

## 中学校におけるデンプンの消化に関する実験教材の開発 －生徒による問題解決型学習を想定して－

### Development of Experimental Teaching Materials for Starch Digestion in Junior High School : For Project - Based Learning by Students

笠原 恵\* 木村 伊吹\*\* 雨宮 久仁\*\*\* 向陽 康人\*\*\*\*  
KASAHARA Megumi KIMURA Ibuki AMEMIYA Kuni HINATA Yasuhito

消化の内容は、小学校第6学年「人の体のつくりと働き」、中学校第2学年「動物の体のつくりと働き」で学習する。中学校第2学年の教科書では、唾液によりデンプンが分解されて麦芽糖などになる実験が記載されている。この実験では、体温を想定した約40℃での保温を5～10分間行うようになっている。しかし、日常生活において、常に体温程度の食物を食べているわけでもなく、5～10分間も口の中に入れたままの状態というのは考えにくい。この点について生徒に疑問を持たせることで、生徒の問題解決型学習を実践した。その結果、実践した問題解決型学習は生徒の積極性を引き出し、探究心を育む点で有意義な効果を示した。しかし一方で、デンプンの材料として用いたわらび餅の準備や後片付け、実験の再現性などに課題が残った。そこで、教育実践の検証を行い、唾液が口の中で働く条件を生徒に考えさせるための新たな問題解決型学習用実験教材の開発を行った。

材料としては、最も日常的に摂取している米飯を用いた。唾液に関しては、生徒が唾液を出すのを嫌うことと、複数回の実験が可能のように、 $\alpha$ -アミラーゼを購入し、中学生の唾液中のアミラーゼ濃度になるように水で希釈したものを使用した。また、反応が体温で行われることを踏まえ、チャック付きビニール袋を使用し、37℃で温めた。糖度の測定は、糖度計を使用し、実際の授業で使用予定の尿糖検査紙の利用も検証した。そして、生徒が行うであろう実験を想定し、米飯の温度条件、反応時間、アミラーゼ濃度、口の中での咀嚼を考えて米飯を潰すことなど様々な条件を変えて実験を行った。米飯2gと $\alpha$ -アミラーゼ溶液2mlの条件は変えず、他の条件を変えて反応を検証した。

米粒の大きさを変える実験では、米粒のままの状態のものと、米粒を潰した状態のものを比較した。その結果、30秒間でも差が確認できた。このことから咀嚼の必要性を理解させることができる。今回の実験方法の提案により、教員が比較的容易な準備で、生徒の問題解決型学習を促し、嘔まずに飲み込むことや冷たいものを多量に摂取することが消化に悪いことを実感させることができると思われる。

キーワード：デンプン、消化、教材開発、中学校、問題解決型学習

Key words : starch, digestion, teaching material development, junior high school, project-based learning

#### I はじめに

動物の消化の内容は、動物の生命活動を維持するために体のつくりとともに理解させることがねらいであり、小学校第6学年「人の体のつくりと働き」、中学校第2学年「動物の体のつくりと働き」で学習する（文部科学省 2018）。学習指導要領解説理科編（文部科学省 2018）によると、消化系については、アミラーゼ、ペプシンなどの代表的な消化酵素について扱うこととされており、また、例として、酵素の働きを確かめる方法を立案して実験させることが挙げられている。このことは生徒の主体性を意識した授業の取り組みが必要であることを示唆している。

これまで、兵庫教育大学附属中学校の理科指導においては、問題解決型学習に積極的に取り組んできた。附属中が考える問題解決型学習の在り方とは、① テーマは

教師から出す、② 教師は生徒へテーマ解決の実験方法を提示しない、③ 理科室の道具は全て使用可能であるので考えた実験は何でもしてよい、④ 他の班からヒントを得るために教室を動き回ってよい、⑤ 実験は数時間続け PDCA サイクルを意識する、の5点であり、教員も実践を行なうことにより、その有意義性を実感している。

中学校第2学年の各教科書では、唾液によりデンプンが分解されて麦芽糖などになる実験が記載されている。各教科書に記載されている実験条件についてまとめたものが表1である。これらの実験では、デンプン溶液を使い、体温を想定した約40℃での保温を5～10分間行うようになっている。しかし、日常生活において、糖質をデンプン溶液として口に入れることはほとんどなく、常に体温程度の食物を食べているわけでもなく、5

\*兵庫教育大学大学院教育実践高度化専攻理数系教科マネジメントコース 教授

令和2年7月3日受理

\*\*兵庫教育大学学校教育学部（学校教育教員養成課程）教科・領域教育専修自然系コース

\*\*\*兵庫教育大学附属中学校 教諭

\*\*\*\*兵庫教育大学大学院（専門職学位課程）教育実践高度化専攻理数系教科マネジメントコース

表1 各教科書における「唾液のはたらき」の実験条件

教科書	啓林館	東京書籍	学校図書	大日本図書	教育出版
材料	デンプンのり (加熱して水にと かす)	デンプン (加熱して水にと かす)	デンプンのり	デンプン溶液	デンプン液 (加熱して水にと かす)
濃度	1%	0.34%	0.5%	0.5%	1%
保温方法	40°Cの湯	40°Cの湯	手で握る	36°Cの水	35-40°Cの湯
保温時間	5-10分	5-10分	10分間	10分間	10分間

～10分間も口の中に入れてままの状態というのは考えにくい。この点について生徒に疑問を持たせることで、生徒の問題解決型学習を促したい。そこで、本研究では、生徒に唾液が口の中で働く条件を考えさせるための問題解決型学習を想定した実験教材の開発を行った。

## II 実験方法

### 1 問題解決型学習を取り入れた授業実践

#### (1) デンプンとして用いた材料

消化の様子がわかりやすいようにわらび餅（固体）を作製した。片栗粉10gに対して水15mlを混ぜ、500W電子レンジで20秒から40秒加熱したものを使用した。この割合で作製したわらび餅は、適度な柔らかさで透明である。なお、放置すると次第に固く白くなるため作り置きには適していないため、授業の開始前に作製した。

#### (2) 唾液として用いた溶液

生徒が自らの唾液を使用して実験することに関しては前向きではないこと、複数回試行する実験に自らの唾液を用い続けるのが難しいこと、各班の唾液濃度差を無くすため、 $\alpha$ -アミラーゼ(270units(U)/mg)（富士フィルム和光純薬）を、人体の濃度まで水で薄めたものを使用した。児童の唾液のアミラーゼ濃度を30U/mlとして本実験に用いた（村上ら 2009）。

#### (3) 糖の検出に用いた材料

糖の検出には尿糖検査紙（新ウリエース Ga,TERUMO）を用いた。ベネジクト液やガスパーナーを使用できない小学校ではよく用いられている糖の検出方法である。今回の実験方法は、複数回試行錯誤を繰り返すため、ベネジクト液の加熱を用いた検出よりも尿糖検査紙を用いる方が適していると考え採用した。

#### (4) 授業実践

2019年10月下旬から11月初旬にかけて兵庫教育大学附属中学校2年生3クラス97名で授業実践を行った。1クラスの実験は8班で行った。前時の実験として、唾液がデンプンに対して体温程度の温度、5から10分間で糖に分解することを確認している。しかし、日常生活において体温程度の食べ物をいつも食べているわけでもないし、5分間も噛むことは無い。この点を問題ととらえ、「唾液が働く条件」について問題解決型学習を実践した。この際、「短時間で実は反応している」、「熱いものを食べても口内の温度はそこまで高くない」、「熱いと思っている食べ物は実は体温くらいである」といった様々な仮説が生徒たちに生まれ、仮説を実証していく実験活動になるように努めた。また、対

照実験を行う事で結果が絞り込めていくということを生徒が意識できるように促した。

### (5) 問題解決学習に関する生徒へのアンケート調査

理科授業の中で1年間を通して実施した問題解決型学習に関するアンケート調査を、2020年3月から5月（コロナによる休校期間）にかけて、Microsoft Formsを利用して行った（資料）。その際に成績には関係ないこと、発表用資料として活用することを示した。対象は、97名でアンケートの回収率は26%であった。

## 2 授業実践後の教材開発

### (1) アミラーゼ濃度

学校生活においてアミラーゼ濃度は一定ではなく、性別やストレスの有無により変化することが知られている（村上ら 2009）。そこで、本実験では実際にとりうる範囲のアミラーゼ濃度で検証を行った。 $\alpha$ -アミラーゼ(270U/mg)（富士フィルム和光純薬）を水で溶かし、30,50,70U/mlに調整したものを2ml使用した。米飯2gをチャック付きビニール袋に入れ、その中にアミラーゼ2mlを加え、米とアミラーゼがよく混ざるように揉みながら40°Cのウォーターバスで15秒、30秒、1分間保温



① 米2g測りとりチャック付き袋に入れる。



② 米が入った袋にアミラーゼ2mlを投入。



③ ウォーターバスに袋ごとにつけ、米とアミラーゼがよく混ざるように揉みながら時間を計測した。



④ それぞれの時間測定後に袋の端をハサミで切り、糖度計または試験紙で数値を測った。

図1 実験方法

表2 各種実験条件

条件	検出内容	実験条件
アミラーゼの濃度	30, 50, 70(U/ml)	米2g, アミラーゼ2ml, 糖度計, ウォーターバス40°C
米の温度	炊き立て, 冷ごはん	米2g, アミラーゼ50U/mlを2ml, 糖度計, ウォーターバス40°C
米の形	米粒, つぶした米	米2g, アミラーゼ50U/mlを2ml, 糖度計, ウォーターバス40°C
冷凍ご飯	解凍した米でも検出されるかどうか	米2g, アミラーゼ50U/mlを2ml, 糖度計, ウォーターバス40°C
尿糖試験紙	検知されるかどうか	米2g, アミラーゼ70U/mlを2ml, 糖度計, ウォーターバス40°C

し、それぞれの糖度 (Brix (%)) を糖度計 (PAL ポケット糖度・濃度計, ATAGO) で測定した (図1)。

(2) 米の温度

わらび餅よりもっと日常的なデンプンとして米飯に着目した。米飯は、生徒にとって馴染みのあるもので毎日のように口に入れているため、デンプンを口に入れたときの想像がしやすい。その際、炊き立てのもの、冷やご飯で違いがあるのかどうか、前述の方法で検証した。アミラーゼ溶液は 50U/ml の濃度のものを使用した。

(3) 米の形

口の中では、咀嚼が行われる。そのことを想定して、米粒そのままのものと潰した米で検証した。アミラーゼ溶液は 50U/ml の濃度のものを使用した。

(4) 冷凍ご飯の活用

実験ごとに米飯を炊くのは、教員にとって準備時間がかかる。そこで炊いた米を冷凍保存しておき、実験の際に電子レンジで解凍したものが使えるのではないかと考え、冷凍ご飯使用の検証を行った。アミラーゼ溶液は 50U/ml の濃度のものを使用した。

(5) 尿糖試験紙の活用

上記の検証は、定量的な検証が必要であったため糖度計を使用した。実際の教育現場では糖度計を各班に配って実験を行うことは予算の問題から難しい。そこで、主にグルコースを検出する尿糖試験紙で代用ができないか検証した。アミラーゼ溶液は 70U/ml の濃度のものを使用した。

(1) ~ (5) の実験条件を表2に示す。また、すべての実験は3回の繰り返し実験を行った。

III 結果および考察

1 授業実践で得られた成果と問題点

「唾液が働く条件を調べよう」というテーマで問題解決型学習を実践した。教員から生徒へテーマ解決のための実験方法を提示しないこと、理科室の道具は全て使用可能であること、他の班からヒントを得るために教室を

動き回ってよいことなど、これまでの取り組みと同じ方法で実験が行われた。その結果、図2に示すように、班ごとに異なる実験が行われ、様々な観点から結果が得られたことがわかる。「唾液の働きには温度が関係している」、「時間が大切だ」、「唾液は必ず必要だ」、「唾液の量は多いほど糖が多くなる」、「かき混ぜたほうが良い」など、口の中での反応が想定可能な実験結果を得ることができたと思われる。

問題解決学習に関する生徒のアンケートからは、「同じテーマの実験を繰り返し行う事は、大変良い・良い」という意見が大多数を占めた。また、良いと答えた理由は、「楽しかった」、「自分の考えた実験に自由に挑戦できた」、「従来の実験より「なぜ」と考えることができた」、「教科書にも答えが無いことを調べることができた」という意見が多かった。このことから生徒たちは、問題解決型学習を楽しみながら行い、充実感を得ていると思われる。さらに、「理科力が伸びたと思うか」という質問に対して、75%が伸びたと思うと回答していることから、今回行った問題解決型学習は、生徒の理科力の向上にも貢献すると考えられる。

その他、問題解決型学習を振り返った意見として、「各自が課題を見つけて、実験方法から考えて実験に取り組むことは、時間がかかるというデメリットもあるが、じっくり考えて探究できるので、実験の数は少なくとも是非やって欲しい」、「最初は何をどうすれば良いかわからなかったが、物事の本質を理解しようと自分から積極的に取り組めるようになり、理科に対する苦手意識がなくなった」等が得られた。このことは、問題解決型学習の継続的な取り組みの必要性と、生徒の積極性を引き出し、探究心を育む点で有意義な効果を示していると考えられる。

問題点をあげるとすると、実験においては、わらび餅を準備することに少し手間がかかること、そのわらび餅を均等に分割することが難しいこと、実験後のピーカー等の洗浄に手間がかかること等がある。また、問題解決

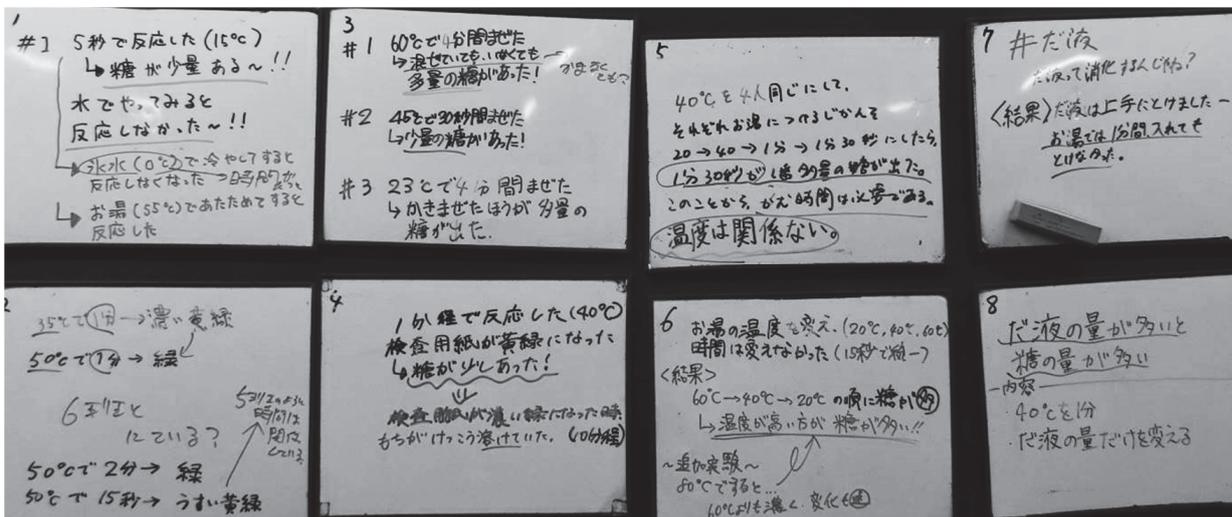


図2 授業実践で得られた生徒の実験結果

型学習で導き出された結果が全て正しいとは限らず、教員がその結果を再試験を含めて検証させていくことが必要となり、教員の技量が必要になるため、教員の資質・能力に依存することになる。

## 2 消化の実験に関する問題解決型学習を想定した教材開発

1の授業実践での問題点を踏まえて、さらに使いやすい実験教材を検討した。まず、わらび餅にかえて米飯を使うことを考えた。米飯は、生徒にとって最も身近なデンプンであり、口の中に入れて噛んだときに甘くなることを経験している可能性がある。米飯なら、粒状なので計量しやすく、実験に使用する量を一定に揃えることも容易である。次に米飯の量とアミラーゼの量は以下のように見積もった。箸で取った米飯の量が一口当たり約10g、1日に出る唾液量が1.5ℓと推定し（厚生労働省 e-ヘルスネット）、1食あたり500mlと考えた。また、1食あたり約50口と仮定し、1口あたり10mlの唾液が出ているとした。米とアミラーゼを1対1で反応させ扱いやすい量にするため2gと2mlに設定した。また、実験で使用する容器はビーカーや試験管ではなく、後片付けがしやすいようにチャック付きビニール袋を採用した。

アミラーゼ濃度に関しては、濃度が高いほど糖が検出されており、15秒という短時間でも検出されることがわかった（図3）。米飯の温度に関しては、冷ご飯では15秒では糖が検出されず、1分経過した後の結果でも、炊き立てのご飯での15秒の結果とあまり変わらなかった。炊き立てのご飯を使用した場合、反応時間の経過とともに糖が多く検出された（図4）。図3と図4より、

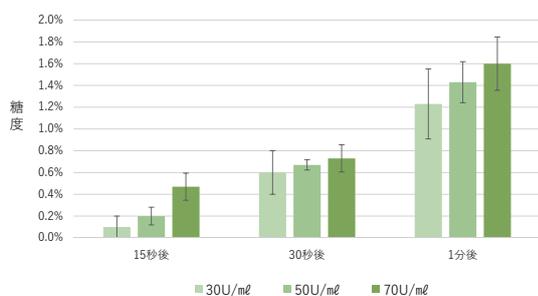


図3 アミラーゼ濃度の検討結果  
バーは、標準偏差を示す。

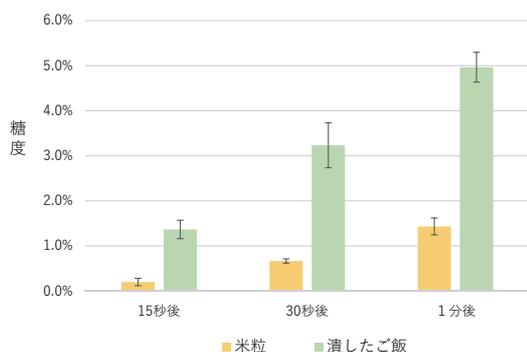


図5 米飯形状の検討結果  
バーは、標準偏差を示す。

温度が高い米飯を使用した方が糖が検出されやすいことがわかる。このことより、冷たい食物が消化に悪いということ生徒に考えさせることができる。米飯の形状に関しては、米粒そのままより潰した方が3倍以上の糖の検出が見られた（図5）。これは、アミラーゼが働く米の表面積が広がったためだと考えられる。また、このことは、口の中の咀嚼の意義へとつながる結果であると考えられる。さらに、小腸での栄養分の吸収の際に小腸の表面積を増やすところへもつながる可能性がある。

教員の準備時間の短縮のために、冷凍ご飯を使えないか検証した。炊いたご飯と冷凍ご飯を電子レンジで温めた米飯でも、糖の検出に大きな差はなかった（図6）。そのため、一度にご飯を炊いておいて、冷凍させておいたものを授業まえに温めて使用することができる。

次に今回の検証実験には糖度計を使用した。実際の教育現場では費用の面から難しいと思われる。そこで、尿糖試験紙を利用して検出できないかどうか検討を行った。尿糖試験紙はブドウ糖を検知するもので、デンプンがアミラーゼで分解されてできる少しのブドウ糖を検出する。尿糖試験紙を使うことができれば、問題解決型学習に必要な繰り返し実験が容易に可能になる。アミラーゼ濃度を高くし、反応時間を1分にすれば目視で確認できる色になった（図7）。尿糖試験紙の感度は、糖度約2%以上で検出できると思われる。

以上のことから、問題解決型学習で使用する材料として米飯2gを使用し、70U/ml濃度のアミラーゼを2ml使う。そして、チャック付きビニール袋に入れ、約40℃で保温し、15秒後と1分後にできた糖を尿糖試験紙で検出させることを推奨したい。

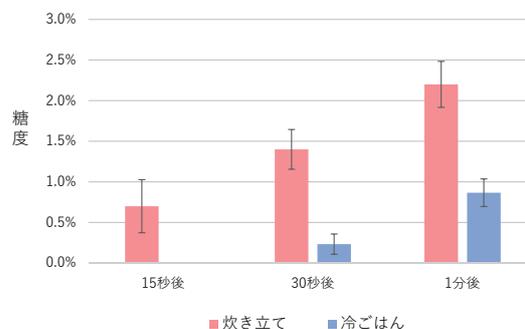


図4 米飯温度の検討結果  
バーは、標準偏差を示す。

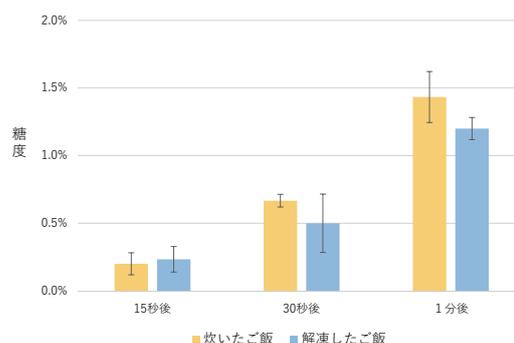


図6 冷凍米飯の検討結果  
バーは、標準偏差を示す。

●糖度計で測定したとき

反応時間 実験回	15秒後	30秒後	1分後
1回目	0.8%	1.4%	2.2%
2回目	0.8%	1.0%	1.8%
3回目	0.5%	1.6%	2.5%
平均	0.7%	1.3%	2.2%

●尿糖試験紙で測定したとき（左が元の色 右が反応後）



図7 尿糖試験紙の検討結果

今後の課題として、温度の保ち方、つまり約40℃をどのように保つかを工夫する必要がある。チャック付きビニール袋に入れ、体温で温める（首に当てる、脇に挟む）ことができないか検証の余地がある。また、尿糖試験紙を使用した場合、試験紙につけてから30秒後に色を判定する必要がある、色を比べる場合、班で二つの条件を同時に行う必要があるため、その方法について検討する必要がある。尿糖試験紙はブドウ糖を測定するため、反応の差を見ることはできるが検出感度が良いとは言えない。そこで、市販品ではないが麦芽糖試験紙(<http://www.t-bunkyo.jp/seika/bakuga.html>)を使い検証を試みる必要がある。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、アンケート調査にご協力いただいた兵庫教育大学附属中学校の生徒の皆さんに厚くお礼申し上げます。

引用文献

有馬朗人 他 62 名 (2016) 新版 理科の世界 3. 大日本図書. 平成 27 年検定.

岡村定矩 他 50 名 (2016) 新編 新しい科学 3. 東京書籍. 平成 27 年検定.

細矢治夫 他 29 名 (2016) 自然の探究 中学校理科 3. 教育出版. 平成 27 年検定.

厚生労働省 e-ヘルスネット. <https://www.e-healthnet.mhlw.go.jp/information/dictionary/alcohol/ya-004.html> (アクセス 2020.6.30)

文部科学省 (2018) 小学校学習指導要領 (平成 29 年告示). 東洋館出版社.

文部科学省 (2018) 小学校学習指導要領 (平成 29 年告示) 解説 理科編. 東洋館出版社.

文部科学省 (2018) 中学校学習指導要領 (平成 29 年告示). 東山書房.

文部科学省 (2018) 中学校学習指導要領 (平成 29 年告示) 解説 理科編. 学校図書.

村上満, 田原祐助, 竹田一則, 山口昌樹 (2009) 唾液アミラーゼ活性は中学生の心身ストレスの指標になり得るか. 生態医工学 47 (2) :166-171.

霜田光一 他 30 名 (2016) 中学校 科学 3. 学校図書. 平成 27 年検定.

鈴木隆 麦芽糖試験紙. <http://www.t-bunkyo.jp/seika/bakuga.html> (アクセス 2020.6.30)

塚田捷 他 61 名 (2016) 未来へ広がるサイエンス 3. 啓林館. 平成 27 年検定.

## 資料

## 令和元年度理科授業アンケート

2年生の頃の授業を思い出してください。(〇〇先生が懐かしいですね・・・)  
アンケート結果は、発表用の資料として活用させていただきます。

1. 同じテーマの実験を繰り返し行いました。このような実験方法についてどう思いましたか？  
(だ液の働く温度を調べる実験など)

- 大変良い  
 良い  
 悪い

2. 1で良いと答えた理由を教えてください。(複数回答可) (その他は記述可能)  
(悪いと答えた場合は質問3へ)

- 自分の考えた実験に対して自由に挑戦できるから  
 従来の実験より「なぜ」と考えることが多かったから  
 教科書に答えが書いていないことを調べることができるから  
 その他

3. 1で悪いと答えた人は理由を教えてください。

回答を入力してください

4. 1年間で理科力が伸びたと思いますか？

- そう思う  
 そう思わない

5. 4のように 答えた理由を教えてください。

回答を入力してください

6. アンケートは終わりです。ご協力ありがとうございました。  
2年時を振り返って何か思うことがあれば記入をお願いします。

回答を入力してください