

< 実験について >

有機溶媒を使わない！10分でできる！

緑茶茶葉からカフェインの針状結晶を取り出す

昇華に関する実験例として、カフェインの昇華性を利用して、茶葉から簡単にカフェインの結晶を得る方法について報告する。

カフェインは生徒が名前をよく知っている物質の一つであり、緑茶やコーヒーなどに含まれるため、身近な物質でもある。しかし、ほとんどの生徒はカフェインの結晶を見たことがないと思われる。

カフェインを実験室で取り出すためには、クロロホルムやジクロロメタン等、授業で扱うには注意を要する有機溶媒を用いる方法が一般的である。または茶葉に漏斗をかぶせて加熱する方法も報告されているが、成功率が低く、結晶を観察することはなかなか難しい。



図1 茶の茎に析出したカフェインの針状結晶

以上のような理由からカフェインの抽出実験は、高校ではほとんど行われていない。

今回、高校での生徒実験の実施に向けて、手軽に短時間でできるカフェインの結晶を取り出す方法を開発したので紹介する。

教材開発のポイント

- ・加熱するだけでカフェインを結晶として取り出せるようにした。(有機溶媒を使用しない)
- ・短時間で結晶化させる工夫をした。(茶葉を粉末にすることで時間の短縮を図った)

1 この実験でカフェインを取り出せる原理

カフェインは昇華性のある物質で、昇華点は178℃である。このため、茶葉を加熱するとカフェインは昇華し、気体となって出てくる。この気体を冷やす(冷える)と、カフェインの針状結晶が析出する。

茶葉を穏やかに加熱すると、数分で茶葉が焦げ、茶色に変色し始める。その後程なく、カフェインの結晶が観察できるようになる。穏やかに加熱することで、茶葉粉末から昇華したカフェインは、粉末の上に置いた茶の茎に析出する。実験の加熱時間は、茶葉の量等の条件にもよるがおおよそ5～10分程度である。結晶の成長する様子は肉眼でも観察できる。

加熱器具はアルコールランプを用いるのがよい。ガスバーナーを用いると、火力が強く、温度が上がりすぎるためにカフェインを結晶化させることが難しくなる。

また、茶葉を乳鉢で粉末にせず、そのまま加熱してもカフェインの結晶を取り出すことができるが、加熱には時間がかかり、結晶の量も少なくなる。

結晶がカフェインであるかどうかの同定は、ムレキシド反応で確認する。

結晶は基本的に純物質であり、析出した針状結晶は純粋なカフェインの結晶であると考えられる。

2 カフェインを取り出す他の方法

- 漏斗をかぶせて加熱する方法

資料集等でよく写真が掲載されている方法。茶葉から水蒸気が出て、漏斗の壁で水滴となってしまう。これを防ぐためには、デシケーター（濃硫酸を使う）を使用し、実験前に十分に茶葉を乾燥させておく必要がある。また、収量も十分ではなく、火力の調節も難しい。

- 有機溶媒(クロロホルム)による抽出

茶葉を熱湯で煮出した後、分液漏斗を用いてクロロホルムで抽出する。その後、ロータリーエバポレーターを用いてカフェインを取り出す。この時のカフェインは結晶化していないので、結晶化させるためには、さらにもう一度加熱して、再結晶させる必要がある。クロロホルムの沸点は61℃と低いので、煮出した茶の溶液を十分冷やさなければならない。

この方法は、有機溶媒を使用することに加え、ロータリーエバポレーターの操作に注意が必要なため、生徒実験を行うことは難しいと考えられる。ただし、収量は多いので、カフェインの同定や確認実験のためにはよい方法である。

- 茶香炉を使う方法

時間はかかるが、結晶が見られる。ただし、茶香炉の大きさ等にも影響されると考えられるので、事前に予備実験を行うことが不可欠である。茶香炉は100円ショップ等にあるオイル使用のアロマポット等でも代用できる。

3 緑茶茶葉以外の試料について

- インスタントコーヒー

水に溶かした後、クロロホルムで抽出すると、コーヒーの色素も一緒にクロロホルム層へ移動してしまう。結果として、茶色の抽出物となる。これを再結晶させればカフェインの白色針状結晶が得られるが、手間がかかる。

蒸発皿に入れて加熱する方法では、コーヒーからカフェインを抽出することができなかった。

- 抹茶

最初から粉末なので、乳鉢で粉末にする手間がない。さらにカフェインの含有量が多いので、収量はよい。ただし、値段が高い。本実験では、安い煎茶の茶葉で十分である。

- ほうじ茶

もともとカフェインが入っていない。比較のために実験することも考えられる。

4 火力にガスバーナーを使用する場合

実験方法はアルコールランプを使用する方法と同じ。ただし、ガスバーナーを使用する場合、火力が強すぎ、調節が難しくなる。具体的工夫として、熱の伝わりが小さくなるよう蒸発皿を二重にしたり、試料を遠ざけたり等の工夫が必要となる。また、ガスバーナーは、適正範囲内の炎の大きさに使用する必要がある。

5 結晶を析出させる台(核)について

この実験では、緑茶の茎や葉を台(核)にして結晶を成長させている。これを木綿糸、割り箸等で試したが、木綿糸は、やわらかいためどうしても試料と接してしまうので不適である。試料との間に適度な隙間があることが必要なのである。

割り箸は、試料との隙間が適当であれば、結晶の台として使用できるが、このとき、隙間が空きすぎるとカフェインが空气中に逃げてしまって結晶ができにくくなるようである。また、割り箸は茶の茎や葉に比べて大きいので表面積が小さく、色も白いためカフェインの結晶が見にくいことから、実験材料として適していない。

6 昇華について

固体が液体にならずに直接気体になる現象、また気体が液体にならずに直接固体になる現象を昇華という。図2は、温度、圧力による物質の状態図である。図3に示すAが1気圧となるような物質は昇華する物質であり、Bが1気圧となるような物質は昇華しない物質である。

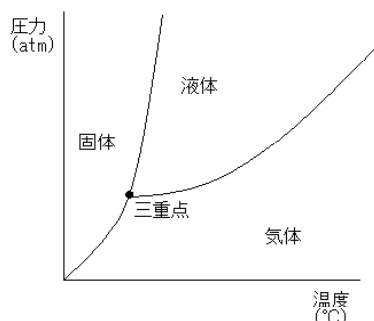


図2 温度、圧力による物質の状態図

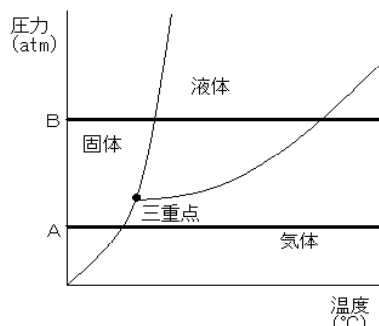


図3 昇華する物質と昇華しない物質の状態変化について

7 主な飲料中のカフェインの含有量 (五訂増補 日本食品標準成分表(本表) 文部科学省)

種類	浸出法と含有量
緑茶(浸出液)	茶10g / 90、430mL、1分、 カフェイン0.02g
紅茶(浸出液)	茶5g / 熱湯360mL、1.5～4分、カフェイン0.03g
コーヒー(浸出液)	コーヒー粉末10g / 熱湯150mL、 カフェイン0.06g

8 カフェインの化学的性質

『岩波第4版 理化学辞典』

テインともいい、1,3,7-トリメチルキサンチンにあたる。冷水、アルコールにわずかに溶け、苦みがある。興奮剤、利尿剤、強心剤として医薬とする。チャの葉を熱湯で浸出し、塩基性酢酸鉛を加えてタンパク質、タンニンなどを沈殿させ、過剰の鉛を硫酸で除去し、そのろ液をクロロホルムで抽出、蒸発、結晶させて得る。

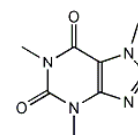


図4 カフェインの構造式

『化学大辞典』

Caffeine = theine. 1,3,7-トリメチルキサンチン

1820年にRungeがコーヒー豆から初めて取り出し、その後、茶葉、グアラナ、マテ茶などからも発見された。茶葉中に1～5%、コーヒー豆に0.8～1.75%、マテ茶に0.15～1.85%含まれる。中枢神経興奮剤であり、その主な作用は脳皮質で感覚受容能および精神機能の亢進をきたし、眠気を除去する。また、心臓に直接作用して、心筋の収縮力を増強させ、冠動脈を拡張するため、強心剤としても用いられ、また利尿作用もある。融点235～238の無色の結晶で臭いはなく、味はやや苦い。クロロホルムに溶けやすく、水やエタノールにやや溶けにくく、エーテルにきわめて溶けにくい。水溶液のpHは5.5～6.5である。

9 カフェインの同定方法

ムレキシド反応を利用する。

カフェインの結晶を時計皿に取り、過酸化水素水 5 滴と塩酸 2 滴を加え、弱火で水分を蒸発させる。水分が蒸発すると、無色の液体が黄赤色になる。

時計皿を放冷した後、アンモニア水を 2 滴加えると、紫紅色になる。

ムレキシド反応による色の変化は、カフェインが過酸化水素水と塩酸でアマリン酸（別名：テトラメチルアロキサンチン）（黄赤色）になり、さらにアンモニア水を加えることでムレキシイン（別名：プルプリン酸アンモニウムまたはプルプル酸アンモニウム）（紫紅色）になるためである。

10 カフェインと日常生活

カフェインは眠気覚ましとしてよく知られている。これは、カフェインの興奮作用によるものであり、車の運転や勉強などの際、コーヒーを飲むとよいとされるのはこのためである。炭酸飲料の中にもカフェインを含むものがあるが、カフェインは冷水にはあまり溶けず、お湯によく溶けるため、ホットコーヒーなどの方が含有量が高い。また、緑茶や紅茶なども、カフェインを含む飲料である。小さな子どもや病人には、緑茶ではなくほうじ茶を飲ませたほうがよいと言われるのも、カフェインの含有量の違いによるものである。

最近では、カフェインを取り除いたデカフェと呼ばれるコーヒーや紅茶などもよく見られるようになってきている。

11 話題

○ アルカロイドについて

カフェインは植物アルカロイドの一種であり、プリン環をもつプリンアルカロイドの一種である。

アルカロイドとは、植物（時に動物）に由来する塩基性（アルカリ性）を示す窒素含有化合物のことで、非常に多くの種類がある。強い生理作用をもつものが多く、古くから医薬、毒薬として用いられてきた。アルカロイドには、ニコチン（タバコの成分）、エフェドリン（咳止め薬）、メスカリン（精神薬理薬、メキシコ北部のある部族が宗教上の儀式に用いていたサボテンに含まれる）、アヘン（麻薬）などがある。

ほとんどのアルカロイドは塩基性（アルカリ性）であり、非常に分解しにくい（特に熱や光で分解しない）。

主に植物によってアミノ酸より生合成され、植物中には有機酸の塩として存在する。ほとんどのアルカロイドの塩は水に可溶である。

アルカロイドの遊離塩基は有機溶媒によく溶ける。

○ カフェインレスコーヒーの製法

かつては有機溶媒が使用されていたが、現在は二酸化炭素の超臨界流体を用いて、コーヒー豆からカフェインを取り除く方法がとられている。超臨界流体とは、温度と圧力が臨界点を超え、物質が気体か液体かの区別ができない状態である。物質が超臨界流体になっているとき、分子が非常に大きな運動エネルギーをもつため、その隙間に溶質を溶かし込むことができる。

二酸化炭素の臨界流体は、常温常圧では気体の二酸化炭素になり、食品中に残らないため、コーヒーからカフェインを取り除く際に用いられている。

実験 緑茶茶葉からカフェインを取り出す

【準備】 □ 緑茶（約2g） □ 薬さじ、□ 薬包紙、□ 乳鉢、乳棒、□ ピンセット、□ 蒸発皿、
□ アルコールランプ、□ セラミック付き金網、□ マッチ、□ 燃えさし入れ □ ルーペ
3 % 過酸化水素水 2 mol / L 塩酸 2 mol / L アンモニア水

【実験方法】

茶葉を約 2 g（薬さじで軽く 2 杯程度）を取り、乳鉢ですりつぶして粉末にする。その時、茎の部分を数本取り分けておく。

茶葉はすりつぶさずにそのままでもよいが、加熱時間がかかる。またその場合は茎を上に乗せる必要はない。

茶葉の量が多すぎると、加熱に時間がかかる。

蒸発皿に移し、茶の粉末の上に茶の茎を数本乗せる。

茎の部分に結晶が析出する。茎がなければ葉の部分でもよい。

茎と粉末の間に隙間ができるように置くとよい。



アルコールランプで加熱する。

加熱開始後 3 ～ 5 分で、茶葉が焦げ始めて茶色に変色し始める。このとき、カフェインの昇華が盛んになる。昇華して気体になったカフェインはすぐに空気によって冷やされ、茎を台にして結晶化する。

結晶が成長する様子は肉眼でも観察できる。

ガスバーナーだと火力が強く温度が上がりすぎるために、茎のまわりに結晶が析出しにくい。



結晶を観察する。

結晶をルーペ等で観察する。茎を台にして、放射状に結晶が成長していることが観察できる。

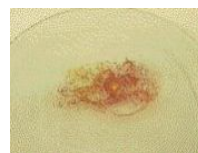
カフェインであるかどうかの同定には、ムレキシド反応を利用する。しかし、この実験で採取できるカフェインの量では少なすぎて反応が確認できないことがある。そのため、同定は演示実験等で見せる方が



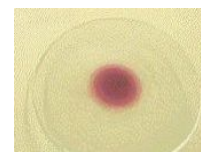
确实である。

結晶がカフェインであることを確かめる。(ムレキシド反応)

- ・得られた結晶に過酸化水素水 5 滴と塩酸 2 滴を加え、加熱して水分を蒸発させ、アンモニア水を加える。得られた結晶がカフェインであれば、水分が蒸発したときに橙色（赤黄色）になり、アンモニア水を加えたときに紫色（紫紅色）になる。



橙色



→ 紫色

< 生徒用実験プリント >

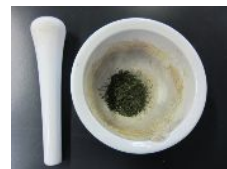
物質の分離：茶葉を加熱してみよう。何が起こるだろうか。

年	組	番	氏名
---	---	---	----

【準備】□

【手順】

茶葉を約 2 g（薬さじで軽く 2 杯程度）を取り、乳鉢ですって粉末にする。
その時、茎の部分を数本取り分けておく。



蒸発皿に移し、茶の粉末の上に茶の茎を数本乗せる。



アルコールランプで加熱する。

茶葉が焦げて変色しだしたら、特に注意して茎の周りを観察しよう。



【結果】

--

【考察】なぜこのような現象が見られたのだろうか。

--

【感想・反省】

--

理科 『化学基礎』学習指導案

〔実験のねらい〕

昇華の実験において、身近な材料を扱うことで日常生活と学習内容の関連付けを図る。

どのような反応が起こるか生徒に伝えずに実験を行うことで、実験に意欲的に取り組ませ、結果を主体的に考察させる。

昇華についての現象を理解し、身の回りで昇華の原理が応用されていることについて知識を身に付けさせる。

1 主題

カフェインの昇華（実験）

2 目標

茶葉からカフェインが抽出できることを実験を通して確認し、カフェインの昇華性に気付く。

3 本時の評価規準

関心・意欲・態度	茶葉を加熱するとどのような反応が起こるかに関心をもち、実験中の反応を意欲的に観察し、進んで実験に取り組んでいる。
技能・表現	昇華に関する基本的な実験操作を習得するとともに、実験の過程や観察結果を的確に表現する。

4 展開

	学習内容	時間	主な学習活動	支援及び指導上の留意点	評価規準の具体的状況	評価方法等
導入	本時の実験内容の把握	5分	・ 本時の実験内容を把握する。 茶葉を加熱すると、どんな反応が起こるか観察する。またその反応がどのようにして起こったか考える。	・ カフェインが析出することを生徒に伝えないようにする。		
展開	カフェインの抽出	30分	・ 試料（緑茶茶葉）を準備する。大きな茎や葉を数本取り分け、残りを乳鉢ですりつぶす。 ・ 実験装置を組み立てる。 ・ 試料を加熱し、針状結晶が析出する様子を観察する。	・ アルコールランプの正しい方を確認し、安全に実験が行えるよう指導する。 ・ どのような反応が起こるか生徒に考えさせながら観察させる。 ・ 加熱し始めてから茶葉が焦げ出すまで（10分程度）は、目立った変化はない。茶葉が焦げ始めたら茶葉の変化に注意して観察するよう	安全に注意しながら、適切に実験操作を行っている。 【観察・実験の技能・表現】 実験中の反応を意欲的に観察し、進んで実験に取り組んでいる。 【関心・意欲・態度】	行動観察 行動観察

				に話す。		
ま と め	考察 確 認 実 験 (演示実験)	15 分	・ 実験結果を考察する。 ・ 演示実験を見て、析出した結晶がカフェインであることを確認する。	・ 析出した針状結晶は何か、考えさせる。 ・ 結晶は純物質なので、実験によって得られた針状結晶は純物質と考えて良いことを説明する。 ・ 針状結晶がカフェインであるかどうかを、演示実験（ムレキシド反応）で確認する。 ・ 教室後方の生徒にも見えるよう、実物投影機を活用する。	実験の過程や観察結果を的確に表現している。 【観察・実験の技能・表現】	実験レポート
	昇華について		・ カフェインがどのようにして析出したかを考え、カフェインの昇華性に気付く。	・ 昇華について復習する。 ・ カフェインの昇華点は178 と高いため、昇華した後、すぐに空气中で冷え、結晶として析出したことを説明する。		
	日常生活との関連付け		・ ほうじ茶にはカフェインが含まれていないことから、カフェインの性質と利用について考える。 ・ デカフェ（カフェインレスコーヒー）の製法を聞く。 ・ 身の回りで昇華性のあるものを考える。	・ 病人や幼児には、緑茶ではなくほうじ茶を飲ませた方がよいと言われる理由をカフェインの性質とあわせて説明する。		

< 実験について >

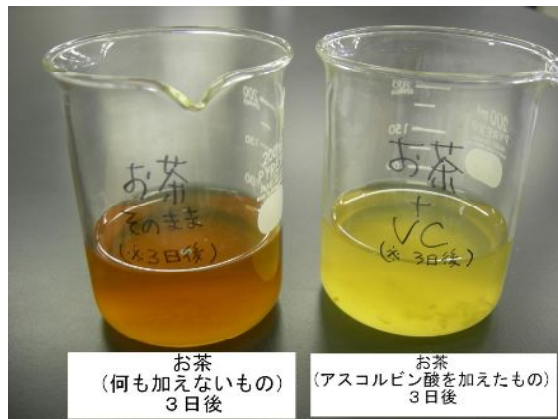
ペットボトルのお茶にビタミンCが入っているのはなぜ？

酸化防止剤としてのアスコルビン酸（ビタミンC）のはたらき

通常、茶葉から入れた緑茶を放置しておくと、酸化が進み、お茶の色が茶色っぽく濁ってくる。これを防ぐために、PETボトル入りのお茶には、酸化防止剤が添加されている。では、酸化防止剤として何が使われているのだろうか。

成分表を見ると、ビタミンCが添加されていることが分かる。ビタミンC（アスコルビン酸）は、酸化防止剤としてお茶に添加されている。なぜアスコルビン酸はお茶の酸化を防ぐことができるのか、なぜアスコルビン酸が使われているのか。この理由を実験によって確かめながら学習する方法を紹介する。実験方法は、ビュレットを使用せず、ポリスポイトを用いることで簡便化を図り、班別ではなく、個人での定量実験を可能にした。

その他、アスコルビン酸（ビタミンC）に関するトピックスを、生徒の興味・関心を高める資料として紹介する。

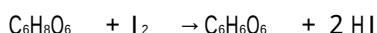


教材開発のポイント

- ・うがい薬でビタミンC量を測定できるようにした。
- ・ポリスポイトを使用し、簡単な定量実験を行えるようにした。

1 この実験でビタミンCが定量できる原理

ビタミンC（アスコルビン酸）は自身が酸化されやすく、還元剤としてののはたらきがある。一方、うがい薬に含まれるヨウ素は、相手物質を酸化しやすく、酸化剤としてののはたらきがある。つまり、ビタミンCとヨウ素は酸化還元反応する。この反応は以下の通りである。



アスコルビン酸 ヨウ素 テトラアスコルビン酸 ヨウ化水素

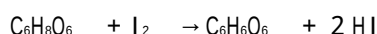
この反応式を利用し、酸化還元反応に使われたヨウ素の量から、ビタミンC量を測定する。

2 うがい薬を定量実験に使うことについて

うがい薬にはヨウ素が含まれている。このヨウ素に着目して、うがい薬をビタミンCの定量に使用できるか検証する実験を行った。

アスコルビン酸（ビタミンC、分子量176）を0.088 g 秤量し、蒸留水50 mL に溶かして0.010 mol/L の溶液を調製した。この溶液をホールピペットで1 mL 採取し、うがい薬で滴定を行った。この結果、うがい薬は0.36 mL 必要であった。

アスコルビン酸とヨウ素は、以下のように反応するので、アスコルビン酸とヨウ素は同じモル数で過不足なく反応することになる。



アスコルビン酸 ヨウ素 テトラアスコルビン酸 ヨウ化水素

反応式より、アスコルビン酸の物質質量 = ヨウ素の物質質量なので、

$$0.010(\text{mol/L}) \times 1.0(\text{mL}) / 1000 = x(\text{mol/L}) \times 0.36(\text{mL}) / 1000$$
$$x = 0.028$$

以上より、うがい薬に含まれるヨウ素のモル濃度は0.028 (mol/L) と求められる。これを質量を用



図1 実験で使ったうがい薬

いて表すと、ヨウ素の分子量253.8より、 $0.0028(\text{mol/L}) \times 253.8 = 7.1(\text{g/L})$ となり、1 mLあたりでは7.1mgのヨウ素を含むことが分かる。なお、この製品の成分表には、有効ヨウ素を7 mg/mL含むと表示されていた。これらのことから、高校化学の授業で定量実験を行うために、このうがい薬を試薬として使用することには問題がないと判断した。

3 ポリスポイトを定量実験に使うことについて

定量実験を行う場合、正確にはビュレット(図2)を用いて滴定を行うことが望ましい。しかしビュレットは扱いが難しく、正確な実験ができるようになるにはある程度の練習が必要である。また、高価な実験器具であることなどから、個人実験で扱うことは難しい。

この実験では、おおよその結果しか求められなくても、生徒一人一人が実験を体験することが大切であると考え、安価に簡便に定量実験ができるよう、ポリスポイト(図3)を使用することにした。

しかし、ポリスポイトでどの程度の精度の実験ができるかを検証しておく必要がある。そこで、ポリスポイトで量る1滴の量に「ぶれ」がないかを、予備実験で確認した。その結果ポリスポイトでの1滴の量はほぼ安定しており、平均値より $\pm 2\%$ 以内にすべての測定値が入った。このことから、高校化学の授業で定量実験を行うために、正確な値として扱うことは難しいが、概量を知るための定量実験において、ポリスポイトを使用することは問題がないと判断した。使用したポリスポイトの1滴の量は水が0.047mL、うがい薬が0.024mLであった。なお、1滴の量の違いは、水とうがい薬の表面張力の違いによるものである。



図2 ビュレット

図3 実験で使った
ポリスポイト

4 計算を簡単にするための式の工夫

一般に、滴定の場合には、反応した既知の溶液の物質質量と未知の溶液の物質質量が等しいことから、関係式を立てて未知の溶液の濃度を求める。しかし、この実験では、計算を分かりやすく簡便にするために、うがい薬1滴と反応するアスコルビン酸の量を示し、穴埋め式で式を完成させ、アスコルビン酸の量が求められるように工夫した。

うがい薬1滴と反応するアスコルビン酸の量を求めた方法は以下のとおりである。

0.010mol/Lのアスコルビン酸水溶液1mLをピーカーに取り、ビュレットを用いてうがい薬で滴定したところ、0.36mLで過不足なく反応した。

また、同濃度のアスコルビン酸1mLを、ポリスポイトで1滴ずつ加えたところ、15滴で過不足なく反応した。

うがい薬1滴の量は0.024mLであり、15滴では0.36mLとなるため、ビュレットでもポリスポイトでも実験結果は同じであった。

0.010mol/Lのアスコルビン酸水溶液1mL中に含まれるアスコルビン酸の物質質量は、

$0.010(\text{mol/L}) \times 0.0010(\text{L}) = 0.000010(\text{mol}) = 1.0 \times 10^{-5}(\text{mol})$ であり、これを質量であらわすと $1 \times 10^{-5}(\text{mol}) \times 176 = 1.76 \times 10^{-3}(\text{g})$ となる。

うがい薬1滴あたりと反応するアスコルビン酸の質量は

$1.76 \times 10^{-3} \div 15 = 1.2 \times 10^{-4}(\text{g}) \rightarrow 0.12 \text{ mg}$ と求められる。

つまり、うがい薬1滴あたりと反応するアスコルビン酸の量は、0.12mgということになる。試料はすべて1mL採取するので、以下の式を活用すれば、飲料1本に含まれるアスコルビン酸=ビタミンCの量が求められることになる。

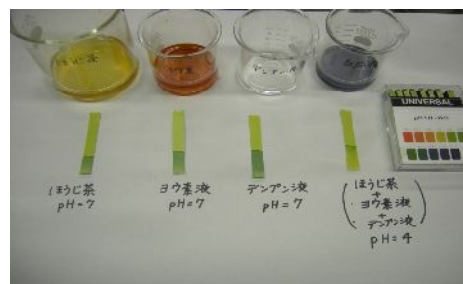
うがい薬の滴数 $\times 0.12 \times$ **飲料の容量(mL)** = **飲料に含まれるアスコルビン酸の量(mg)**

ただし、この式を用いることができるのは、この実験で指定したポリスポイトを使用した場合である。また、生徒が家庭等で工夫して実験する場合には、次のようにすればアスコルビン酸の量を求めるこ

とができる。

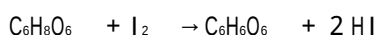
うがい薬 1 滴 (0.024mL) と反応するアスコルビン酸の量は0.12mg であることから、うがい薬 1 mL と反応するアスコルビン酸の量は5.0mg ということになる。うがい薬の体積を測定するためには、習字用のスポイトの 1 滴の量を計量スプーンで測定したり、計量スプーンを直接使用する方法などが考えられる。ただし、計量スプーンなどを用いる場合は、使用するうがい薬の量が多すぎてしまうので、10倍程度に薄めて使用するほうが良い。10倍に薄めた場合、うがい薬 1 mL と反応するアスコルビン酸の量は、0.50mg となる。

生徒が家庭でアスコルビン酸の量を測定する例としては、野菜をゆでたときにどのくらいのビタミンC がゆで汁に溶け出しているかの測定などが考えられる。



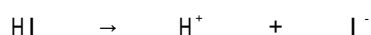
5 反応後の生成物確かめる方法

この実験では、アスコルビン酸とヨウ素が反応し、デヒドロアスコルビン酸とヨウ化水素が生成する。



アスコルビン酸 ヨウ素 デヒドロアスコルビン酸 ヨウ化水素

ただし、ヨウ化水素は、水溶液中で以下のように電離している。



ヨウ化水素 水素イオン ヨウ化物イオン

ヨウ化物イオン I^- は、ヨウ素デンプン反応をしないので、すべてのヨウ素 I_2 がヨウ化物イオンになったことは、ヨウ素デンプン反応が起こらないことで確かめることができる。また、ヨウ化物イオン I^- は無色なので、ヨウ素 I_2 の色である茶色が消えることでも確認できる。

図 4 反応前と反応後の溶液の pH

水素イオン H^+ は酸性を示すイオンである。pH 試験紙で、反応前と反応後の水溶液の液性の変化を調べたところ、pH 値が大きく減少していたことから、 H^+ の存在を確認することができた。

なお、デヒドロアスコルビン酸については、高校化学のレベルでは検出が難しいため、この実験では取り扱わないこととする。

6 酸化防止剤とは

酸化防止剤は、食品が酸化して品質が低下したり、変質したりすることを防ぐために添加されている。食品が酸化すると、色が変わったり、味が変わったりして食することができなくなることがあり、また栄養価の低下の原因にもなる。酸化防止剤を添加することで、食品を長く保存できたり、品質や栄養価の劣化を防いだりすることができる。

酸化防止剤は、食品成分に代わって自身が酸化されることによって、食品の酸化を防ぐ作用を示す。また酸化防止剤は、食品の性質や用途によって、様々な種類が利用されている。

現在使用されている主な酸化防止剤を以下に示す。

・L - アスコルビン酸 (ビタミンC)

水溶性のビタミンである。飲料、果実加工品、総菜、パンなどに使用されている。

・トコフェロール (ビタミンE)

脂溶性のビタミンである。植物体内に存在し、種子などの酸化を防いでいる。油脂、バター、菓子類などに使用されている。

・エリスルビン酸 (イソアスコルビン酸)

強い還元力がある。ビタミンCであるアスコルビン酸と物質名が似ているが、ビタミンとしての

効果はない。果実加工品、魚介加工品、農産物缶詰、漬物などに使用されている。 保存料としてよく使われているソルビン酸とは別物である。

- ・ジブチルヒドロキシルエン（BHT）

アスコルビン酸やクエン酸などの他の酸化防止剤と併用される。脂溶性で、他の酸化防止剤に比べて安定性が優れる。油脂、バター、魚介乾製品、魚介塩蔵品、魚介冷凍品、チューインガムなどに使用されている。

- ・ブチルヒドロキシアニソール（BHA）

浸透性に優れる。BHTと同等又はそれ以上の酸化防止効果をもつ。油脂（特にパーム油）、バター、魚介乾製品、魚介塩蔵品、魚介冷凍品などに使用されている。

7 なぜお茶の酸化防止剤にビタミンC（アスコルビン酸）が使われているのか

そもそもビタミンCは、人が生きていく上で欠かすことのできない必須の成分である。また、人はビタミンCを体内で合成できないため、食事などで摂取しなければならない。

ビタミンCは水溶性であり、過剰に摂取した分は体外に排出されるため、通常的生活範囲であれば、過剰摂取を心配する必要がない。

そのため、安全な酸化防止剤として広く使用されている。

8 ビタミンCの摂取基準

厚生労働省策定の日本人の食事摂取基準（成人）によると、推奨量は100mg/日とされている。これは壊血病を発症せず、抗酸化、心臓血管系の疾病予防が期待できる値である。つまり、病気にはならない量ということであり、健康や美容目的の場合はより多くの摂取が必要である。

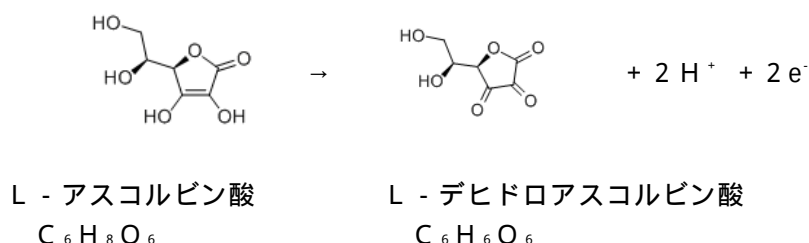
上限量については定められていない。

また、喫煙者に対する注意事項として、非喫煙者以上にビタミンCを摂取することが推奨されている。

9 アスコルビン酸が酸化防止剤としてはたらく原理

アスコルビン酸は酸化されやすい物質であり、自身が酸化されることで、目的物質の酸化を防ぐことができる。このため、酸化防止剤として利用されている。

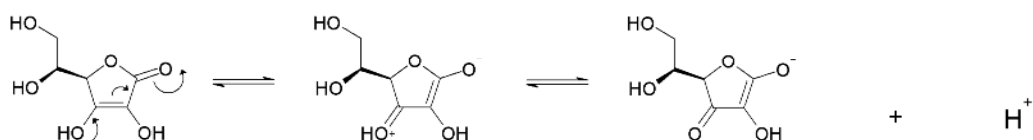
アスコルビン酸の酸化反応(半反応式)は以下のとおりである。



10 アスコルビン酸の化学的性質

アスコルビン酸にはL-形とD-形が存在するが、通常アスコルビン酸という場合にはL-形の方を指す。ビタミンCとして知られているアスコルビン酸は、L-アスコルビン酸である。

融点は190～192℃で、無色板状または針状の結晶であり、水に可溶で熱に弱い。強い還元性をもつ。水溶液が酸性を示すのは、エノール形水酸基の一つが解離し、 H^+ が生じるためである。



11 アスコルビン酸の体内のはたらき

アスコルビン酸は、体内のタンパク質を構成するアミノ酸の一つであるヒドロキシプロリンの合成に必須である。このため、不足すると組織間をつなぐコラーゲンや象牙質、骨の間充組織の生成と保持ができなくなる。これがさらに進行すると血管に損傷を受け、壊血病を発症する。

12 話題

○ 進化によってアスコルビン酸の合成能力を失った人類

アスコルビン酸は生物にとって様々な場面で重要なはたらきをする物質である。ほとんどの動物は体内でアスコルビン酸を合成できる。植物も酸化を防止するために、アスコルビン酸を合成している。果物には、酸化を防ぐためにアスコルビン酸が多く存在している。

しかし、ヒトは体内でアスコルビン酸を合成できない。そのため、必要なアスコルビン酸をすべて食事などによって摂取しなければならない。アスコルビン酸を合成できないのは、ヒトを含む霊長類の一部とそのほかわずかな動物だけである。

また、アスコルビン酸は水溶性のビタミンであり、体内に貯蓄することができないので、不足しないように定期的に摂取する必要がある。多く摂取しすぎたアスコルビン酸は、尿として排出されるため、ビタミン剤の過剰摂取など以外は、摂りすぎを心配する必要はない。

○ アスコルビン酸(英: ascorbic acid)の名前の由来

壊血病(独語: skorbut スコルブート、英語: scurvy スコルビー)に由来する。また、接頭語のア(a)は、否定の意味である。つまり、アスコルビン酸とは、「壊血病を治す酸」という意味である。

壊血病とは、ビタミンCの欠乏によって生じる病気であり、体内の各器官で出血性の障害が起こる。このことが知られていなかった大航海時代には、多くの船員が壊血病で亡くなった。

例えば、1600年、豊後の臼杵湾に漂着したオランダ船リーフデ号は、乗組員110人のうち、86人が亡くなっており、その多くは壊血病であったとみられている。

○ ビタミンの名前について

ビタミン(vitamine)は、vital amine(生命活動に必須のアミン)から命名された。ビタミンBやビタミンCなどのアルファベットは、その物質が報告されてから正式に名前を付けられるまで、順番に付けられた仮称が定着したものである。

実験 酸化防止剤としてのアスコルビン酸（ビタミンC）のはたらき

ビタミンCは、酸化防止剤（還元剤）としてはたらいています。

いろいろな飲み物の中に、どのくらいのビタミンCが含まれているか、簡単に調べられます！

なんと、うがい薬とスポイトで実験します。

飲み物1本に含まれるビタミンC量と、1日の必要所要量を比較すると...

- 〔準備〕
- ・いろいろな飲み物
 - ・ビーカー
 - ・ホールピペットまたはこまごめピペット
 - ・ポリスポイト（NaRiCa製2mL）（10個組200円）
 - ・デンプン水溶液
 - ・うがい薬



実験 ビタミンC量を調べよう

（概要）

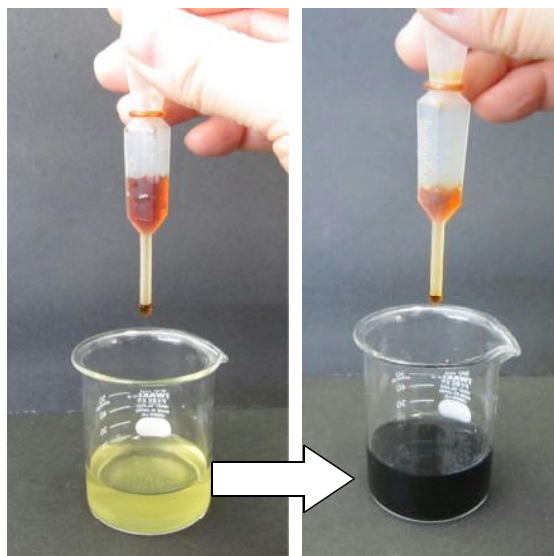
調べたい飲み物を1mL取り、ビーカーへ入れる。

デンプン水溶液 を入れ、水を加える。

可溶性デンプンを水に溶かし加熱して作るが、デンプンのりを水に溶かしても可。

うがい薬を、ポリスポイトを使って、1滴ずつ入れる。

飲み物の色が変化するまで入れる。



何滴で色が変化した？
式に代入して計算！

$$\text{うがい薬の滴数} \times 0.12 \times \text{飲料の容量(mL)} = \text{飲料に含まれるビタミンCの量(mg)}$$

比べてみよう！

ビタミンCの食事摂取基準推奨量100mg/日（成人）
厚生労働省策定「日本人の食事摂取基準」より

< 生徒用実験プリント >

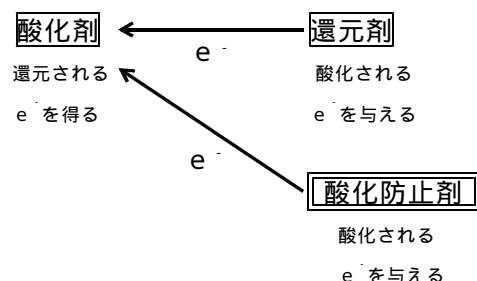
酸化防止剤としてのアスコルビン酸（ビタミンC）のはたらき

年 組 番 氏名

酸化剤...相手を酸化する = 自身は還元される
= 電子 e^- を得る
還元剤...相手を還元する = 自身は酸化される
= 電子 e^- を与える（失う）

酸化防止剤...自身が先に酸化されることで、目的物質の酸化を防ぐ。

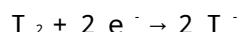
酸化防止剤は、〔 酸化剤・還元剤 〕である。



〔実験の原理〕

この実験では、酸化防止剤であるアスコルビン酸がヨウ素を還元する反応を利用し、濃度既知のヨウ素と反応するアスコルビン酸の量を測定する。

ヨウ素の還元反応を以下に示す。



滴定の終点は、ヨウ素デンプン反応による青紫色着色で判定する。

（加えた I_2 がビタミンCによって還元され、 I^- になれば、ヨウ素デンプン反応は起こらない。ビタミンCがすべて反応して残っていなければ、加えた I_2 が還元されずそのままとなり、ヨウ素デンプン反応が起こるために溶液が青紫色に着色する。）

- 【準備】 □ アスコルビン酸水溶液 □ いろいろな飲み物 □ ホールピペット □ 計算機
□ ポリスポイト（人数分） □ ビーカー（人数分） □ デンプン水溶液 □ うがい薬

【手順】

測定する試料を、ホールピペットで1 mL 分取し、ビーカーに入れる。

のビーカーに蒸留水を加え、約10 mL にする。（蒸留水を加えるのは、試料の量が少ないので、液量を増やして実験をしやすくするため。水を加えてもアスコルビン酸の量は変化しないため、実験結果には影響しない。）

のビーカーにデンプン溶液を5 滴程度入れる。

ポリスポイトでうがい薬を1 滴ずつ数えながら入れ、ビーカーを軽くゆする。溶液全体が着色するまでうがい薬を入れる。ポリスポイトはまっすぐ立てて使うこと。

飲み物1 本分に含まれるアスコルビン酸の量を計算する。下の式を利用する。

【飲み物1本分に含まれる、アスコルビン酸（ビタミンC）の量の求め方】

この実験で使用しているポリスポイトでのうがい薬1 滴は、0.12 mg のアスコルビン酸と反応する。試料は1 mL 採取しているの、飲み物1 本に含まれるアスコルビン酸の量は次式で求められる。

$$\boxed{\text{うがい薬の滴数}} \times 0.12 \times \boxed{\text{飲み物1本分の容量 (mL)}} = \boxed{\text{飲み物1本に含まれるアスコルビン酸の量 (mg)}}$$

ポリスポイトはNaRiKaの2 mL を使用。うがい薬1 滴は0.024 mL 。

【実験結果】

[illegible]

1日当たりのビタミンCの摂取基準（成人）は、100mgである。上限は定められていない。

【考察】

この実験で、酸化剤としてはたらいっているもの、還元剤としてはたらいっているものはそれぞれ何か。

酸化剤...〔 〕 還元剤...〔 〕

試料にうがい薬を滴下しても、始めのうちは試料の色が変化しない。これはなぜか。

酸化防止剤として、アスコルビン酸が使われていることの利点は何か。

【感想】

理科 『化学基礎』学習指導案

〔実験のねらい〕

食品の酸化防止剤という身近な材料を扱うことで、化学が生活に役立っていることを知るとともに、日常生活と学習内容の関連付けを図る。

個人実験により、ビタミンCの定量実験を行うことで、主体的に実験に取り組ませる。

1 主題

酸化防止剤としてのアスコルビン酸のはたらき

2 目標

ビタミンCが酸化防止剤として利用されていることを知り、飲料中に含まれるビタミンCの量を簡単な実験を通して測定することを通して、使用量と効果について学習する。

3 本時の評価規準

関心・意欲・態度	食品の酸化防止剤にビタミンCが利用されていることに関心をもち、進んで実験に取り組んでいる。
技能・表現	定量実験に関する基本的な実験操作を習得するとともに、実験の過程や観察結果を的確に表現する。

4 展開

	学習内容	時間	主な学習活動	支援及び指導上の留意点	評価規準の具体的状況	評価方法等
導入	本時の実験内容の把握	5分	・ 本時の実験内容を把握する。 ・ 茶葉から淹れた緑茶は時間が経つと酸化して茶色っぽく変色するが、PETボトル入りのお茶は時間が経っても変色しないことを観察する。 ・ PETボトル入りのお茶には、何が添加されているか、成分表示を確かめる。 ・ ビタミンCを添加した緑茶は、2～3日経っても変色しないことを観察する。 様々な飲料に酸化防止剤としてビタミンCが添加されていることを確かめ、そのおおよその量を実験によって確かめる。 また、その量と1日あ	・ 実物を提示する。 ・ ビタミンCが酸化防止剤として添加されていることを説明する。 ・ 茶葉から淹れた緑茶に、ビタミンCを添加して空気に触れさせておいたものを提示する。		

			たちのビタミンCの摂取基準を比較する。			
展開	ビタミンCの定量実験 (個人実験)	25分	・実験について、説明を聞く。 ・いろいろな飲み物の中から、調べたいと思う試料を選択し、試料に含まれるビタミンCの量を実験によって調べる。 ・実験結果を班のメンバーに伝え、共有する。	・実験に使用するうがい薬の中のヨウ素と、ビタミンCが反応(酸化還元反応)することを利用し、ビタミンCを測定することができることについて説明する。	食品の酸化防止剤にビタミンCが利用されていることに関心をもち、進んで実験に取り組んでいる。 【関心・意欲・態度】 安全に注意しながら、適切に実験操作を行っている。 【観察・実験の技能・表現】	行動観察 行動観察
まとめ	ビタミンCの量と摂取基準との比較 酸化還元反応について 日常生活との関連付け		・実験結果とビタミンCの摂取基準を比較する。 ・ビタミンCの性質と必要量について説明を聞き、添加されている量について考える。 ・酸化還元反応について復習する。 酸化： 酸素と化合する水素を失う 電子を失う 還元： 酸素を失う水素と化合する 電子を得る ・酸化防止剤がなければどのような不都合が起こるかについて考える。 ・酸化防止剤として、ビタミンCを利用する利点について考える。	・ヨウ素I_2→ヨウ化物イオンI^-は、電子を得ることから還元反応であることを確認する。 ・ヨウ素の反応より、ビタミンCは酸化反応をしていることが分かる。このことから、ビタミンCは自身が酸化されることで目的物質の酸化を防いでいることを説明する。	実験の過程や観察結果を的確に表現している。 【観察・実験の技能・表現】	実験レポート