4mL	0.5mL	1mL	2mL	4mL	0.5mL	1mL	2mL	4mL	0.5mL	1mL	2mL	4mL
Al(NO ₃) ₃ 全て 1mL	1.0mol/L	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	0	0	0	2
	0.50mol/L	5	4	4	4	5	4	4	4	5	5	5	4	1	2	2	3
	0.20mol/L	3	3	3	2	3	3	3	2	3	3	2	2	2	2	2	2
	0.10mol/L	2	1	1	1	2	1	1	0	1	1	0	0	1	2	1	1
	0.050mol/L	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0
		0.50mol/L				0.20mol/L				0.10mol/L				0.050mol/L			
		0.5mL	1mL	2mL	4mL	0.5mL	1mL	2mL	4mL	0.5mL	1mL	2mL	4mL	0.5mL	1mL	2mL	4mL
Al(NO ₃) ₃ 全て 1mL	1.0mol/L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.50mol/L	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.20mol/L	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	1	1	0	0	0	0
	0.10mol/L	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0
	0.050mol/L	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	1

		NaOH															
		15mol/L				6.0mol/L				2.0mol/L				1.0mol/L			
		0.5mL	1mL	2mL	4mL	0.5mL	1mL	2mL	4mL	0.5mL	1mL	2mL	4mL	0.5mL	1mL	2mL	4mL
Al(NO ₃) ₃ 全て 1mL	1.0mol/L					5	0	0	0	5	5	5	0	4	4	5	0
	0.50mol/L					0	0	0	0	5	5	0	0	5	5	0	0
	0.20mol/L					0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0
	0.10mol/L					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.050mol/L					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0.50mol/L				0.20mol/L				0.10mol/L				0.050mol/L			
		0.5mL	1mL	2mL	4mL	0.5mL	1mL	2mL	4mL	0.5mL	1mL	2mL	4mL	0.5mL	1mL	2mL	4mL
Al(NO ₃) ₃ 全て 1mL	1.0mol/L	1	1	1	3	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.50mol/L	2	2	3	3	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.20mol/L	2	3	0	0	1	1	3	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	0.10mol/L	3	1	0	0	1	2	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
	0.050mol/L	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0

5 新しい疑問

当初の目的は達したが、沈殿の様子から新たな疑問が生じた。

NH₃ aq・NaOH aq の濃度が小さいと、Al³⁺ aq の濃度も小さいほうが実験に適していることだ。

NH₃ aq・NaOH aq が 0.20 mol/L と 0.10 mol/L の場合、Al³⁺ aq の濃度が高いと沈殿ができないか、できても少量になる。

低濃度の場合、同程度の濃度同士の方が実験に適している事実は当初の想定になかった。

6 再考察

この現象の理解に必要なことは、水溶液の状態を正確にとらえる広い視野だった。

Al³⁺と OH⁻の反応であるため、どうしてもその 2 つのイオンに意識が向きがちになり Al³⁺ aq の液性を考慮できていなかった。Al³⁺ aq は、Al(NO₃)₃ を水に溶かして作った水溶液だ。この水溶液は弱塩基と強酸による塩であり、水に溶かすと水溶液は酸性を示す。

0.20 mol/L の NaOH aq が 1.0 mol/L の Al(NO₃)₃ の酸性を打ち消すには 2 mL 程度の液量が必要と考えられる。この傾向は 1.0 mol/L 以下の NaOH aq で観察される。

7 pH 測定

再考察したことが沈殿形成の条件であるか確かめるため、センサーを利用した pH の測定を行った。

結果は、再考察の現象が生じていると考えられるものだった。(表 2)

0.050mol/L の Al³⁺ aq に NH₃ の原液を加えても、沈殿ができてないように見えたが、0.5 mL を加えた段階でも pH は 11.5 を示しており、沈殿ができる条件に達していたと確認できた。Al³⁺ イオンの濃度が低いため、遅い反応だったと考えられる。

9 Al(NO₃)₃ aq の酸性度に関する実験

1.0 mol/L Al(NO₃)₃ aq の pH が 1.0 だったことから、金属と酸の反応に関する実験についても Mg を用いて行った。

比較のために、pH を 1.0 に調整した HCl aq でも行った。

水素発生をさせるときの実験よりも、反応速度が遅かったが、どちらからも水素の泡の発生が確認できた。また、反応速度も同程度だった。

表 2 pH

		pH<4				4≤pH<7				7≤pH<12				12≤pH			
		NH ₃															
Al(NO ₃) ₃ 全て 1mL		15mol/L pH 14.0				6.0mol/L pH 12.6				2.0mol/L pH 12.0				1.0mol/L pH11.8			
		0.5mL	1mL	2mL	4mL	0.5mL	1mL	2mL	4mL	0.5mL	1mL	2mL	4mL	0.5mL	1mL	2mL	4mL
	1.0mol/L pH1.0	9.9	10.4	11.0	11.5	4.3	8.8	9.6	10.1	2.5	3.1	8.4	9.4	2.4	3.0	3.8	9.6
	0.50mol/L pH1.8	10.5	10.9	11.4	11.9	7.6	9.6	10.1	10.5	3.5	5.8	8.9	9.7	3.0	3.5	8.8	10.0
	0.20mol/L pH2.4	10.9	11.4	11.9	12.3	9.8	10.1	10.6	10.9	4.7	9.3	9.9	10.3	4.8	8.6	10.0	10.4
	0.10mol/L pH2.7	11.1	11.5	12.0	12.4	10.3	10.6	11.0	11.3	9.6	10.1	10.4	10.7	9.1	9.6	10.2	10.6
	0.050mol/L pH3.0	11.5	11.9	12.3	12.7	10.5	10.8	11.2	11.5	10.1	10.4	10.7	10.9	9.7	10.3	10.6	10.9
Al(NO ₃) ₃ 全て 1mL		0.50mol/L pH 11.3				0.20mol/L pH 11.3				0.10mol/L pH 11.2				0.050mol/L pH 10.5			
		0.5mL	1mL	2mL	4mL	0.5mL	1mL	2mL	4mL	0.5mL	1mL	2mL	4mL	0.5mL	1mL	2mL	4mL
	1.0mol/L pH1.0	2.2	2.6	3.1	3.6	2.2	2.6	3.0	3.4	1.8	2.2	2.6	3.1	1.7	2.2	2.6	3.0
	0.50mol/L pH1.8	2.8	3.2	3.5	4.1	2.8	3.2	3.5	3.8	2.4	2.7	3.1	3.5	2.4	2.7	3.0	3.4
	0.20mol/L pH2.4	3.5	3.8	9.0	9.8	3.5	3.7	4.1	9.0	3.1	3.4	3.7	4.0	3.1	3.3	3.5	3.8
	0.10mol/L pH2.7	3.9	8.8	9.8	10.3	3.8	4.1	8.4	9.6	3.5	3.8	4.1	8.8	3.5	3.7	3.9	4.2
	0.050mol/L pH3.0	8.9	9.8	10.2	10.5	4.3	9.3	9.9	10.2	3.9	4.2	8.9	9.8	3.8	4.0	4.3	8.9
		NaOH															
Al(NO ₃) ₃ 全て 1mL		15mol/L				6.0mol/L pH 13.7				2.0mol/L pH 13.7				1.0mol/L pH 13.4			
		0.5mL	1mL	2mL	4mL	0.5mL	1mL	2mL	4mL	0.5mL	1mL	2mL	4mL	0.5mL	1mL	2mL	4mL
	1.0mol/L pH1.0					6.7	13.3	13.3	13.2	3.1	3.6	11.5	13.3	2.5	3.2	5.1	13.2
	0.50mol/L pH1.8					13.2	13.4	13.3	13.3	3.7	11.1	13.2	13.3	3.3	4.3	13.1	13.4
	0.20mol/L pH2.4					13.4	13.4	13.3	13.3	12.7	13.2	13.3	13.3	11.7	13.2	13.5	13.5
	0.10mol/L pH2.7					13.5	13.4	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.4	13.3	13.4	13.5	13.5
	0.050mol/L pH3.0					13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.4	13.4	13.4	13.4	13.5	13.5	13.5
Al(NO ₃) ₃ 全て 1mL		0.50mol/L pH 13.3				0.20mol/L pH 13.2				0.10mol/L pH 13.0				0.050mol/L pH 12.7			
		0.5mL	1mL	2mL	4mL	0.5mL	1mL	2mL	4mL	0.5mL	1mL	2mL	4mL	0.5mL	1mL	2mL	4mL
	1.0mol/L pH1.0	2.4	2.7	3.2	3.7	2.1	2.5	2.9	3.3	1.7	2.1	2.6	3.0	1.7	2.0	2.4	2.9
	0.50mol/L pH1.8	2.9	3.2	3.6	11.0	2.8	3.1	3.5	3.8	2.5	2.8	3.1	3.5	2.3	2.6	3.0	3.4
	0.20mol/L pH2.4	3.7	4.0	12.5	13.2	3.4	3.7	4.1	10.9	3.2	3.5	3.8	4.2	3.1	3.3	3.6	3.9
	0.10mol/L pH2.7	4.7	13.0	13.2	13.3	3.9	4.1	10.2	12.9	3.5	3.7	4.0	7.3	3.4	3.6	3.8	4.1
	0.050mol/L pH3.0	10.9	13.1	13.3	13.4	4.3	11.7	13.0	13.1	3.9	4.2	10.5	12.9	3.8	4.0	4.3	10.4

8 まとめ

0.050 mol/L の Al³⁺ aq に NH₃ の原液を加え、沈殿ができていないように見えたときには、新発見かとの考えが浮かんできた。しかし、少し冷静になると、私達の考えが及んでいないことがあると思ひ、それが何かを考えるように切り替えた。それに関する結果は前述の通りだ。

また、化学反応を考える際には、様々な条件を整理する必要のあることが実感できた。多くの教科書や問題集では何気なく Al³⁺ aq と書かれ、それだけに注意していれば解けるようになっていく。しかし、実際に実験をするにあたっては、NO₃⁻ も考慮しなければならなかった。

本研究においての発見は、私達にとって、化学を学習する際の心構え、特に物質を正確に理解しながら丁寧に現象をとらえることだった。

この学びを今後の活動にも生かしていきたい。

9 今後の展望

今後、次の 2 つの取り組みを検討している。

- (1) 各種金属イオン Ca²⁺, Zn²⁺, Fe³⁺, Ag⁺, Cu²⁺, Pb²⁺ などの実験の条件。

- (2) 塩基性を示す Al(CH₃COO)₃ aq を用いた際の沈殿の形成。

10 参考文献

改訂新編 化学 東京書籍 2020 年
六訂版 スクエア最新図説化学 第一学習社
2018 年