

# お家でできる消化実験の検討と実施

文京区立第六中学校 川島 紀子

## 1 はじめに

文京区では4月中旬よりオンデマンド型の学習の配信が可能になり、5月中旬よりZoomでの双方向授業が開始された。本校でのZoom授業は5月21日より開始され、Wi-Fiとタブレットの貸与期間が終了する6月19日にまで運用された。Zoomの授業は、生徒の自宅の通信環境の影響で接続が切断されるケースが少数あったが、ほぼ全ての回において在籍する生徒全員が参加した。6月1日に休校明けたの3週間は段階的な時差登校での対面授業とZoom授業を併用しての運用となった。

私が担当したZoom授業は、1年生1種類（①花を分解しよう）、2年生6種類（①Google Earthを活用した地層観察 ②凸レンズの不思議 ③レーウエンフック顕微鏡で細胞を観察しよう ④だ液の消化実験 ⑤だ液の消化実験（低温と高温） ⑥タンパク質の消化実験）で、合計の授業回数は20回行った。どのZoom授業も、40分間の授業中もしくは配信後に自宅で実験ができるもので計画をした。1学級36名前後の生徒数が在籍する本校では、休校解除後も理科室での実験の実施は当面難しいと考えられたからである。特に、2年生の生命領域の「だ液のはたらき」を確かめる実験は新型コロナの問題もあり学校では実現不可能であることが予想されていた。

そこで、消化酵素のはたらきを確かめる自宅で安全に実験をさせることができないかと考えて、5月下旬より教材研究を進めた。

教材研究のポイントは以下の5点である。

- (1) 必要な実験用具は学校より提供するが、配布するものはディスプレイブルなもの
- (2) 安全性が担保される方法を確立すること
- (3) 結果が確実に出るプロトコルの確立をすること
- (4) 生徒が楽しみながら実験を進められる簡単さと手軽さを追求したもの
- (5) 理科の教科として扱いたい内容になっていること
- (6) 個別実験を通し、生徒自身が実験内容をまとめて深められる提示方法にすること

尿糖試験紙が糖の検出が可能であるという豊島区立駒込中学校の吉田先生の報告をヒントにして、吉田先生から尿糖試験紙を頂き検討をした。お茶の水女子大学 サイエンス&エデュケーションセンターの先生方にもご協力頂き、Zoomの授業が見られなかった生徒や、実験の方法がわからない生徒に対しての対応として、Zoomで配信する実験方法のYouTubeコンテンツを作成して頂いた。

今回は、検討した実験方法について報告する。

## 2 実験方法の検討

### (1) 炭水化物の消化実験 温度40℃の場合

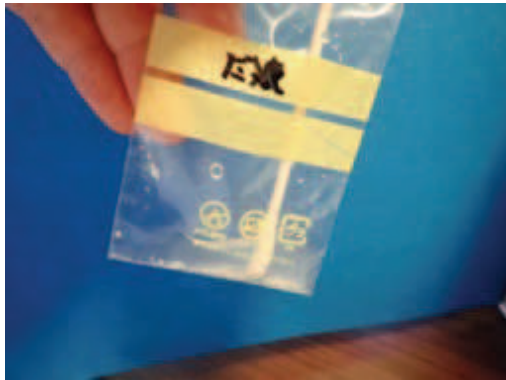
	<p>炊いたご飯 1粒に1ml</p>
	<p>直径6mmのストローで4.5cmのところに印をつける</p>
	<p>水1mlは6mmのストローを水の入ったコップに入れ、4.5cmのときの深さでストローの上部を指で蓋をし、ストローに入った水を袋に移動させる ↓ 1mlの水を入れたことになる</p>
	
<p>指でよく潰す</p>	<p>形が無くなるまでよく潰す</p>



潰した後の上澄液を使う方が良い



対照実験として、綿棒に水を吸わせてご飯粒の上澄み液に混ぜる



口に綿棒を入れ、綿棒にだ液を含ませてご飯粒の上澄み液に入れる



約 40℃の浴槽に 10 分間入れる  
生徒の自宅には温度計が無いので、入浴時の湯温は 37～42℃だろうと想定し、お風呂の湯で加温することにした。



デンプンの検出  
ヨウ素液はうがい薬を 4 倍希釈



糖の検出 尿糖試験紙

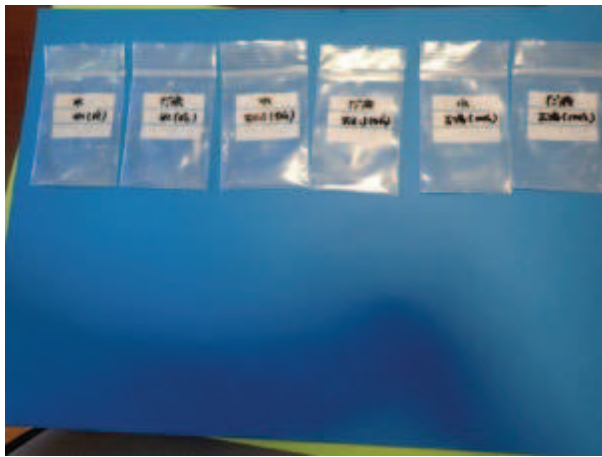


水入りはヨウ素デンプン反応 (+)  
だ液入りはヨウ素デンプン反応 (-)

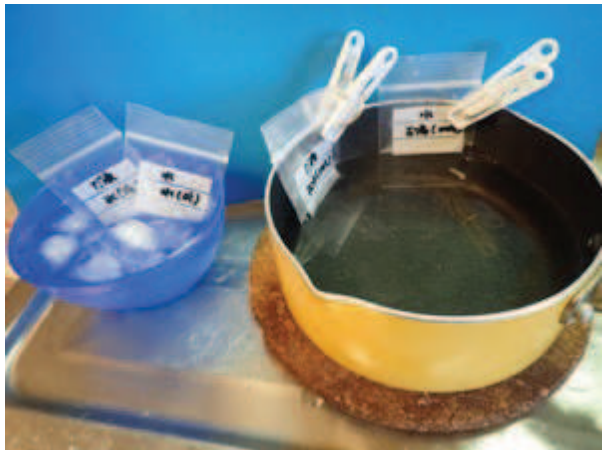
水入りは糖検出 (-)  
だ液入りは糖検出 (+)

↑ 糖濃度を比色すると 100mg/dL ぐらい

(3) 炭水化物の消化実験 低温（氷水0～4℃）と高温（沸騰したお湯80～100℃）の場合



炊いたご飯 1粒に水1ml 加えてよく潰したデンプン溶液を準備

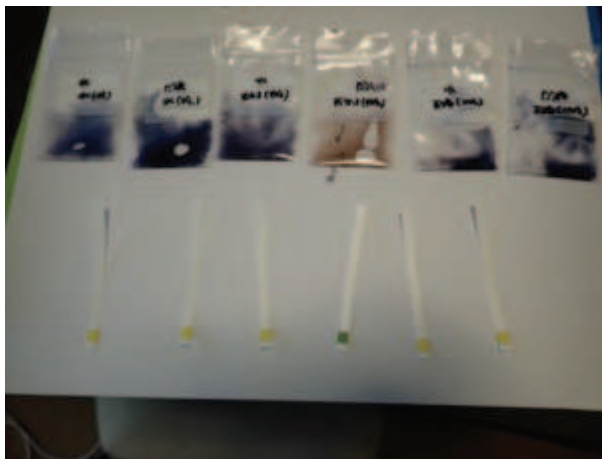


予め氷水に冷やした低温下のデンプン溶液に水とだ液をそれぞれ綿棒に取り加える。

氷水は氷に水を入れて準備  
最初0℃ 10分後に4℃

沸騰したお湯の鍋の中に入れる  
最初100℃ 10分後80℃

(室温22℃)



結果

	低温 4℃		40℃		高温 80℃	
ヨウ素液	+	+	+	-	+	+
糖試験紙	-	-	-	+	-	-

・ヨウ素デンプン反応を確実に検出するためには、ご飯粒の固形物質が残っていない方が  
良い。→上澄み液を使う。

・ジップロックの袋でも実験は可能であるが、マイクロチューブの容器の方が実験操作が  
しやすいことや、より実験らしくなるため、マイクロチューブで行わせることにした。

### (3) タンパク質の消化実験

#### <検討事項>

- ・タンパク質の消化実験は教科書では扱われていないが、何か工夫してできないか？
- ・ペプシンに塩酸を加えないと消化剤として働かない。
- ・自宅で行う実験として想定した場合には、強酸性の液体を配布するわけにはいかない。
- ・炭水化物はご飯粒が消化する食品の材料になるが、タンパク質の食品は何が適当か？



・教員が安心して配布できる消化酵素として、胃腸薬を検討

左：新タカチア錠（第一三共ヘルスケア）成分（タカチアスターゼ）他

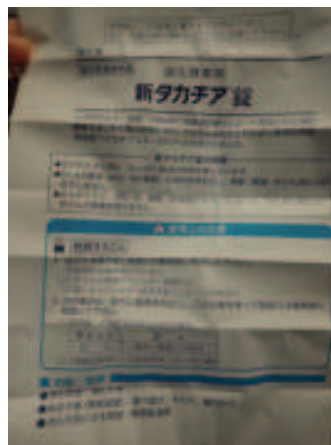
中：パンシロン（ロート製薬）

成分：ビオチン・プロザイム・リパーゼ他

右：第一三共胃腸薬（第一三共ヘルスケア）成分：タカチアスターゼ・リパーゼ他

「タカチアスターゼは1894年に高峰讓吉博士によって発見された消化酵素。その後の研究により、デンプン消化力とタンパク質消化力を併せもつタカチアスターゼN1へと改良された」「広いpH領域（pH3～8の範囲）で消化作用を示し、胃酸（胃液）中でも消化力が低下しません」「緑茶、紅茶、コーヒーによってデンプン消化力にほとんど影響を受けない」と説明書に書いてある。

※錠剤の配布について養護教諭に相談。学校薬剤師に問い合わせた回答「アミラーゼ類（ $\alpha$ 、 $\beta$  など）は関東化学や富士フィルム和光純薬がホームページに載せていますので試薬です。理科の先生にお伝えください。この場合消化酵素は研究機関用なので（医療機関用でない）薬機法の対象外です。機法とは「医薬品、医療機器等の品質 有効性及び安全性の確保等に関する法律」で以前薬事法と呼ばれていた法律が2014年11月に改定されたものです。→学校から配布しても問題無いとのこと。





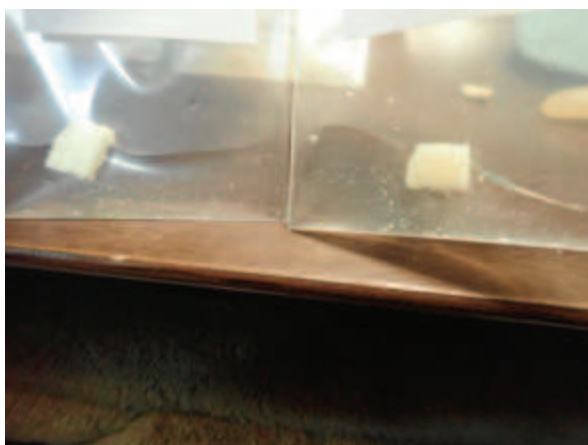
- かつお節で試す
- かつお節 5 mm 角程度を 2 枚
- 水 1 ml



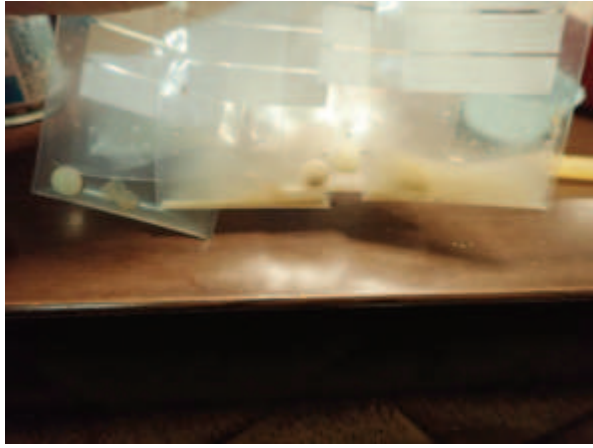
- かつお節
- タカチヤ錠
- 左：1 錠を砕いたもの  
右：錠剤をそのまま入れたもの



- かつお節
- 40℃で10分 変化なし
  - その後、10分置きに経過を観察  
8時間後も形に変化なし



- 高野豆腐
- 5 mm 角
  - 水 1 ml



## 高野豆腐

- ・タカヂア錠と粉末

(一番左はかつお節のもの)



浴槽（40℃）で10分



高野豆腐にタカヂア一ゼの粉末を加えたものは高野豆腐の形が崩れる

- ・かつお節はやはり変化なし
- ・タカヂア一ゼの錠剤のままも少し崩れるが、大きな変化として捉えられない



タカヂア一ゼはやはり粉砕して粉にした方が良い。

他の2種類の粉末よりタカヂア一ゼ錠が利く様子

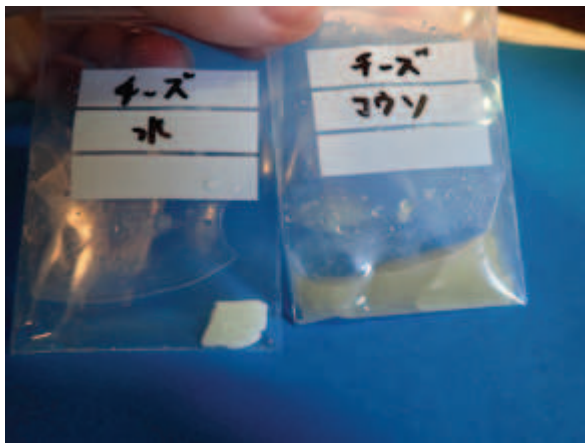


錠剤の粉碎で、料理用の棒が無い場合を想定する。  
割り箸でも潰せた。



スライスチーズ 5mm 角

水とタカチアーゼ錠の粉末との比較実験  
水 1ml



予想通り、タカチアーゼ入りのチーズはすぐに崩れる



まとめ

①高野豆腐 5mm 角





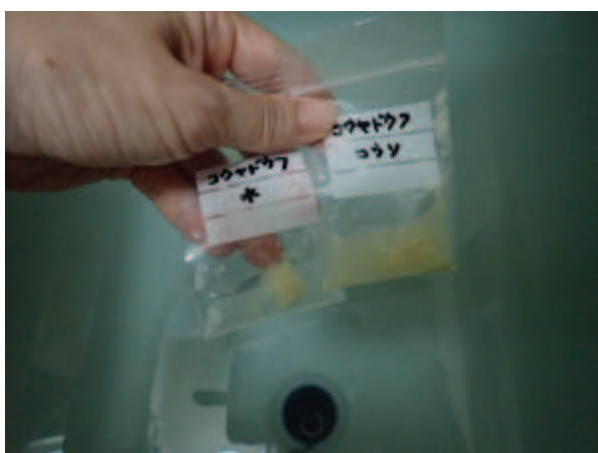
②タカヂア錠1錠を割り箸等で細かく砕く。



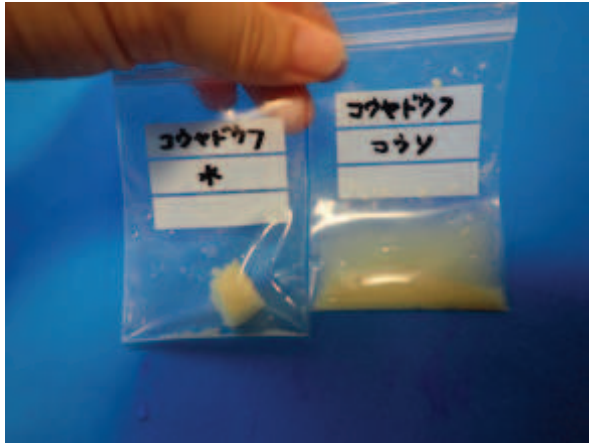
③高野豆腐を入れた袋に水を1mlずつ加える



④約40℃の浴槽に10分入れる



⑤10分後、水が入った高野豆腐は指で押しても崩れないが、タカヂア錠の粉末が入った高野豆腐は簡単に崩れる



⑥タカジア錠の中に入っている成分によって高野豆腐が崩れていることが、水入り高野豆腐との比較でわかる。

・分解されて何になったのかを確かめるためにはアミノ酸等の検出試薬や必要になるため、行わない。物理的に崩れることのみ確認。

・タンパク質の分解実験：キウイやパイナップルによる分解、ペプシン利用以外の教材開発はあまり多く無い。

### 3 確定した自宅で行える生徒実験のプロトコール

#### (1) だ液の消化実験 40℃の場合

##### キットの中身を確認しましょう



①だ液実験セット (3回分) ②オブラート : 3枚 ③糖試験紙 : 4枚 ④フローター : 1個 (マイクロチューブの浮き輪)

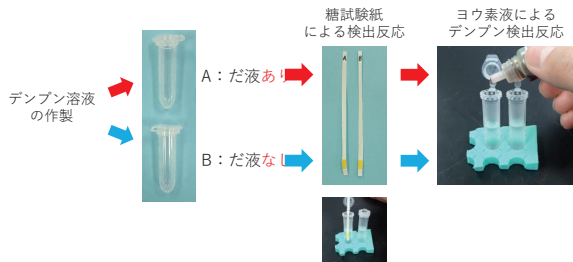
⑤スポイト : 1個 ⑥シャーレ : 1枚 ⑦うがい薬 (ヨウ素液) : 1本

だ液実験セット (1回分)  
 ・チャック付き袋 : 1枚  
 ・マイクロチューブ : 2本  
 ・綿棒 : 2本

各自で用意するもの  
 はさみ  
 水の入る容器  
 油性ペン  
 お湯 (40℃前後)  
 白い紙 (観察用)

##### 実験の流れ

■所要時間 : 20~25分



デンプン溶液の作製 → A: だ液あり → B: だ液なし → 糖試験紙による検出反応 → ヨウ素液によるデンプン検出反応

##### 実験手順 (1/8)

1-① チャック付き袋 (7cm×5cm) にスポイトで3 mLの水を入れます。



スポイトの黒い線まで水を入れると、1mL吸い上げることができます。3回に分けて入れると良いでしょう。


1-② チャック付き袋にご飯粒 (炊いたご飯) 3粒をいれて、形が無くなるまでよくつぶします。



袋の口をしっかり閉めて、指の腹を使ってかたまりをつぶします。爪を立てると、袋が破れてしまうので注意!

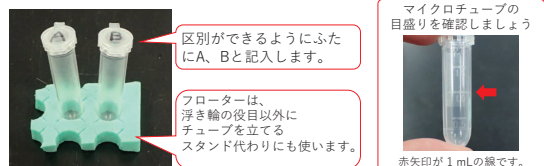
##### 実験手順 (2/8)

2-① 形が無くなるまでよく潰します。



途中経過 → この程度まで細かくつぶします

2-② マイクロチューブとフローターを用意します。



区別ができるようにふたにA、Bと記入します。  
 フローターは、浮き輪の役目以外にチューブを立てるスタンド代わりにも使えます。  
 マイクロチューブの目盛りを確認しましょう  
 赤矢印が1mLの線です。

##### 実験手順 (3/8)

3-① マイクロチューブに2で用意したご飯粒溶液を1mLずつ移します。

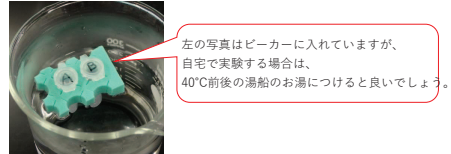


チャック付き袋を斜めにして静かに待つと、袋の角で2層に分かれます。できるだけ沈殿を吸わないように、上澄みだけをマイクロチューブに移します。  
 マイクロチューブに移します  
 できるだけ吸い取らないようにします

スポイトの目盛りで1mLを一度に取るのは困難です。マイクロチューブの目盛りを見ながら、数回に分けて入れると良いでしょう。

##### 実験手順 (4/8)

4-① 40℃のお湯に2~3分間つけます。



左の写真はピーカーに入っていますが、自宅で行う場合は、40℃前後の湯船のお湯につけると良いでしょう。

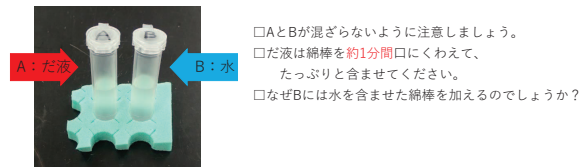
・・・この間に綿棒の準備をします・・・

##### 実験手順 (5/8)

5-① 綿棒にだ液または水を含ませて、マイクロチューブの中ですすぎます。



だ液または水を十分に含ませた綿棒  
 溶液の中でしっかりとすすぎます

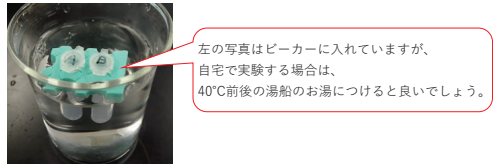


A: だ液 B: 水

□AとBが混ざらないように注意しましょう。  
 □だ液は綿棒を約1分間口にくわえて、たっぷりを含ませてください。  
 □なぜBには水を含ませた綿棒を加えるのでしょうか?

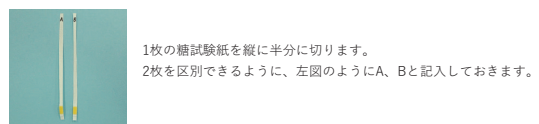
##### 実験手順 (6/8)

6-① 40℃のお湯に10分間つけます。



左の写真はピーカーに入っていますが、自宅で行う場合は、40℃前後の湯船のお湯につけると良いでしょう。

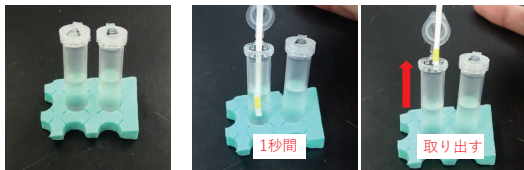
・・・この間に糖試験紙の準備をします・・・



1枚の糖試験紙を縦に半分に切ります。  
 2枚を区別できるように、左図のようにA、Bと記入しておきます。

## 実験手順 (7/8)

7-① 10分後にお湯から取り出し、先に糖試験紙の実験を行います。



フローターに  
マイクロチューブを立てます

糖試験紙を用意してAとBそれぞれに  
1秒間ひたして取り出します。  
※倒れないようにマイクロチューブ  
を支えながら行ってください。



白い紙の上に置き、  
下の黄色い部分の色の变化を観察します。

## 実験手順 (8/8)

8-① 次にうがい薬 (ヨウ素液) を使った実験を行います。



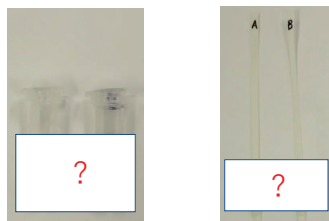
フローターに  
マイクロチューブを立てます

うがい薬を用意してAとBそれぞれに  
1滴ずつたらします。  
※倒れないようにマイクロチューブ  
を支えながら行ってください。

①たらした直後の様子をまず観察します。

②ふたをしっかりと閉めて、溶液を静かに混ぜ、その後の色を比較します。

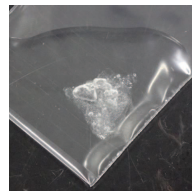
## 実験結果をまとめましょう



	うがい薬 (ヨウ素液)	糖試験紙
A: だ液あり	A-1	A-2
B: だ液なし	B-1	B-2

## オブラートを使う場合

- ✓ご飯粒3粒の代わりに、オブラート1枚を使ってください。
- ✓それ以外にご飯粒を使った場合と同様の実験操作を行ってください。



### Zoom学習課題: 紙に自分の考えを書きましょう

Zoom用のシートに  
書きましょう

考えよう①: この薄くて透明なものは何でしょうか?

考えよう②: この実験で40℃に (10分間) 保つのは  
なぜでしょうか?

考えよう③: この実験ではどのような結果が得られる  
だろうか? 予想しよう。

### 実験結果の分析: だ液のはたらきを確かめる実験

指定された用紙に  
書いて提出します

分析①: A-1とA-2の結果を比較すると何がわかるか。  
また、B-1とB-2の結果を比較すると何がわかるか。

分析②: 何と何を比較するとだ液のはたらきによりデンプンが  
糖に変化したことがわかるか。

分析③: この実験では、どのようなことが確かめられたのか。  
考察しよう。



お風呂の浴槽の中で実験を進めると  
40℃の温度を保ちやすい



18

## 実験方法に関する動画

だ液による  
デンプンの変化を調べよう  
<https://youtu.be/j-hTxjd50Y>



お家で理科実験  
だ液による  
デンプンの変化を調べよう



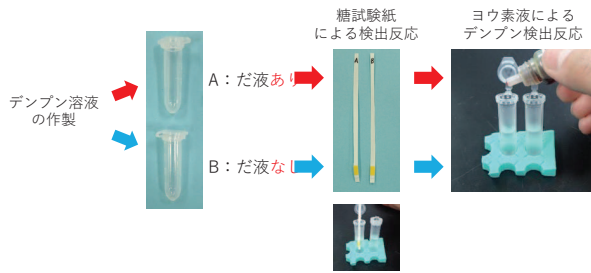
実験の方法、進め方は  
このサイトで公開され  
ています。実験をする  
前に確認しましょう。



## (2) だ液による消化実験 発展編 0℃と80℃の場合

### 実験の流れ

■所要時間：20～25分



### 実験手順 (1/8)

1-① チャック付き袋 (7 cm×5 cm) にスポイトで3 mLの水を入れます。



1-② チャック付き袋にご飯粒 (炊いたご飯) 3粒をいれて、形が無くなるまでよく

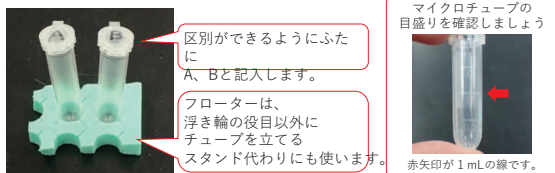


### 実験手順 (2/8)

2-① 形が無くなるまでよく潰します。

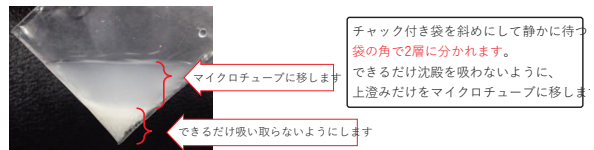


2-② マイクロチューブとフローターを用意します。



### 実験手順 (3/8)

3-① マイクロチューブに2で用意したご飯粒溶液を1 mLずつ移します。



### 実験手順 (4/8)

4-① 氷水 (低温) と沸騰したお湯 (高温) にそれぞれ2～3分間つけます。



・・・この間に綿棒の準備をします・・・

### 実験手順 (4/8)

4-① お湯 (高温) にそれぞれ2～3分間つけます。

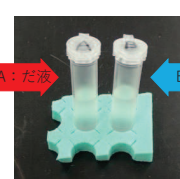


### 実験手順 (5/8)

5-① 綿棒にだ液または水を含ませて、マイクロチューブの中ですすぎます。



□AとBが混ざらないように注意しましょう。  
□だ液は綿棒を約1分間口にくわえて、たっぷり中含ませてください。  
□なぜBには水を含ませた綿棒を加えるのでしょうか



### 実験手順 (6/8)

6-① 氷水 (低温) と沸騰したお湯 (高温) にそれぞれ10分間つけます。



## 実験手順 (6/8)

6-① お湯（高温）にそれぞれ10分つけます。

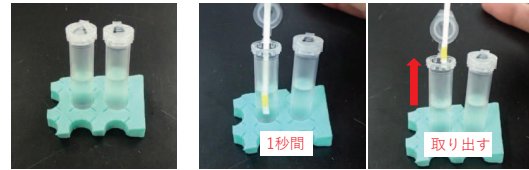
保温効果のあるコップがあれば、沸騰したお湯を入れておくのも良い方法です。



温度が下がらないように工夫として、沸騰したお湯の入った電気ポットに直接入れておくのも効果的です（蓋もしておく）。

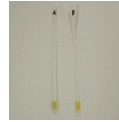
## 実験手順 (7/8)

7-① 10分後に氷水とお湯からそれぞれ取り出し、先に糖試験紙の実験を行います。



フローターにマイクロチューブを立てます

糖試験紙を用意してAとBそれぞれに1秒間ひたして取り出します。  
※倒れないようにマイクロチューブを支えながら行ってください。



白い紙の上に置き、下の黄色い部分の色の変化を観察します。

## 実験手順 (8/8)

8-① 次にうがい薬（ヨウ素液）を使った実験を行います。



フローターにマイクロチューブを立てます

うがい薬を用意してAとBそれぞれに1滴ずつたらしめます。  
※倒れないようにマイクロチューブを支えながら行ってください。

- ① たらした直後の様子をまず観察します。
- ② ふたをしっかりと閉めて、溶液を静かに混ぜ、その後の色を比較します。

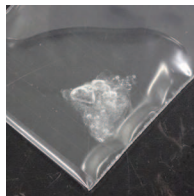
## 実験結果をまとめましょう

氷水 (0~4°C程度)	うがい薬 (ヨウ素液)	糖試験紙
A: だ液あり	A-1	A-2
B: だ液なし	B-1	B-2

沸騰したお湯 (80~100°C程度)	うがい薬 (ヨウ素液)	糖試験紙
A: だ液あり	A-1	A-2
B: だ液なし	B-1	B-2

## オブラートを使う場合

- ✓ ご飯粒3粒の代わりに、オブラート1枚を使ってください。
- ✓ それ以外のご飯粒を使った場合と同様の実験操作を行ってください。



## 実験方法に関する動画

温度によるだ液のはたらきを調べよう  
<https://youtu.be/Gfmn9brwu30>



<https://youtu.be/Gfmn9brwu30>  
↑  
数字のゼロ

実験の方法、進め方はこのサイトで公開されています。実験をする前に確認しましょう。



### (3) タンパク質の消化実験

胃液の成分 胃液の主な成分

粘液	塩酸	ペプシノーゲン
<ul style="list-style-type: none"> <li>胃壁を保護し、消化をスムーズにする</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>強い酸性で外來の細菌を殺す</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>蛋白消化酵素</li> <li>ペプシンのもとになる物質。</li> <li>塩酸によりペプシンとなる。</li> </ul>



### 胃腸薬

消化薬  
指定医薬部外品  
消化酵素剤  
**新タカチア錠**

タカチアスターゼは、1894年に高峰譲吉博士によって発見された消化酵素です。その後の研究により、でんぷん消化力とたんぱく質消化力を併せ持つタカチアスターゼN1へと改良されました。

**新タカチア錠の特徴**

- すぐれたでんぷん・たんぱく質消化作用を有しています。
- 広いpH領域（pH3～8の範囲）で消化作用を示し、胃酸（胃液）中でも消化力が低下しません。
- タカチアスターゼN1は、緑茶、紅茶及びコーヒーによって、でんぷん消化力にほとんど影響を受けません。

### 高峰 譲吉 博士

- 日本の麹菌によるアルコール醸造法をウイスキー製造に応用する技術を開発。醸造発酵技術の過程で「タカチアスターゼ」という強力な消化酵素を発見した。
- 牛の副腎から「アドレナリン」というホルモンを抽出結晶化することに成功。「アドレナリン」の発見は、神経科学や内分泌学の先駆けとなり、世界の医学・薬学界に多大の貢献をした。
- 「タカチアスターゼ」を中心とした醸造発酵技術の発展に貢献したことにより、米国では「バイオテクノロジーの父」と呼ばれている。

NPO法人 高峰譲吉博士研究会HPより転載  
<http://www.npo-takamine.org>

### キットの中身を確認しましょう



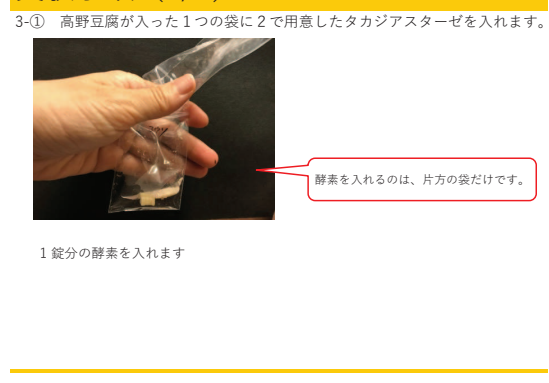
### 実験手順 (1/8)



### 実験手順 (2/8)



### 実験手順 (3/8)



### 実験手順 (4/8)

4-① 40°Cのお湯に10分間つけます。

左の写真はスーブジャーに入っていますが、自宅で実験する場合は、40°C前後の湯船のお湯につけると良いでしょう。



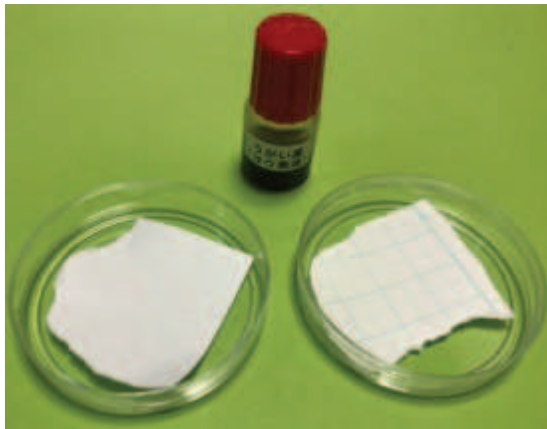
### 実験手順 (5/8)

5-① 高野豆腐の変化を比べます。



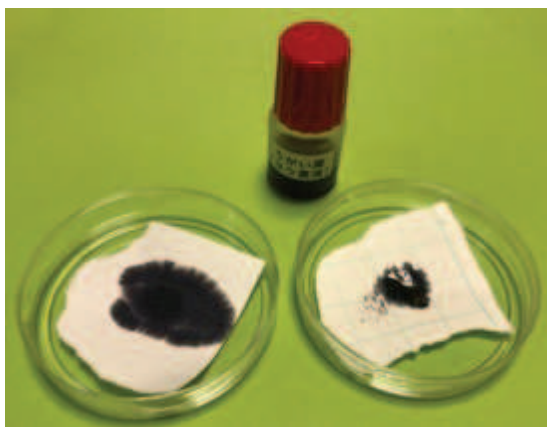
連携協力：お茶の水女子大学サイエンス&エデュケーションセンター

## 6 消化実験検討段階におけるその他の予備実験



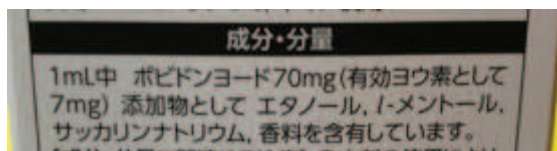
デンプンは意外といろいろなところに使われていることを示せる実験

左：印刷用の紙  
右：ノートの紙



ヨウ素デンプン反応を示すティッシュの表面に使われている場合もある。

デンプンはアレルギーを示す人が少ない粉末なので、紙同士がくっつくのを防止しているのではないかな？



イソジンの成分

ヨウ素デンプン反応の呈色反応の解明は、実は最近のこと。

矢島博文「ヨウ素デンプン反応の発色のしくみ」 化学と教育 63 巻 5 号 p. 228-231 (2015)



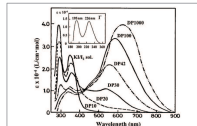


図2 Aml 錯体およびヨウ素種 (I<sub>3</sub><sup>-</sup>, I<sub>3</sub>, I<sub>2</sub>, I<sub>2</sub><sup>-</sup>) の吸収スペクトルと発色。

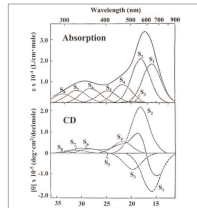


図4 Aml 錯体 (DP180) の吸収およびCDスペクトルと発色。

## ヨウ素デンプン反応の発色のしくみの研究

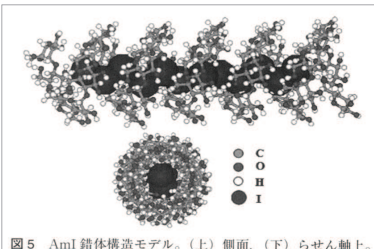


図5 Aml 錯体構造モデル。(上) 側面、(下) らせん軸上。

矢島博文「ヨウ素デンプン反応の発色のしくみ」  
化学と教育 63 巻 5 号 p. 228-231 (2015)

## ヨウ素デンプン反応の発色のしくみ 研究の結論

矢島博文「ヨウ素デンプン反応の発色のしくみ」 化学と教育 63 巻 5 号 p. 228-231 (2015)

「ヨウ素デンプン反応」の主要因はデンプンの直鎖状成分であるアミロースであり、この「アミロース・ヨウ素錯体」に対する物理化学的特性を究明した結果、「錯体の色は、左巻きアミロースらせん糖類中のピラノース環およびグルコシド結合酸素とヨウ素の間での電荷移動およびCH-n相互作用に由来して、結合ヨウ素種I<sub>3</sub><sup>-</sup>、I<sub>2</sub>各々が折れ曲がり/ねじれ(bent/torque)構造を取り、全体として左巻き配列を取りながらアミロースに内包された発色ヨウ素種I<sub>3</sub><sup>-</sup> dimer (I<sub>6</sub><sup>2-</sup>) およびI<sub>3</sub><sup>-</sup>・I<sub>2</sub>(I<sub>5</sub><sup>-</sup>)の励起子間相互作用(exciton-coupling)に起因する」と結論された。

よく知っているヨウ素液の反応がこんなふうになっているんだ

なんだか難しいなあ

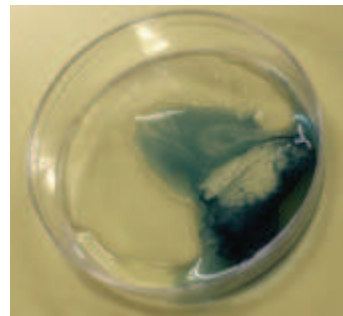
疑問を確かめて謎を解き明かすのが研究なんだね



ご飯粒が用意できなければ、オブラートでの実験も可能



オブラートを切って水を滴下し、うがい薬でヨウ素デンプン反応をみる



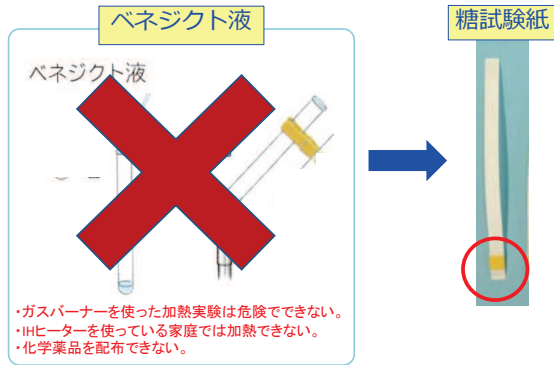
オブラートは青紫色に変化



ボンタンアメにも使われている。

オブラートを知っている生徒は少ないのではないかと思っていたが、オブラートは2/3の生徒は知っていた。ボンタンアメを見せると、益々「あ〜、これね」という声が挙がった。

## 糖を検出する方法



糖の検出にベネジクト液を配布するのは断念した。IHヒーター使用の家庭も一定数いること、薬品の配布は問題があること等の理由。



ペットボトルの蓋1杯分のスポーツドリンクに水を入れて500mlにすると、だいたい100倍希釈になる。



だ液によるデンプンから変化した糖と概ね同じ色に呈色した。

↑ 糖濃度を比色すると 100mg/dL ぐらい



スポーツドリンクの原液の尿糖試験紙の呈色結果は右 (+++)

↑  
糖濃度を比色すると 2000mg/dL ぐらい

スポーツドリンクを飲んでも、尿としてはほとんど検出されないの、エネルギーとして利用されていることも推察できる。

また「糖質0」の飲料でも尿糖試験紙は反応した。

