

## 小学校6年生理科「だ液のはたらき」において ヨウ素デンプン反応を用いず手応えと状態変化の観察 のみによるデンプン消化実験の提案と評価

Proposal and Evaluation of Starch Digestion Experiment with Observation  
of the Change between Starchy to Smooth State under without  
Iodo-Starch Reaction in Science Class of Primary School 6<sup>th</sup> Grader

西野 秀 昭

Hideaki NISHINO

(福岡教育大学・理科教育講座・生物教室)

(平成30年10月1日受付, 平成30年12月3日受理)

### 要 約

小学校6年生理科「だ液のはたらき」で、デンプンの消化の指標として用いられるヨウ素デンプン反応は、だ液中の熱安定性の、主に低分子物質によって阻害されることが知られている。従って、だ液をかけたデンプンでのヨウ素デンプン反応の消失が、デンプンの加水分解によるのか、単にヨウ素デンプン反応が阻害されているのか、実験結果を科学的に正しく評価することができない。そこで、ヨウ素デンプン反応を用いずに、デンプンの消化を、ドロドロ状態からサラサラ状態への変化、すなわち手応えの変化と肉眼での観察結果から結論を導く実験方法が提案されている。この方法を、デンプン消化実験を小学校から高校までの間に既に経験している高校生を対象に、理解度を逐一チェックしながら、高校生を主体として対話的に実験を行ってもらう事を通じて、この実験方法によるデンプン消化の仕組み理解を深めることができるか、効果を検証した。実験が進むにつれて仕組み理解度が低下する傾向が見られたが、絡まったスパゲッティをハサミで切ると混ぜやすくなる概念との一致からデンプンが断片化する事への理解が急速に高まった。この実験方法、デンプンがドロドロからサラサラに変化することの観察は、小学校の先生方にも一定の評価が得られた事から、実験の適切な科学性を保ちながら、理科の目標である、児童に科学的な見方や考え方を養うことに繋がるものと考えられた。

キーワード：ヨウ素デンプン反応, だ液, 熱安定性成分, 消化, ドロドロとサラサラ

### 1 目 的

現在の小学校学習指導要領(文部科学省, 2008)において、小学校6年生理科「B 生命・地球 (1) 人の体のつくりと働き」の学習では、「人や他の動物を観察したり資料を活用したりして、呼吸、消化、排出及び循環の働きを調べ、人や他の動物の体のつくりと働きについての考えをもつことができるようにする」ため、「イ 食べ物は、口、胃、腸などを通る間に消化、吸収され、吸収されなかった物は排出されること。」を学ぶこととされている。そのため、現在の小学校学習指導要領解説理科編(文部科学省, 2008)では、「イ 人や他の動物の消化の働きについて、食べた物はどこを通過してどのように変化し体内に取り入れられているかを調べ、食べた物は口から、食道、胃、小腸、大腸へと移動する間に消化されていくことを捉えるようにする」とある。ここではヨウ素デンプン反応を用いることまでは言及されていないが、現行の理科教科

書ではヨウ素デンプン反応が用いられている(有馬他, 2015)。しかし、2020年度から全面実施の新しい小学校学習指導要領の解説理科編(文部科学省, 2017)では、「消化を調べる活動では、ヨウ素液によるヨウ素デンプン反応などが考えられる。」と、ヨウ素デンプン反応が消化を調べる実験で具体的に取り上げられた。これによって本単元の実験では、だ液によるデンプン消化を調べるのにヨウ素デンプン反応が必ず用いられるものと考えられる。しかし、だ液には、ヨウ素デンプン反応を阻害する、100℃ 5分間の処理でも失活しない熱安定性成分が含まれていることが知られている(西野・瀬戸口, 2012)。この熱安定性成分が存在するため、だ液を100℃ 5分間で処理して消化酵素を失活させてもヨウ素デンプン反応は消失してしまう。従って、消化酵素が働いても働かなくてもだ液を用いる限り、ヨウ素デンプン反応は消失することになる。これはだ液を用いたデンプン消化実験でヨウ素デンプン反



図1 だ液の代わりにα-アミラーゼ粉末

空中浮遊細菌の一種、枯草菌由来であり、学校教育での利用でも危険性はない。



図2 だ液を使わないデンプン消化実験に必要な器具など

応は消化の指標に使えない事を意味している。

そこで、小学校6年生でのだ液によるデンプン消化実験の指標として、本研究では水を加え加熱してドロドロになったデンプンが、消化酵素によってサラサラな状態へ変化する際の手応え変化や目視での観察によって消化の仕組みを理解する実験を工夫した。本研究の実験方法の基本は、既報（西野，2009）の方法を小学校に合わせ、身近な物を用いることで実施し易く工夫したものである。次の学習指導要領では、児童・生徒が「主体的」で「対話的」に「深い学び」を得られるような授業改善が求められていることから、本学オープンキャンパスを訪れた教員志望の高校生を対象に、「主体的・対話的で深い学び」になることを目指し、高校生が実験を進めながら、小学校でも消化の仕組みを理解できるための実験方法を提示し、理解の進行度を測定することで本実験方法の提示の効果を検証した。また、小学校教員の教員免許状更新講習を利用し、だ液中にはヨウ素デンプン反応を阻害する熱安定性の低分子物質が存在するために消化によらずヨウ素デンプン反応が消失すること及び、本研究で提案している実験を提示した後、小学校での実施の可能性について口頭でのアンケート調査を行った。

## 2 方法

**薬品・器具等：**α-アミラーゼ粉末は、和光純薬の生化学用（Cat No.015-26372、枯草菌 *Bacillus subtilis* 由来）を粉末のまま用いた（図1）。ホットプレートは家電量販店で購入できるシンプルなもの、ここでは、電気グリル鍋（YAMAZEN, GN-1200）を用いた。片栗粉（じゃがいもデンプン）、アルミニウム箔おかず入れ（9号）やプラスチックの使い捨てマドラーは、ホームセンター等で購入した（図2）。

ホットプレートを用いたデンプンのドロドロ化と消化酵素を用いたデンプンのサラサラ化：必要に応じて、α-アミラーゼ粉末の代わりに、デンプンにだ液を加える場合には、図2のスプイトの代わりにストローも使える。ストローは、だ液に先端を浸し、もう一方の上



図3 ドロドロデンプンとサラサラデンプンを乾燥させ水を蒸発させたもの

左がドロドロデンプン、右がサラサラデンプン。マドラーにも多少くっついているので、アルミニウム箔おかず入れごと重さを測った。

端を指で塞いでデンプン上で上端の指を離すか、ストローの横をつぶすようにつまむと滴下できる。混ぜることは必須である。だ液を使う場合は、対照実験にも同量の水を滴下して同じ程度混ぜる。ホットプレートは「保温」ランプが点灯している状態で使う。アルミニウム箔おかず入れは使い捨てだが、マドラーは使用後に洗って再利用する。片栗粉（じゃがいもデンプン）2.0 gに水道水8.0 mL（8.0 g）を加え、ホットプレート「保温」のランプが点っている状態で、マドラーで混ぜると比較的すぐにドロドロになる。ドロドロになったらホットプレートから実験台へ降ろす。これはこの後の消化酵素の反応に適した温度まで下げる意味もある。予め枯草菌のα-アミラーゼ粉末0.1 g（小さいスパテル1杯ほど）を加え、マドラーで混ぜていると、直ぐにサラサラの液体状態へ移行する。このα-アミラーゼの量は、劇的に状態変化させるための量を用いているので、反応がゆっくりでも良い場合は用いる量を減らすことも可能である。

また、サラサラになったのはデンプンが水が変わったから、と考える高校生への対応に備えて、ドロドロデンプンとサラサラデンプンを保温して十分に乾燥させたものを用意した（図3）。もしドロドロデンプン

オープンキャンパス 2017 中等理科@生物学第 2 実験室

呈色反応・発色反応に頼らないデンプン消化実験に対する高校生の理解度調査票（最終版）

記入者： \_\_\_\_\_ 講師： \_\_\_\_\_

記録時刻： \_\_\_\_\_ 時 \_\_\_\_\_ 分

注意①：実施の基準は高校生 2 名以上 5 名以内ほど。状況で 1 名でも可、5 名以上でも可。  
注意②：（ / ）は例えば高校生 5 名中 5 名が理解していたら 5/5、5 名中 2 名が理解していたら 2/5 と記入。  
実験操作等で一部の高校生が講師の指名で代表して行った場合は、行った 2 人中 1 人出来たら 1/2 と記入。

■講師：呈色や発色の反応に頼らず、「唾液によるデンプンの消化」ではデンプンはどのような状態になるのか生徒が理解するための実験を行います。皆さんは先生のもりでも考えて下さい。

①高校生（ / ）：講師の指名でデンプン 2 g をアルミおかず入れに量り取ってもらう。2 つ。  
②高校生（ / ）：講師の指名で 8 mL の蒸留水をメートルグラスで量り取って天秤上のデンプンに加えてもらう。2 つとも水と合わせて 10 g になるように水をスポイトで加えて微調整する。

■講師：この間、ホットプレートを保温にしておく（ドロドロにする際にダイヤルをちょっと回して保温ランプを点灯させるとドロドロになり易い）。

□高校生：講師の指名で 2 つとも各々、マドラーで混ぜてもらう。サラサラを確認。  
□高校生：講師の指名でアルミおかず入れごとデンプンをホットプレートに乗せてもらう。軽くしか混ぜない。ドロドロになったらホットプレートから降ろしてもらう。

■講師：枯草菌  $\alpha$ -アミラーゼの説明をする（唾液の代用。どこにでもいる空中浮遊細菌。唾液のアミラーゼと同じはたらき。はたらきの具体は言わない。）。

③高校生（ / ）：講師の指名でアルミおかず入れの一方に、 $\alpha$ -アミラーゼを耳かき半分ほど入れてマドラーで混ぜてもらう。十分にサラサラになるまで混ぜる。対照も一応混ぜる（ドロドロのまま）。

■講師：高校生へ課題を出す。この結果を受けて「サラサラの方には水ができて重くなった」という考察をした生徒がいました。このことを検証する実験はどうすれば良いでしょうか？

④高校生（ / ）：電子天秤でドロドロとサラサラの重さを量って比べる、という意見を出させるように誘導する。「では計ってみましょう。」結果、ドロドロと同じ（理解している高校生の数を記録）。

■講師：重くなっていなければ、「デンプンが水に変わった」という生徒がいました。このことを検証するにはどのような実験をすれば良いでしょうか？

⑤高校生（ / ）：水に変わったのなら水を蒸発させればサラサラの方はドロドロより軽くなるはず、という意見を出させるよう誘導する（この見解を理解している高校生の数を記録）。  
結果、同じように水を蒸発させた、予め乾燥していたドロドロとサラサラを天秤で量る。同じ重さ。

■講師：ではデンプンに対して  $\alpha$ -アミラーゼはどのように動いたのでしょうか？問う。

⑥高校生（ / ）：「糖に変えた」という教科書的回答には「では糖とは具体的にどのようなもののでしょうか（グルコース数個からなるオリゴ糖～単糖であることに気付かせる）」「ではどのようにしてそのような糖に変えたのでしょうか？」  
この段階で  $\alpha$ -アミラーゼのはたらきをハサミに例える（グルコシド結合の加水分解）ことができれば、その見解を納得している高校生の数を記録。→意見が出なければ、次のスパゲッティ絵。

⑦高校生（ / ）：絵で示す：スパゲッティが長いままでは混ぜにくい。スパゲッティをハサミで切ると？混ぜやすくなると予想させ、ドロドロとサラサラを結びつかせる（結びついている高校生の数を記録）。

⑧高校生（ / ）：以上からデンプンに対する  $\alpha$ -アミラーゼの動きをハサミに例えて（グルコシド結合の加水分解）考えることが出来る（考えることができた高校生の数を記録）。

以上

図 4 呈色反応・発色反応に頼らないデンプン消化実験に対する高校生の理解度調査票

が水に変わったとしたら、乾燥後はサラサラデンプンの方が軽くなることを高校生に予想させて、両者の重さを測った。結果は、アルミニウム箔おかず入れとマドラーを含めて、いずれも 2.9 g ～ 3.0 g になり、デンプンが水に変わったという仮説は棄却される。

**本実験の高校生への提示と効果及び小学校教師による評価：**平成 29 年度福岡教育大学オープンキャンパスで本研究の企画「中等教育教員養成課程・理科専攻・体験授業・「身近なものを使った生物分野の観察・実験の工夫」呈色・発色反応を使わずに唾液によるデンプン消化のしくみを学ぶ観察・実験」に参加した高校生を対象とした。講師は福岡教育大学の教師を目指す

2 年生・3 年生計 5 名の大学生が各々の実験ブースを作って担当した。講師役の大学生には、受講する高校生（1 名～5 名ほどの単位）を主体にした、対話的に必要な実験を提示しながら高校生の考えが深まっているか、調査票（図 4）に従って進行させながら参加高校生数と理解している高校生数を記録させた。高校生の理解の補助として、高校生へ提示した、講師役の大学生に利用させた手持ちの図を図 5 に示す。

小学校教師による評価は、平成 29 年度及び平成 30 年度に教員免許状更新講習（理科・生命、選択）を受講した小学校教員等 23 名に本実験を提示し、口頭で評価を頂いた。

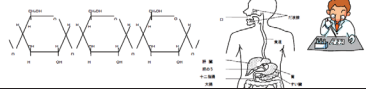
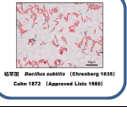



<p>「身近なものを使った生物分野の観察・実験の工夫」</p> <p><b>呈色・発色反応を使わずに 唾液によるデンプン消化の しくみを学ぶ観察・実験</b></p> 	<p><b>【実験】</b></p> <p>唾液の代わりに <b><math>\alpha</math>-アミラーゼ（枯草菌由来） の粉末を使用。</b></p> 
<p><b>【何が問題か？】</b></p> <p>中学校の生徒によっては、 ヨウ素デンプン反応や ベネジクト反応では 消化のしくみを理解できない。</p> 	<p><b>【ある生徒の考え（1）】</b></p> <p><math>\alpha</math>-アミラーゼを入れた方に <b>「水」ができた（重くなった）。</b></p> <p>どのような実験をすれば <b>「検証」</b>できるだろうか？</p>
<p><b>【解決の提案】</b></p> <p>デンプンをドロドロにして 唾液をかけ、状態の変化 を「肉眼」と「手応え」で 観察する。</p> 	<p><b>【ある生徒の考え（2）】</b></p> <p><math>\alpha</math>-アミラーゼを入れた方の <b>デンプンが「水」に変化した。</b></p> <p>どのような実験をすれば <b>「検証」</b>できるだろうか？</p>
<p><b>【準備】</b></p> <p>デンプン 2g/アルミおかず入れ 水 8mL/メートルグラス マドラーで攪拌《サラサラ》 ホットプレートで保温〔ドロドロ〕</p>	<p>デンプン消化のしくみ 考えの転移</p>  <p>スパゲッティ は何に相当？</p> <p>ハサミは 何に相当？</p>

図5 高校生へ提示した手持ちの図

### 3 結果と考察

高校生への本研究の実験の提示は、福岡教育大学の2年生及び3年生の大学生5名が講師役として担当した。高校生1～5名のグループ毎に得られた調査票の結果をまとめたものを図6に示す。調査項目④～⑥の段階で、徐々に理解が進みにくくなっている。小学校で実験を経験済みのはずであるが、高校生であっても、デンプンの消化反応で何が起きているのか、自分の言葉で語るができないものが40%いることがわかる。これは、それまでに消化という現象をイメージしてこなかった事、及び自分で考えてイメージを構築して、そのイメージを自分の言葉で語ってこなかった事に起因しているのではないかと考えられる。次の新しい高校での学習指導要領の考え方で、改訂の方向

性の説明スライドの中に、「高校教育については、些末な事実的知識の暗記が大学入学者選抜で問われることが課題になっており、…」という記述がある（文部科学省HP）。これは、小学校、中学校までの理科の学習では仮説検証の過程が導入されていたが、高校では理科でも事実の暗記に終始している事への警鐘でもある。しかし、この度の高校生への調査では、消化のイメージを転移可能と考えられるスパゲッティをハサミで切る絵を提示した⑦以降、自分の言葉で回答でき、考えを述べることができるように理解が回復している（図6、⑦以降）。これは現象の仕組み理解には、具体的な物質の変化のイメージが大切であることを意味している。言葉のような抽象的な理解では無く、明確な具象によるイメージを構成させることが、より深い学

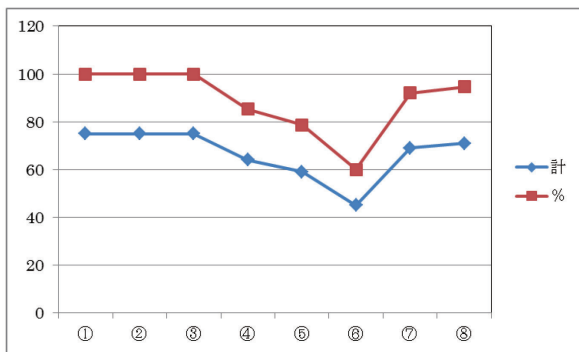


図6 呈色反応・発色反応に頼らないデンプン消化実験に対する高校生の理解度調査まとめ

青線が参加した高校生の実数(計75名)、赤線が理解した(深い学びになった)高校生の数の%である(縦軸)。丸数字は、調査票(図4)の丸数字に該当する。

習に役立つものと考えられる。

だ液によるデンプン消化実験で、ヨウ素デンプン反応を使う事の科学的な問題(図7)を説明した後、同じ観察・実験を小学校教師へ提示したところ、ほぼ全員から一定の評価を頂いた。このことから、小学校理科授業への導入も可能と考えられる。

#### 4 まとめ

次期小学校学習指導要領解説理科編では、だ液によるデンプンの消化の指標にヨウ素デンプン反応が明記された。しかしだ液にはヨウ素デンプン反応を阻害する熱安定性の低分子物質が含まれていることから、消化以外の現象を誤って消化としてしまい、科学として成り立たない危険性がある。そこでドロドロからサラサラにデンプンが状態変化する事を手応えで実感し目視で観察することで、学習者が主体になり、対話によって深い理解へ至ることができる観察・実験を提示した。高校生での試行では実験が進むにつれて理解が低下していたが、消化の具体的なイメージを、身の周りの現象から転移させることで、自分の言葉で説明ができ、より深い理解へつながることが分かった。この観察・実験は小学校の先生方にも評価されたことから、小学校の観察・実験にも活用できると考えられた。

#### 附 記

福岡県で採択されている理科教科書や学習指導要領解説理科編では、澱粉は「でんぷん」と表記されている。しかし、本研究ではカタカナで「デンプン」と表記した。本来は澱粉の平仮名読みにするべきであるが、カタカナの方が文章中で見分けやすい事からカタカナで表記した。

本研究は、科学研究費助成事業(学術研究助成基金助成金)(基盤研究(C))「次期改訂理科教科書の生命生物観察実験の再現性と科学性に視する根拠データ

**だ液によるデンプン消化実験を科学的に検証すると…**

1. 対照実験：ヨウ素液をかけただけ(発色)
2. 水を加えたもの(デンプンは消化されず発色)
3. だ液を加えたもの(デンプンは消化され無色)
4. 湯煎\*だ液を加えたもの(デンプンは消化されず発色?)

※デンプンを消化できない(アミラーゼの熱変性による失活の為)それは、ベネジクト反応が陰性であることから確認され得る。

**結論：だ液中の、熱安定成分がヨウ素デンプン反応を阻害している為、この実験では、だ液によるデンプンの消化を判断できない。**

参考文献：西野&瀬戸口：ヨウ素デンプン反応を消失させる唾液中の熱安定性活性を意識した中学校理科「生命を維持するはたらき」におけるデンプン消化実験の提案,科学教育研,36(2),241-247,2012

図7 だ液によるデンプン消化実験を科学的に検証すると…

小学校教師の教員免許状更新講習(理科・生命、選択)で提示した説明図。

ベース構築」課題番号16K01021)の交付を受けて行えた成果である。

また、講師役及びデータ収集へ協力してくれた福岡教育大学の学生の皆さん、オープンキャンパスで体験授業に参加してデータ収集へ協力してくれた高校生の皆さんに感謝申し上げます。

#### 参考文献

- ・ 有馬朗人他, 新版 たのしい理科6年, 2015, 大日本図書, 44-46, 日本
- ・ 文部科学省, 小学校学習指導要領 平成20年3月告示 第2章第4節 理科 第6学年, 東京書籍, 2008, 67-71, 日本
- ・ 文部科学省, 小学校学習指導要領解説 理科編, 60-62, 大日本図書, 2008
- ・ 文部科学省, 小学校学習指導要領解説 理科編 平成29年7月, 東洋館出版社, 2018, 86, 日本
- ・ 文部科学省HP, 新しい学習指導要領の考え方 - 中央教育審議会における議論から改訂そして実施へ - 学習指導要領改訂の方向性「何を学ぶか」の欄外※, 日本  
[http://www.mext.go.jp/a\\_menu/shotou/new-cs/\\_icsFiles/afieldfile/2017/09/28/1396716\\_1.pdf](http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/_icsFiles/afieldfile/2017/09/28/1396716_1.pdf) (平成30年10月1日アクセス)
- ・ 西野秀昭, 身近なものを使った消化のしくみを学

ぶ実験の工夫 - 味覚に体感や視覚で学ぶ -, 科  
教研報, Vol. 24, No.2, 2009, 133-136

- ・ 西野秀昭・瀬戸口真司, ヨウ素デンプン反応を消  
失させる唾液中の熱安定性活性を意識した中学校

理科「生命を維持するはたらき」におけるデンプ  
ン消化実験の提案, 科学教育研究, Vol. 36, No. 2,  
241-247, 2012