HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	市販の消化薬がもつ中学校向け理科教材としての価値に着目したタンパク質及び脂肪の消化実験教材の開発とその評価
Author(s)	吉田, 安規良
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(教育学)
Dissertation Number	乙第6954号
Issue Date	2015-03-25
DOI	https://doi.org/10.14943/doctoral.r6954
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/59193
Type	doctoral thesis
File Information	Akira_Yoshida.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

市販の消化薬がもつ中学校向け理科教材としての価値に着目したタンパク質及び脂肪の消化実験教材の開発とその評価

吉　田　安規良

2015 年 3 月

市販の消化薬がもつ中学校向け理科教材としての価値に着目したタンパク質及び脂肪の消化実験教材の開発とその評価[*]

Development and Evaluation of Junior High School Experiment Materials to Teach Protein and Lipid Digestion Using Inexpensive Digestive Medicines

吉　田　安規良[**]

YOSHIDA Akira

2015 年 3 月

[*] 北海道大学審査学位論文［博士（教育学)］

[**] 琉球大学教育学部
〒903-0213　沖縄県中頭郡西原町字千原 1 番地

目　　次

1. 緒言 … 1

2. 小中学校でのタンパク質と脂肪の消化の授業の実態，仮説と研究課題 … 17

2.1 調査方法 … 18
2.2 結果と考察 … 20
2.3 まとめ … 36
2.4 仮説と研究課題 … 38

3. タンパク質と脂肪の消化に関する実験教材開発 … 51

3.1 研究方法 … 51
3.2 タンパク質の消化に関する実験教材開発の結果 … 59
3.3 脂肪の消化に関する実験教材開発の結果 … 68
3.4 考察・実験方法の確定 … 91

4. 開発した実験教材の中学生への適用と評価 … 106

4.1 実践の概要と調査・研究方法 … 107
4.2 理科好きの中学生に対するサイエンスサマーキャンプでの実践 … 119
4.3 中学 2 年　理科「動物の生活と種類-動物の体のつくりとはたらき」への適用 … 123
4.4 発展的な教材としての中学 2 年　理科「化学変化と原子，分子-物質の成り立ち」の導入教材への適用 … 145
4.5 考察・結論 … 160

5. 結言 … 186

謝辞・付記 … 197

付録 … 199

要　　旨

「動物の生活と体のつくり」に関する単元は，70%以上の教師が教えやすい単元としてとらえ，60%以上の教師が生徒の理解が容易であると認識している。この「教やすく理解が容易」な単元の学習内容はただ単に記憶するものとして受け止められている傾向もあり，「実際に目で見る事ができないもの」に関する学習内容の定着度の不十分さも指摘されている。本研究の目的は，中学校の理科の授業で「生徒の理解が容易で教師も指導が容易」だが「各消化液の働きを正確に理解するのが難しく依然として生徒の理解が困難な内容」と報告されている「消化」に関わって，生徒が「消化液中の消化酵素によってタンパク質はアミノ酸に分解され，脂肪は脂肪酸とグリセリン（モノグリセリド）に分解される」という学習事項について，結論だけを学ぶ（教え込まれる）のではなく，「本当に教科書に書かれている通りの結果になるのか？」という素朴な疑問に応えることである。

まず 1947 年以降の小中学校での理科の授業での消化に関して教材と学習内容を区別しながら教科用図書（教科書）等を中心に確認した。小中学校のタンパク質と脂肪の消化についての学習で，タンパク質が消化されアミノ酸に変化することや，脂肪が消化され脂肪酸とグリセリン（モノグリセリド）へ変化することがどのように扱われているかについて，教科書等の記述を中心にその変遷を調べた。その結果，1947 年以降の学習指導要領に基づく教育課程で用いられている小中学校の理科教科書には，ヨウ素デンプン反応や，ベネジクト液あるいはフェーリング液を用いた還元糖の検出実験を用いた，だ液によるデンプンの消化に関する実験教材は掲載されていた。タンパク質については目視でタンパク質の分解の様子を確認する観察実験教材が提示されたものもあったが，脂肪については観察実験教材の提示すらなかった。タンパク質や脂肪の消化に関しては，分解生成物が記されている程度であり，試薬等を用いて分解生成物を検出・確認するような実験教材は掲載されていなかった。また，沖縄県那覇市立小中学校での消化単元の授業実践の内容を調査した結果，だ液によるデンプンの消化以外の実験はほとんど行われず，タンパク質の酸加水分解を観察する教師演示実験が 2 例あった。従って，現実の理科の授業におけるタンパク質と脂肪の消化については，これまで詳細な説明や実験が行われたことが無かったものと推察できる。

そこで，生徒自らの手で実験を通して検証し「本当に教科書に書かれている通りの結果になる」ことを確認する方法を提供することを目指すため，学習者あ

るいは教師による実験で検証可能な，タンパク質と脂肪の消化分解生成物を確認する実験教材を開発した。さらにその開発した教材が中学校程度の施設・設備，中学生程度の実験観察技能で十分実践可能かどうかを実践から検証し，実験教材としての価値を判断した。

生徒自らの手でタンパク質が消化されアミノ酸が生成することを確認する実験教材の開発では，基質としてかつおぶし（けずり節）-そのまま，粉末，一度煮出したもの-，卵白，豆腐及び製菓用ゼラチンを選定した。消化液は市販の消化薬の１つであるバランサー胃腸薬（大正製薬株式会社製）の１回服用量を水に溶解し，pH を調整して 100 mL にしたものを用いた。

その結果

① かつおぶし（そのままのものと煮出したもの），卵白，豆腐及びゼラチンでは 24 時間反応後にニンヒドリン反応でアミノ酸の存在を確認できた。

② 基質の見た目の変化は豆腐とゼラチンでのみ確認できた。

③ ゼラチンでのみ消化によってビウレット反応が陰性に変化することを確認できた。

以上の結果から，基質としてふさわしいタンパク質はゼラチンであるといえる。

バランサー胃腸薬の代わりにゼラチンに他の消化薬から消化液を調製して用いた場合でも同様の結果を得た。さらに失活させた消化液ではゼラチンは消化されていないことを確認した。これにより，以下の実験方法を利用することでタンパク質の消化を理解することができる。

① 製菓用ゼラチン 2.0 g をはかりとり，それを 80 ℃の水道水 50 mL に溶解したもの 2.0 mL を試験管に注ぎ冷却する。

② ①に消化薬から調製した人工消化液 10.0 mL を加え，40 ℃で 24 時間反応させ，冷蔵庫で 1 時間以上冷却する。

③ 反応後のゼラチンは凝固せず，ビウレット反応が陰性となり，ニンヒドリン反応が陽性となることからタンパク質が消化されアミノ酸が生成したことを確認する。

④ 酵素を失活させた消化液ではゼラチンが凝固し消化されていないことを確認する。

一方，脂肪が消化されグリセリンが生成することを確認する実験として，ナトリウム-銅(Ⅱ)-グリセリン錯体法を利用して，脂肪が酵素によって分解しグリセリンが生成することを確かめる実験教材を開発した。基質としてオリーブ油を選定した。市販のビオフェルミン健胃消化薬錠（ビオフェルミン製薬株式会社製）を用いて 0.50%(W/V)リパーゼ AP6 溶液を調製したものを消化液として

実験に使用した。試験管にオリーブ油と調製した消化液を 1.0 mL ずつ入れて撹拌した後，40℃で 24 時間反応させた。24 時間後の消化液はナトリウム-銅(Ⅱ)-グリセリン錯体法によって，グリセリンの存在を示す青色を示した。酵素を失活させた消化液を用いて実験した場合では青色を示さず，グリセリンが生成しないことを確認した。呈色に強い撹拌が必要であるためボルテックスミキサーが必要不可欠ではあるが，遠心分離機の代わりにろ紙やディポーザブルメンブレンフィルターユニットを用いても実験が可能であることを確かめた。さらにビオフェルミン健胃消化薬錠以外の消化薬でも，同様の結果を得られるものがあることを確認し,酵素を失活させた消化液では消化されないことも確認した。

開発した実験教材そのものが中学生でも実験可能なものかどうかを見極め，生徒の興味・関心を誘い，生徒が意欲的に取り組める実験教材であるかどうかを確認するため実践を通して検証した。

まず，試行実践として中学生を対象とした理科に対する興味関心の育成を目的とした合宿形式の学習活動「中学生サイエンスサマーキャンプ」の中で,「ヒトの消化のしくみ」の学習内容と関連した「タンパク質と脂肪の消化実験」を実施した。実験は予定通りの時間で行うことができ，理科に興味や関心のある中学生程度の実験観察技能で本教材は十分実践可能である。また，実践後のアンケート結果から，本実験教材の「おもしろさ」,「わかりやすさ」の平均点が 5 点満点で 4 点以上を示し，有意に肯定的な結果が得られた。この結果から消化によるタンパク質と脂肪の分解生成物を確認する実験教材は，理科好きな生徒や当該分野に関心のある生徒の興味をより一層喚起し，学習内容を理解する上で有効な実験教材になりうることが判明した。

次に中学校第 2 学年の理科の授業「動物の体のつくりと働き」単元で，タンパク質と脂肪の消化の実験教材を取り入れた授業実践を行い，この教材を用いた授業実践上の問題点や配慮事項について検証した。その結果，以下のことが明らかになった。

① 実験を取り入れた授業は，生徒から概ね肯定的な評価を得た。特に「この実験からタンパク質や脂肪も消化液によって消化されることが分かった」については，タンパク質の実験を体験した生徒から高い評価を得た。しかし，実験方法や操作については簡単だと感じなかった生徒も多く,「実験方法・操作が難しい」と感じている生徒は少なくなかった。特に駒込ピペットの操作が難しいようであった。そのため，呈色反応で試料溶液をはかりとる作業で実験方法の簡素化などの改善が必要である。

② 発展的な内容を取り入れるための 2〜3 時間程度の予備時数や余裕があ

れば，タンパク質と脂肪の消化の実験を取り入れた授業は実践可能である。

③ コンセプトマップの記述から，約半数の生徒が学習前には「消化が胃のみで行われている」ように認識していた。学習後には胃や胃液以外の消化器官や消化液も消化に関与していることも書かれるようになり，胃以外の消化器官に関する記述が見られなかったり弱かったりした生徒の割合が学習前の約半分に減少した。

3 つ目の実践として，中学校第 2 学年理科「化学変化と原子，分子」の学習で，先行して学習した「動物の体のつくりと働き」単元のタンパク質と脂肪の消化に関する実験を取り入れた授業実践を試みた。その結果，以下のことが明らかになった。

① 授業実践の結果，76.8％の生徒が「消化が化学変化であることを理解できた」と評価し，93.4％の生徒が「消化液（消化酵素）のはたらきによって消化が行われることがわかった」と評価した。

② 生徒のコンセプトマップを見ると，授業実践前には「消化は胃のみで行われる」という認識の生徒が 52.9%を占めていた。実践後は 2％台まで減少し，67.1%が「消化が消化液（消化酵素）によって行われる」という認識を示した。さらに 57.9%の生徒が「消化」と「分解」を，25.0％が「消化」と「化学変化」を関連付けた。

③ 脂肪の実験を担当した生徒で，「実験方法・操作の簡便さ」について否定的な回答をした者がやや多く見られたが，全体を通して，計量の簡素化や実験方法の指示を明瞭にするなどの改善策に効果があったと評価された。

④ 教育実習の影響を避けるために，消化単元を学習してから化学変化の単元を学習するまでに，電流に関する単元を挟む形で実施したため間が空いた。生徒の評価からは，消化単元の復習になったという肯定的な評価が見られた。しかし，タンパク質と脂肪の消化実験と化学変化を連続して学んだほうが良いという意見も生徒から見られた。

⑤ 生徒からは，「タンパク質と脂肪の両方の実験をしたい」という声が多く寄せられた。両方の実験を行うための時間の確保が課題として残った。

以上の実践の結果から，タンパク質と脂肪の消化による分解生成物を検出する実験教材を用いた授業は，2〜3 時間程度の時間を確保できれば中学校で実践可能であり，タンパク質はアミノ酸に分解され，脂肪は分解されグリセリンが生じることを生徒自らの手で確認し，消化についての理解を深めることができ

る。冷蔵庫，恒温装置，ボルテックスミキサーを準備する必要はあるが，開発した実験教材は中学校の理科室程度の施設・設備ならびに中学生程度の実験観察技能で十分体験可能なものである。

実験に参加した生徒は，駒込ピペットを用いて溶液をはかりとる作業で苦労していた。授業実践で用いるには駒込ピペットの使い方など基本的な操作をあらかじめ教えるなど実験技術の習得指導を強化する必要がある。しかし定性的な理解を促すための実験教材であることを鑑みれば，生徒の実態に応じて実験操作を簡素化すべきである。本研究を実施した際には，消化を学習してから化学変化を学習する教育課程を編成している中学校が多かったが，現在では化学変化を学習してから消化を学習する中学校が大多数を占めている。単なる実験教材開発で終わらせたりそれを授業実践に活かしたりするだけではなく，その成果を普及するには，現在の教育課程の枠組みの中でさらに実践を通して検証する必要がある。

1. 緒言

本研究の動機は，中学生が「消化液中の消化酵素によってタンパク質はアミノ酸に分解され，脂肪は脂肪酸とグリセリン（モノグリセリド）[注1]に分解される」という学習事項について，「結論だけを学ぶ（教わる）のではなく，『本当に教科書に書かれている通りの結果になるのか？』という素朴な疑問に応えるには，どのような実験教材を開発すべきか」を契機としている。また，開発した実験教材は実際に中学生が実験できるものでなければならない。その意味で簡便かつ安価に行うことができる実験教材を開発し，それを実際の授業で適用することを通して評価することが必要である。

そこで本研究では，身近で手に入りやすい食料品を基質に，消化酵素源として市販の消化薬を用いた実験教材開発を核に研究を進めた。その際，教科書を分析することを中心にタンパク質や脂肪の消化に関する教材と学習内容と授業展開といったこれまでの授業概要を分析し，そこに内在する問題を整理した。さらに実践を通して，開発された実験教材がこれまでの理科授業が解決できなかった問題を解決できるものになるのかを評価・検証した。これらの結果を整理し，本論文「市販の消化薬がもつ中学校向け理科教材としての価値に着目したタンパク質及び脂肪の消化実験教材の開発とその評価」にまとめた。

ヒトが体内に栄養分を取り入れやすくするために，食材を調理することや口の中で細かくかみ砕くこと（物理的消化）を生徒の生活経験から予想させたり想像させたりすることは容易である。しかし，「ただ小さくなった（物理的に細分化された）」ではなく特定の条件下で「小さくなり，別な物質に変化する（例えば，デンプン分子がブドウ糖のようなその基本構造単位となる別な性質を示す物質まで分解（化学的に変化）する）」ことを想像する（化学的消化を理解する）のは難しい。ヨウ素液やベネジクト液を利用しただ液によるデンプンの消化の実験では，デンプンが消化され還元糖が生成したことは理解できても，実験結果から体内での分解最終生成物であるブドウ糖の存在（同定）やデンプンがブドウ糖を構成単位とすることまでは理解できない。さらに，デンプン以外のタンパク質や脂肪の消化の理解にはならない。消化酵素の働きによって分解され，タンパク質がアミノ酸に，脂肪が脂肪酸とグリセリン（モノグリセリド）になるという事実やヒトの体の中で行われる生命維持活動の妙を学習することは「アミノ酸」，「脂肪酸」，「グリセリン（モノグリセリド）」という言葉を覚える授業では達成できない。触媒として酵素が関与し，30～40℃という体温付近で基質である特定の栄養分に最もよく酵素が作用する化学的消化が，化学変化

の分解の１つの事例であり，化学変化によって別な物質になったことを学習するには，実験を通して消化の前後である物質が検出されたり消失したりする事実や現象を検証し，「本当に教科書に書かれている通りだ」と確認する学習と，その授業を展開するための適切な実験教材が必要である。

学校教育では，児童生徒に知識や技能を伝えることだけではなく，生活の中で当面する諸問題を解決する力を養うために学習指導が行われる。その主要な舞台は，教師と子どもの共同活動である授業である。授業は，学校で教科指導する際の基本的形態であり，授業での様々な学習活動を通して子どもを無知から知へ，不完全・不正確な知からより完全で正確な知へと導くことが教科の指導では目指される。柴田はこれを「人類がこれまでに蓄積してきた文化遺産のなかから教科の内容あるいは教材として選択されたものの習得をとおして体系的な知識と能力を獲得させるもの」だと言い換え，「知識を習得するということは，事実を正確に観察したり，記憶したりそのなかから真実・法則を発見したり，その法則を実践に応用したりすること，またそういう認識活動のなかで考える力とか想像する力等の能力をつくりだしていくことと不可分に結びついている」とし，「教科指導はそのような子どものさまざまの認識活動とそれを組織し指導する教師の活動とから成り立つ」としている[1)]。すなわち，子どもは学習内容の実際的な価値に注目し，実生活の中で役立つ具体的・個別的な知識・技能の獲得を目指すとともに学習内容の習得を手段として精神的諸能力（記憶力，創造力，問題解決能力，判断力，推理力，観察力，意志力，感情）の形式的な側面が育成されるという実質陶冶と形式陶冶の両面から教育的働きかけを授業で受けることを意味する。

柴田は（１）教師の活動としての教授，（２）生徒の活動としての学習，（３）教材　の３つを「授業を構成する基本的成分」とし，この三者の相互関係の中で授業が展開すると論じている。その授業過程の原動力となるものは，授業の中で子どもの前に提出された学習課題と子どもの知識や能力との間の矛盾であり，彼は「子どもたち自身が意欲をもち，積極的に学習活動に取り組むことが，子どもが自己発達をとげるための第一条件」だとし，授業が成立するための基本的条件として「教科内容・教材の系統が，科学の体系にそいながら，子ども達の能力をつぎつぎと高いところへ引き上げるように組み立てられている（教科内容・教材の系統性）」，「教師は教材の正しい解釈に基づいて子どもに明瞭な学習課題を提出し，的確な発問によって子どもの認識活動を方向付ける（学習課題の提示）」こと，さらに「授業過程の論理性・法則性の理解に基づく教師の授業展開の技術（授業展開の技術）」の３つを示している[2)]。

授業を構成する基本的成分の「教師の活動としての教授」と「生徒の活動と

しての学習」を媒介するものが「教材」である。今日では,「教材」という言葉の意味はかなり広義であり，多義的につかわれる。「動物教材」,「地学教材」,「電気教材」や「光教材」という場合には学習（教育）内容を示し,「地域の教材化」という場合には，地域にある学習内容にふさわしい教育的価値をもったものを探し出すことを示す。学習対象・手段としての動植物や地層，岩石・鉱物などの標本類，教科書などの図書，教材会社が販売する実験器具に代表される物品や教具を示すこともある。さらに１時間ごとの授業の進め方を検討し，その結果を指導案にまとめる「授業の準備作業」を「教材研究」というなど，「教材」という言葉は様々なものを指し示す[3-5]。特に理科では実験・観察のための器具や材料の調達，予備実験などを指して「教材を準備する」ということがある[6]。これに加えて，永田は「教材(Teaching Materials)は，文化（遺産）などの素材を教育目標を達成するために選択・組織したもので，教師と生徒とをつなぐ媒介物」だと一般化されるが，理科では「文化（遺産)」＝「物質・物体と現象」という考えが主流であり人智ともいえる「自然科学上の概念や法則」や「科学・技術（の成果)」では必ずしもないとし，それは「自然科学上の概念や法則」から教材を選択しようとする人よりも「具体的な自然物・現象あるいは実験・観察の対象」から教材を選択しようとした人の多かった歴史を反映した結果だと見ている。さらに教材観の違いは，教育目的・目標が①＜自然物・現象をとらえさせる＞のか，②＜科学上の概念や法則をとらえさせる＞のか，あるいは③＜自然物・現象や科学の教育を通してそれらの方法や生活上の方法をとらえさせる＞のかの違いから生じ，目的・目標が異なれば教育内容や教育方法もそれぞれ異なってくるとし，教育目的・内容を重視して教材を見るか，教える手段としての教材に重きを置くかという違いが「その理科教材研究が目的や内容あるいは方法のいずれの段階の研究・準備が問題とされているのかの違い」だと見ることができる[7-8]と述べている。

教育目的に応じて子どもが学習する対象として教師が選んだ素材が狭義の「教材」であり,「教育内容」や「教具」と区別される。柴田は科学教科の場合，教科内容を構成するものは科学的概念であり，それら個々の科学的概念を習得させるうえに必要とされる材料（事実，文章，直感教具など）を「教材」と定義している[9-10]。鈴木と須田は,「子ども達が一定の教育内容（たとえばあるひとつの科学的概念）を認識して自分のものとするために，直接に取りくむ対象が教材であるから，教材は教育内容の構造を全面的に正確にになうものとして構成される必要がある」性質である「典型性」と「子ども達が五官や運動器官やすでに手に入れている思考力を用いてその対象を分析したり，操作したり，総合したりすることにほかならないから，そのようなことを確実に容易になし

うる」性質である「具体性」を教材はもたなければならないとしている[11]。真船は「てこやてんびんに働いている力学的法則」が「教育内容」であり,「てこ，てんびん，食塩水，へちま」などを「教材」と呼んでいる[12]。藤岡は「教材」を「教育内容としての概念や法則などが形をとってあらわれたものとして授業過程の中に導入される『事実，現象，素材』」と定義している[13]。これらを総合すると「教育内容」は子どもに習得させたい概念や法則などであり，そのために子どもが考える対象となる事実が「教材」であり，教材を示すために必要な物や道具が「教具」だと定義できる。その一方で，高橋は「重要な事実・法則の習得に有用でないもの」,「教師児童の負担から見て十分に学習できないもの」,「学校で特別に教える必要のうすいもの」,「テストに無関係のもの」,「科学者の初歩の方法技術の習得に有害無益なもの」は教材としてガラクタであり，教えるべきではないとしている[14]。

つまり,「学校で特別に教える必要性があり，学校の授業の中で重要な事実・法則を習得する一助として機能し，それが総括的評価で問われる内容である」ことが，教材としての評価基準の１つであり実際の授業に適用する際の最低条件となる。これを本研究に当てはめれば,「消化の概念（科学上の概念・法則）を理解するためにタンパク質や脂肪が消化されるとどのような物質に変化するのか（自然物・現象の事実）を調べ，総括的評価で問われる最終分解生成物を自らの手で確認する」ことが学校の授業に求められ,「タンパク質や脂肪が消化された際の最終分解生成物を中学生が自らの手で確認する実験」が本研究で意味する教材となる。さらに開発した教材（実験教材）を実際の授業で用いることは「タンパク質や脂肪が消化されるとどのような物質に変化するのかを調べることができ，消化の概念を理解することができるのか」という目的が達成できるのかどうかを検討することも本研究では必要となる。

「結果の丸暗記」ではない授業にするには，優れた教材と課題提示のある授業展開が求められる。授業について研究する際に，何のために，何をどのように教え,学ぶのかという目的と内容と方法の一貫性を考えずに,「何を教えるか」を明確にせず，ただ授業の効率をあげるための方法や技術の研究となってしまう「どう教えるか」だけを考えるのは無意味[15]である。柴田は,「教える内容（科学的概念や法則）がはっきりしない教材による学習では，あれこれの事実をなでまわしているだけでなんらの確かな知識も方法も習得されない」,「その教材を通して『何を』学ぶのかという目的が明確であるときにのみ教材は意味をもってくる」と指摘し，教える内容を明確にした上での教材・教具は知識の源泉としての重要な意味を果たすが，教える内容があいまいな場合には何らかの知識獲得のための補助手段や材料としてなくてもいいような役割しか果たさ

ないと断言している。さらに子どもは具体的事実や現象を通じて概念や法則だけを学ぶのではなく,「概念・法則と具体的諸事実との間の関係自体も学習の重要な中身となる」とし，概念や法則といった骨組みに肉づけする仕事が「教材化」だと述べている[16)]。彼は,「授業が成功するかどうかは，何よりもまず教材そのものが適切であるかどうか，そして選ばれた教材の本質や意味を教師自身が正しく理解し，把握しているかどうかにかかっている」と教材と教材研究の重要性を指摘している。さらに，教材や授業内容が授業の方法を決定するため,「教材が悪いと，その教材にしたがって考えていかざるを得ない子どもの思考は混乱をきたす」としている。また，その教材に関してすでにある観念なり思想が教師にはできており，その観念や思想の枠組みでもって教材をながめ，扱っていこうとするだけでなく，教師は経験も豊富でたくさんの知識をもっている。そのため，教材の足りないところや欠陥をも適当に埋め合わせ，教師自身の思想や観念のほうに子どもを導こうとする授業では，適当に教材以外の要素をつなぎ合わせることができない子どもは，教材に欠陥があればそこでつまづき，教材に飛躍があればその前で立ち往生し，教材がまがっていればそれに従って自分の思考をまげていく。こうした教材により密着した子どもの思考活動に対して，教師がただ観念的にまちがいを指摘し，無理矢理その方向を変えさせようとすればそれは教師の観念の押しつけになり，子どもの自由な思考活動は封鎖され，教師と子どもの単調な問答のやりとりが支配し，子ども達の活発な反応はなくなり授業が重苦しいものになってしまう。そのため彼は，教材の善し悪しが授業を通して子どもの思考をくぐり抜けることで初めて明らかになることも多いことから，教科・教材の研究と授業研究とが結びつく必要があり[17)]，教材の価値が授業実践で判断されると指摘している。その授業の形態や方法を決定するのは基本的には学習する内容と関連するが，それと同時に方法の検討は，つねに内容（教材）の研究と結びついてなされなければならないため,「何を教えるか」と「どう教えるか」は切り離せず,「何を（教材内容）教えるのか」と「いかに（学習過程と学習方法）教えるのか」という研究を切り離さずに大切にしなければならない[18-19)]。

教材を開発し，その価値の評価を授業で検証するには，その前提である「学校で特別に教える必要性があり，学校の授業の中で重要な事実・法則を習得する一助として機能し，それが総括的評価で問われる内容である」ことを丁寧に調べる必要がある。それには，学習内容と教材取扱法の細部にわたる歴史の吟味が必要不可欠である[20)]。理科教材を開発したり改良したりする際には，その教材についての先行研究を掘り起こしたり追試したりしながらどんな点を開発・改良するのかを検討しなければならない。こうした「理科教材史研究」を

進めるには，教育課程や学習内容と教材の変遷を概観する必要がある[21]。それには学習指導の際に主要な教材として使用する義務が学校教育法に明示されている，教科用図書（教科書）の内容の変遷を確認することが第一に求められる。そのため本研究では，まず 1947 年以降の小中学校での理科の授業での消化に関する学習内容について教科書を中心に確認した[注2]。次に，学習者自身による実験や教師の演示実験で検証可能な，消化によるタンパク質と脂肪の分解生成物を確認する実験教材を開発した。最後にその開発した教材が中学校程度の施設・設備，中学生程度の実験観察技能で十分実践可能かどうかを実践から検証し，実験教材としての価値を「消化液中の消化酵素によってタンパク質はアミノ酸に分解され，脂肪は脂肪酸とグリセリン（モノグリセリド）に分解される」という学習事項を実験で検証する授業で判断することを本研究の目的とした。

アミラーゼ，プロテアーゼ，リパーゼは三大消化酵素であり，古くからその重要性に着目され，その研究は医学，生理学，生化学の視点から行われてきている。こうした生化学に関する歴史研究は，Fruton，J．S．が詳細にまとめている[22]。

消化に関する研究の歴史は，生理学の研究が始まった 17 世紀から始まっており，「ヤナギの実験」で有名な Van Helmont，J．B．は，味覚によって胃液が酸であることに気づいていた[23-25]。食物の消化に対する酵素の役割を科学的に研究するはじまりとなったのは，砂嚢（すなぎも）のもみ砕き作用がない状態でも食物が消化されるかどうかをトビで調べた 1752 年の Réaumur，R.-A．F．de.の研究[26-27]や 1776 年頃から様々な動物や自分自身を実験台にして確認した Spallanzani，L．の研究[28]である。

さらにヒトの胃の内部での消化の様子を実際に観察し，人体の内部で起こっている消化の神秘を探索したのは，Beaumont，W.である。彼はカナダ国境近くの，アメリカ・ミシガン州のノース・マキナック島にアメリカ陸軍の軍医として赴任していた。1822 年 6 月，この島の小さな毛皮屋で猟銃が暴発し，店の従業員であるフランス系カナダ人の猟師の左腹に銃弾が命中した。銃弾は腹壁の一部をはぎ取り，肋骨 2 本を折り，左肺や横隔膜を剥き出しにし，胃壁を貫通していたほどの大けがであった。Beaumont は彼の治療に当たった。治療の甲斐もあり，奇跡的に回復し，傷はほとんど治癒したものの，傷ついた胃の端と肋間筋の間が癒着し胃瘻ができてしまい穴がふさがらない状態になってしまった。胃の内部のできごとを Beaumont はこの穴から克明に観察し，様々な食品が胃の中で消化する時間を観察した。また，この患者の機嫌が良い時と怒っている時では消化時間に差が生じ，ストレスが胃の消化活動に悪影響を及ぼすことも発見している[29]。こうした Beaumont の実験報告[30]からヒトの胃の中では，食物

が胃の中にある化学成分によって化学変化することがわかった。このときはまだその化学変化を担う成分は不明であったが，その後「細胞学説」で有名なSchwann, T. によって，1836 年にこの化学変化を担う活性成分ペプシンが発見された[31]。

1831 年に Leuchs, E. F. がヒトの唾液にデンプンを糖に変化させる能力があることを発見した[32-33]。さらに 1833 年には Payen, A. と Persoz, J. F. が麦芽抽出液からジアスターゼを発見した[34]。その後ジアスターゼ活性は様々な動植物から見いだされ，19 世紀末にはデンプンを表すラテン語（amylum（アミルム））にちなみアミラーゼと呼ばれるようになった。

また，Bernard, C. は動物が摂取したデンプン，タンパク質，脂肪を膵液が分解する作用を研究し，食物中に炭水化物が無くても肝臓が血液に糖を供給することを観察し，肝臓の糖合成機能を発見している[35-36]。さらに彼は膵液中にリパーゼの存在を確認している[37]。しかし，リパーゼの基質である脂肪は水に溶けないため，反応が不均一系で行われるために，反応の速度論的解析や指標となるリパーゼ自体の挙動がとらえにくい。リパーゼの精製も進まず，膵臓やヒマシを用いた研究の成果[38-40]から，リパーゼが一般に不安定で取り扱いが難しかったことも示された。1960 年代まで他の主要な加水分解酵素よりも研究が進んでいなかったが，1960 年代以降，クロカビ（*Aspergillus niger*）など微生物リパーゼの工業生産ができるようになり，研究が進んでいった[41]。

このようにヒトの消化に関する研究は，医学や生理学の基礎の一部をなしていた化学と生物学が相互に関連する研究対象であり，化学と生物学という研究の態度，技術，概念が異なる研究者・科学者の交流によって 19 世紀から 20 世紀半ばにかけて解明されていった。一方，筆者が中学校の教壇に立つようになった頃の学習指導要領では，物理学や化学の基礎となる第 1 分野と生物学や地学の基礎となる第 2 分野の各分野間や各項目間の関連を十分考慮して各分野間の特徴的な見方や考え方が互いに補えるような指導計画を作成するように配慮することを求めており[42]，その後改正された学習指導要領でも同様の事項が明記されている[43-45]。さらに解説では，生徒の主体的な学習となるような配慮や生徒の観察，実験及びこれらを基にした主体的で探究的な活動が十分行えるようにすることを求めている[46-47]。しかしながら，学校教育法で使用が義務づけられている教科書の構成や配列を無視することはできず,「ゆとり教育」の集大成ともいえる前の学習指導要領では,学習内容の順序まで指定されていた[48-49]。現行学習指導要領では学習内容の学年指定はあるものの順序指定はない[50]ため，学習指導の工夫がしやすくなっている。

中学校理科の教科書が分野別上下巻で編集されていたころから，9 割前後の

中学校では第 1 分野と第 2 分野を並行して履修せず，分野・領域で区分されている大単元ごとに第 1 分野と第 2 分野を交互に履修している。消化に関する学習と化学変化に関する学習はともに第 2 学年での履修であり，前の学習指導要領に準拠した教育課程に関する調査では,「第 1 分野と第 2 分野を並行履修しない」と回答した学校の 9 割以上が，消化に関する学習を含む単元の後に化学変化に関する学習を含む単元を学習しており，特に約 5 割の学校は，消化に関する学習を含む単元の学習直後に化学変化に関する学習を含む単元を学習していた[51-57]。化学変化の導入で用いられる主要な教科書教材は炭酸水素ナトリウムや酸化銀の加熱分解である。しかし，単に試験管での加熱分解を提示するだけでは，生徒は生活の中にある化学的現象を意識できず，授業内容と生活とのつながりを断ち切ってしまうことがある[58)，注 3]。

1947 年以降，小中学校では,「ヒトの体のはたらき」を主要教材とした単元で基礎生理学・生化学の内容に関する学習が進められている。消化は化学変化の一例であり,「食べ物が消化されることでより小さな別の物質へ変化する」ことを化学変化の導入段階へ用いることは，上記の配慮事項に合致する授業実践となり得るだけでなく化学変化と生徒の日常とを意識させることにつなげる授業づくりへの可能性も広がる[注 4]。この単元では，「デンプンが消化液(だ液)中の消化酵素によって糖に分解される」ことを確認する実験教材が用いられているが，タンパク質と脂肪の消化については消化の過程が図示されたり，「タンパク質はアミノ酸に，脂肪は脂肪酸とグリセリン（モノグリセリド）に分解される」という分解生成物が記述されたりする程度である。教科書に掲載される実験教材は，50 分程度の 1 回の授業で準備から実験・観察・考察・まとめまでという一連の学習活動を行えることが求められる。さらに実験結果が明瞭で，学習内容の理解を促すものでなければならない。また，操作が安全で簡便・安価に行うことができ，他の複雑な概念が影響せず，他の単元の学習に必要な授業時間数の圧迫がないことも求められている。そのため，適切な実験教材が教科書には掲載されていないタンパク質や脂肪の消化の取り扱いが実験を通して検証するようなものではなく，デンプンの消化よりも簡単なものになってしまうことは安易に予想できる。従って大多数の生徒たちは「タンパク質はアミノ酸に，脂肪は脂肪酸とグリセリン（モノグリセリド）に消化される」という事実を言葉で覚える形で学習する。そのため「タンパク質は本当にアミノ酸に分解されるのか」や「脂肪が分解されるとグリセリン（モノグリセリド）が生じるのか」といったことを確かめたくても確かめることができない。

「動物の生活と体のつくり」に関する単元は，70%以上の教師が教えやすい単元としてとらえ，60%以上の教師が「生徒の理解が容易である」だと認識してい

る単元の１つである[59),注5]。しかし，第２分野の知識面は記憶するものとして受け止められている傾向もあり,「実際に目で見る事ができないもの」に関する学習内容の定着度の不十分さも指摘されている。その単元の一つとして「動物のからだのしくみ」が挙げられている[60)]。そのため前述のような不満が生じる可能性がある。小学校の「人のからだ」の指導では，実験・観察が少ないため知識を一方的に与えるような講義型の授業が提供されやすい[61)]。中学校の生物領域で教科書に掲載されている観察・実験の実施状況は平均で57%程度であり，地学（32%）よりは高いが，化学（78%）や物理（62%）ほどではない[62)]。中学校の「動物の生活と種類」単元では，教科書に掲載されている生徒実験が比較的少ないため，実験を増やして欲しいという意見や，知識偏重になりがちで，観察・実験を通して理解させることが難しく，科学的な思考力の定着度が低いと感じる教師が多い。その中でも「だ液による消化のはたらき」の実験実施率はきわめて高いが，だ液によるデンプンの消化実験も一部の生徒がだ液を出すのをいやがる傾向があり実験の実施が困難になっている現状がある[63)]。これらの事情から三宅らは，この単元を「生徒の理解が容易で教師も指導が容易」だが「各消化液の働きを正確に理解するのが難しく依然として生徒の理解が困難な内容」と報告している[64)]。

一方，小中学生の理科嫌いに関する調査によると，「理科を好き」とする子どもは他教科に比べて多いが,「理科を好き」とする子どもの割合は学年が上がるにつれ減少し[65-66)]，「理科嫌い」が増える傾向にある。さらに理科を嫌いになる回答として,「本当はもっといろいろ調べたいのにそれができない」,「無理矢理やらされたり，逆に，やりたいことはやらせてくれなかったりする」,「結局教科書を憶えなくてはいけない」が見られる[67)]。このことについて久保田らは,実験や観察の授業を進める中で「学習者が新たな課題を見つけたとしても，それを自由に解決できない，学習者自らのペースで問題解決できないこと」を問題として提起している[68)]。しかし，学習者が「疑問におもったこと」や「調べてみたい発展的内容」を自らの手で調査・研究することは現実の小中学校の教育活動では非常に困難である。その要因は学習者自身のレディネスや実験観察技能,理科室の施設・設備を考慮した適切な教材が無いという内容・方法に関する問題と，理科の授業時数の確保や他の学校教育活動全般に対する影響などの時間的制約に関する問題に大別することができる。

我が国の小中学校の理科の授業では，教科書に掲載されているような実験教材だけではなく，教師によって工夫・開発された教材を適宜に用いて行われることが少なくない。「理科が嫌いになる子ども」を減らしていくためには，多くの教師が時間を費やしている授業準備や教材研究[69)]を支援する必要がある。

こうした支援は，単なる観察・実験教材開発で終わらせたりそれを授業実践に活かしたりするだけではなく，その成果を普及することも重要であり，教育課程への位置づけや開発した観察・実験教材の導入方法，その結果についての評価まで検討することも含まれる[70)]。

このような事情から，消化の仕組みをはじめとする生理学・生化学の初歩を学習する上で，発展教材の一つとしてタンパク質や脂肪の消化や分解生成物を確かめることができる簡単で安価な実験教材が小中学校には必要である。また，こうした実験教材を理科の授業に導入・普及するには費用や実験操作，授業時間の確保や単元全体の構成の面の工夫が必要である。

そこで,こうした問題を解決する一助として本研究では次のことを実施した。

（１） 小中学校における「消化」の授業内容について，授業実践の際の主たる教材である 1947 年以降の教科書や学習指導要領などの記述に関する調査を広範かつ系統的に行い，タンパク質や脂肪の消化についてどのような授業が行われてきたのかを整理する。さらに実際に行われている消化単元の授業内容について，沖縄県那覇市立小中学校を対象としたアンケート調査を行う。

（２） 先行研究や教材を参考にして，中学生程度の実験観察技能ならびに中学校の施設設備で実践可能な，子どもにとって身近である，市販の消化薬を用いた簡便なタンパク質と脂肪の消化の実験教材のあり方について検討する。

（３） 開発した実験教材が生徒の学習活動に合致するかどうかを実践から検証するため，まず，試行として「理科が好きな子」や「理科に対して高い興味や関心を示す子」を対象にして行った参加者募集型事業「サイエンスサマーキャンプ」で実践する。次に，一般に学校での理科の授業が，理科に対する好感度や興味関心意欲，実験観察技能や知識理解面の学力に差がある子ども達が存在している中で行われ，また中学校は大学と異なり，施設設備面や授業時数の確保といった制約があることから実際に中学校の理科の授業へ開発した実験教材を導入し，この実践から得られた効果や成果と実践上の課題や配慮事項を見いだす。

本研究の目的は，こうした（１）～（３）の取り組みを通して，教育課程への位置づけや開発した観察・実験教材の導入方法，その結果についての評価を明らかにすることで，教師の教材研究を支援し,「本当はもっといろいろ調べたいのにそれができない」，「無理矢理やらされたり，逆にやりたいことはやらせてくれなかったりする」，「結局教科書を憶えなくてはならない」という理科が嫌いになる際に生じる不満を減らせられる土壌づくりに寄与する。本論文

は，上述の（１）～（３）について報告する。

【注解】

注1 平成 24 年度（2012 年度）から使用されている中学校理科教科書では，文部科学省から［検定基準 3　正確性及び表記・表現　(1) 図書の内容に，誤りや不正確なところ，相互に矛盾しているところはないこと］に該当する検定意見として「脂肪の消化産物について不正確である」と指摘された。それを受けて，全ての出版社（東京書籍，大日本図書，学校図書，教育出版，啓林館）とも「脂肪は脂肪酸とモノグリセリドに分解される」という表記に修正・変更して教科書検定に合格した。これは近年の研究の成果を反映させたものである。しかし，これ以前は「脂肪は脂肪酸とグリセリンに分解される」という表記であり，上述の検定申請本の段階でもこの表現だった。そこで本論文では，各種調査・実践の実施時期に採用されていた教科書の記述に合わせる形で論じることとする。

注2 板倉聖宣らは，理科教科書史や生物教材史を『理科教育史資料』にまとめている。それによると，大正 13 年（1924 年）の『尋常小学理科書』や大正 15 年（1926 年）の『高等小学理科書』では，「消化」や「タンパク質と脂肪の特徴」が扱われていた。第二次世界大戦後から昭和 36 年度（1961 年度）までの小中学校の理科教科書でも「消化」や「栄養分の特徴」が取り扱われていたことは判明したが，その詳細やそれ以降のことまでは明らかにされていない（板倉聖宣ほか編『理科教育史資料＜第 2 巻　理科教科書史＞』, pp. 157-158, 230-284, 309-311, 343-415, 1986, 東京: 東京法令出版.）。生物教材史を紐解くと，大正 10 年（1921 年）の『新撰生理衛生教科書』には，だ液によるデンプンの消化をヨウ素デンプン反応で確認する実験が掲載され，口から胃までの消化過程が説明されていた。1947 年の文部省著作の教科書『私たちの科学 4　何をどれだけ食べたら良いか（中学校第 1 学年用)』には，タンパク質の定性実験や塩酸酸性下でのペプシンによる消化の観察実験が掲載されていた(板倉聖宣ほか編『理科教育史資料＜第 4 巻　理科教材史Ⅰ-低学年理科・生物・地学教材史＞』, pp. 410-413, 423-424, 1987, 東京: 東京法令出版.)。このように戦後すぐの教科書にも実験教材は掲載されていたが不明な点も多く，現在の学校教育制度が構築された 1947 年以降の小中学校における「消化」に関する学習内容や教材の変遷の詳細を調べる必要がある。

注3 炭酸水素ナトリウムの加熱分解の導入段階では，生活とのつながりを意識して「カルメ焼き」を実験教材として用いることがある。しかし田中實が水の電気分解実験で問題の核心（分解）の理解をさまたげる 3 つの要因を挙げ，「実験には最も単純な条件をえらぶこと，さらにはできるなら感覚的に鮮明な印象を与えられるようにすること」と指摘したことを踏まえて，炭酸水素ナトリウムの加熱分

解反応を水の電気分解以上に一層疑問のある「カルメ焼き」を用いて教えることへの批判もある（松井吉之助「第 1 部　科学教育の原則と方法　§3　田中實の自然科学教育論-教育内容を中心として」，東京科学教育研究所編『自然科学教育の発展をめざして　田中實の成果に学ぶ』, pp. 48-52, 2012, 東京: 同時代社.）

注4 ある教科書では，化学変化について学習する部分でデンプンが消化酵素によってブドウ糖に分解されるまでが図示されており（三浦登，岡村定矩ほか:『新編新しい科学 1 分野下』，p. 16，2006，東京: 東京書籍.），タンパク質とアミノ酸，脂肪，脂肪酸，グリセリンのモデル図も掲載された。この教科書用の教師用指導書（新編新しい科学編集委員会・東京書籍株式会社編集部編 :『新編新しい科学 1 分野下　教師用指導書研究編』，p. 24，2006，東京: 東京書籍.）では，「有機物を取り上げ，分子についての理解を深めるとともに，私たちのからだの中で起こっている消化について，そのしくみを分子のレベルで説明する。（中略）生徒は，２年時に消化のしくみのところで，デンプン，タンパク質，脂肪がそれぞれ消化酵素によりブドウ糖，アミノ酸，脂肪酸とグリセリンに分解されていくことを学ぶ。その学習と関連させて，消化の理解を深めさせるとともに，多様な分子の姿を認識させたい。」とその意図が記されている。同様に有機物の分子モデルの 1 つとしてタンパク質と分解物であるアミノ酸を図示しているものもある（霜田光一ほか:『中学校科学 2』，p. 17，2011，東京: 学校図書.）。

注5 74%の教師が「動物の生活と体のつくり」に関する単元の学習内容を「教えやすい」と回答し，69%の教師が「生徒の理解が容易な内容」と回答している。同様の回答が見られた他の単元は「気体の発生」,「動物の仲間」,「植物の生活と体のつくり」,「植物の仲間」である。

【文献】

1) 柴田義松:『授業の原理』，pp. 13-15，29-30，34-37，1974，東京: 国土社.
2) 同上書，pp. 44-53.
3) 山路裕昭「第 5 章　理科学習指導の実際　第 2 節　教材研究と授業の構造」，野上智行編著:『理科教育学概論　-理科教師をめざす人のために-』, pp. 127-144, 2004, 東京: 東京書籍.
4) 吉田安規良「第 6 章　理科教育の教材研究・教材開発　3　カリキュラムづくりと教材研究・授業づくり　2.　教科書で授業をすればいいのか？」，左巻健男，内村浩編著:『授業に活かす！理科教育法　中学・高等学校編』，pp. 176-178, 2009, 東京: 東京書籍.
5) 畑中忠雄:『三訂 若い先生のための理科教育概論』，pp. 103-110，2009，東京: 東洋館出版社.

6) 永田英治: 『新理科教育入門』, p.25, 2003, 東京: 星の環会.
7) 永田英治: 『日本理科教育史』, pp.4-5, 50-54, 1994, 東京: 東京法令出版.
8) 前掲書 6), pp.57-58.
9) 柴田義松: 『明治図書講座　現代科学入門 8　現代の教授学』, pp.14-16, 1967, 東京: 明治図書出版.
10) 柴田義松: 『授業の基礎理論　[授業研究基本図書選 6]』, pp.136-137, 1974, 東京: 明治図書出版.
11) 鈴木秀一, 須田勝彦「第二章　基礎学力の指導過程　-言語と数の指導を中心に-　二　教材の順序構造と指導過程」, 城丸章夫, 大槻健編: 『講座　日本の教育 6　教育の過程と方法』, pp.84-86, 1976, 東京: 新日本出版社.
12) 真船和夫: 『真船和夫著作集　第 3 巻　子どもの発達と教材・授業』, p.89, 1986, 東京: あずみの書房.
13) 藤岡信勝「第Ⅵ章　教材構成の理論と方法　第一節　教材とは何か」, 今野喜清, 柴田義松編著: 『教育学講座　第 7 巻　教育課程の理論と構造』, pp.268-274, 1979, 東京: 学習研究社.
14) 高橋金三郎: 『授業-研究と運動』, pp.169-171,1970, 東京: 明治図書出版.
15) 前掲書 10), pp.13-15.
16) 前掲書 10), pp.137-139, 149-151.
17) 前掲書 10), pp.23-26.
18) 前掲書 10), pp.69-70.
19) 前掲書 12), pp.70-73.
20) 板倉聖宣: 『増補　日本理科教育史 (付・年表)』, pp.453-454, 2009, 東京: 仮説社.
21) 前掲書 7), pp.2-6, 150-151.
22) Fruton, J.S. (水上茂樹訳): 『フルートン　生化学史　-分子と生命-』, 1978, 東京: 共立出版.
23) Multhauf, R. F.: "John of Rupescissa and the Origin of Medical Chemistry", *Isis*, **45**(4), pp.359-367, 1954.
24) Pagel, W.: "J. B. Van Helmont's reformation of the Galenic doctrine of digestion-and Paracelsus", *Bull. Hist. Med.*, **29**(6), pp.563-568, 1955.
25) Pagel, W.: "Van Helmont's ideas on gastric digestion and the gastric acid", *Bull. Hist. Med.*, **30**(6), pp.524-536, 1956.
26) Asimov, I. (皆川義雄訳): 『科学技術人名辞典』, p.119, 1971, 東京: 共立出版.
27) 中村隆雄: 『酵素の A・B・C』, pp.4-5, 1998, 東京: 学会出版センター.

28) Dendy, L., Boring, M. （梶尾あゆみ訳）:『自分の体で実験したい　命がけの科学者列伝』, pp.25-38, 2007, 東京: 紀伊國屋書店.
29) NHK 取材班:『NHK サイエンススペシャル　驚異の小宇宙・人体 3　消化吸収の妙［胃・腸］』, pp.28-31, 1989, 東京: 日本放送出版協会.
30) Beaumont, W.: *Experiments and Observations on the Gastric Juice and the Physiology of Digestion*, 1833, Plattsburgh: Allen.
31) Schwann, T.: “Ueber das Wesen des Verdauungsprocesses”, *Arch. Anat. Physiol.*, pp.90-138, 1836.
32) Leuchs, E. F.: ″Wirkung des Speichels auf Stärke″ (Effect of saliva on starch), *Poggendorff's Annalen der Physik und Chemie*, **22**, p.623 (modern citation: *Annalen der Physik*, **98**(8), p.623), 1831.
33) Leuchs, E. F.: “Über die Verzuckerung des Stärkmehls durch Speichel” (On the saccharification of powdered starch by saliva), *Archiv für die Gesammte Naturlehre* (Archive for All Science), **21**, pp.105-107, 1831.
34) Payen, A., Persoz, J. F.: “Mémoire sur la diastase, les principaux produits de ses réactions et leurs applications aux arts industriels” (Memoir on diastase, the principal products of its reactions, and their applications to the industrial arts), *Annales de chimie et de physique*, 2nd series, **53**, pp.73-92, 1833.
35) Bernard, C.: *Nouvelle Fonction du Foie Considéré comme Organe Producteur de Matière Sucrée chez l'Homme et les Animaux*, 1853, Paris: Baillière.
36) 真船和夫:『生命をさぐった人々』, pp.203-230, 1965, 東京: さ・え・ら書房.
37) Bernard, C.: “Mémoire sur le Pancréas et sur le rôle du Suc pancréatique dans les phénomènes digestifs, particulièrement dans la digestion des matières grasses neutres”, *Supplément aux Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences,* **1**, pp.379-563, 1856.
38) Pantschenko-Jurewiez, W. v., Kraut, H.: “Über Struktur und Eigenschaften der Esterasen”, *Biochemische Zeitschrift*, **285**, pp.407-419, 1936.
39) 兒玉桂三, 伊藤良二「脂肪酵素」, 大幸勇吉ほか監修 :『化学実験学（第二部）第 12 巻　微生物及び酵素実験法』, pp.550-551, 1943, 東京: 河出書房.
40) 伊藤良二「Lipase(脂肪酵素)」,赤堀四郎ほか編:『酵素研究法　第 2 巻』, pp.1-18, 1956, 東京: 朝倉書店.
41) 岩井美枝子:『リパーゼ-その基礎と応用』, pp.3-4, 1991, 東京: 幸書房.
42) 文部省:『中学校学習指導要領（平成元年 3 月)』, p.62, 1989, 東京: 大蔵省印刷局.

43) 文部省：『中学校学習指導要領（平成 10 年 12 月)』, pp.57-58, 1998, 東京：大蔵省印刷局.
44) 文部科学省：『中学校学習指導要領（平成 10 年 12 月）改訂版』, pp.58-59, 2004, 東京：国立印刷局.
45) 文部科学省：『中学校学習指導要領』, pp.72-73, 2008, 京都：東山書房.
46) 文部省：『中学校学習指導要領（平成 10 年 12 月）解説－理科編－』, pp.98-100, 1999, 東京：大日本図書.
47) 文部科学省：『中学校学習指導要領解説　理科編』, pp.97-98, 2008, 東京：大日本図書.
48) 前掲書 43), pp.49, 54.
49) 前掲書 44), pp.50, 55.
50) 前掲書 45), pp.63, 70.
51) Benesse 教育研究開発センター：『中学校の学習指導に関する実態調査報告書 2005』, pp.13-20, http://berd.benesse.jp/berd/center/open/report/gakusyuu_jittai/2005_6/pdf/chu_gakusyushido_zittai2005.pdf, 2005.（2014 年 11 月現在）
52) Benesse 教育研究開発センター：『中学校の学習指導に関する実態調査報告書 2006』, pp.13-20, http://berd.benesse.jp/berd/center/open/report/gakusyuu_jittai/2005_6/pdf/chu_gakusyushido_zittai2006.pdf, 2006.（2014 年 11 月現在）
53) Benesse 教育研究開発センター：『中学校の学習指導に関する実態調査報告書 2007』, pp.15-20, http://berd.benesse.jp/berd/center/open/report/gakusyuu_jittai/2007/pdf/data_01.pdf, 2007.（2014 年 11 月現在）
54) Benesse 教育研究開発センター：『中学校の学習指導に関する実態調査報告書 2008』, pp.15-22, http://berd.benesse.jp/berd/center/open/report/gakusyuu_jittai/2008/pdf/data_02.pdf, 2008.（2014 年 11 月現在）
55) Benesse 教育研究開発センター：『中学校の学習指導に関する実態調査報告書 2009』, pp.15-22, http://berd.benesse.jp/berd/center/open/report/gakusyuu_jittai/2009/pdf/data_02.pdf, 2009.（2014 年 11 月現在）
56) Benesse 教育研究開発センター：『中学校の学習指導に関する実態調査報告書 2010』, pp.15-22, http://berd.benesse.jp/berd/center/open/report/gakusyuu_jittai/2010/pdf

/data_02.pdf, 2010. （2014 年 11 月現在）
57) Benesse 教育研究開発センター: 『中学校の学習指導に関する実態調査報告書 2011』, pp.15-22, http://berd.benesse.jp/berd/center/open/report/gakusyuu_jittai/2011/pdf/data_02.pdf, 2011. （2014 年 11 月現在）
58) 松本浩幸「第 7 章　カリキュラムをつくる理科の教材　3　教科書の扱い方と発展のさせ方　4.　カルメ焼きが多くの教科書で扱われる理由」, 左巻健男編著: 『授業づくりのための理科教育法』, pp.161-163, 2004, 東京: 東京書籍.
59) 三宅征夫ほか: 『平成 12～14 年度科学研究費補助金基盤研究（B）（２）研究成果報告書（課題番号 12480036）　理科の教育課程と学力に関する総合的研究』,pp.1-3, 2003, 東京: 三宅征夫.
60) 加藤圭司: 『小学校・中学校理科用　教師の意識からとらえる学習内容の定着に関する調査・分析』, pp.2-5, 2008, 東京: 東京書籍.
61) 寺木秀一: 「『人のからだ』に関する指導事例　小学校」, 理科の教育, **36**(11), pp.24-27, 1987, 東京: 東洋館出版社.
62) 安藤秀俊: 「中学校理科教科書に掲載されている観察・実験の実施状況」, 理科教育学研究, **44**(3), pp.35-42, 2004, 日本理科教育学会.
63) 前掲書 60), pp.30-31.
64) 前掲書 59), p.40.
65) 角谷詩織, 無藤隆: 「理科の好き嫌いとその理由の構造－小学校 5 年生から中学校 3 年生を対象に」, お茶の水女子大学人文科学紀要, **57**, pp.269-285, 2004, お茶の水女子大学.
66) 角谷詩織「第 5 章　科学的興味・関心を育む教育実践　1 節『理科嫌い』ではなく『勉強嫌い』」, 無藤 隆編著: 『理科大好き！の子どもを育てる－心理学・脳科学者からの提言－』, pp.104-108, 2008, 京都: 北大路書房.
67) 角谷詩織: 「小・中学生の知的関心の発達と理科教育での疑問解決経験とのかかわり」, 「特定領域研究」新世紀型理数科系教育の展開研究　平成 16 年度 A05 班　研究成果中間報告書, pp.77-114, 2005, 出版者不明.
68) 久保田善彦ほか: 「理科実験の授業展開の見直しと同期型 CSCL の利用-学びの変容に関する事例から-」, 理科の教育, **56**(3), pp.204-207, 2007, 東京: 東洋館出版社.
69) 長谷川正:「『化学』を教える教員の育成」, 化学と教育, **54**(7), pp.386-389, 2006, 日本化学会.
70) 山崎敏昭ほか: 「高校物理実験の実態-2006 年大学新入生からの分析-」, 物理教育, **55**(1), pp.33-38, 2007, 日本物理教育学会.

2. 小中学校でのタンパク質と脂肪の消化の授業の実態，仮説と研究課題

小中学校の理科で消化について学習するのは,化学ではなく生物領域である。小中学校の現行の教育課程では,「ヒトの体のはたらき」を主要教材とした単元で基礎生理学・生化学の内容に関する学習が進められている。タンパク質や脂肪の消化をはじめとするヒトの消化を学習する単元は小学校，中学校の両方に設定されている。現行の教育課程でも，小学校第 6 学年で「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。」を学習し[1)]，中学校第 2 学年では「消化や呼吸，血液の循環についての観察，実験を行い，動物の体が必要な物質を取り入れ運搬している仕組みを観察，実験の結果と関連付けてとらえること。また，不要になった物質を排出する仕組みがあることについて理解すること。」を目標[2)]とした授業が展開される。中学校では，「『消化』については，代表的な消化酵素の働きを取り上げること」が内容の取り扱いに明示され[3)]，動物には消化器官が備わっており，その働きによって食物が物理的及び化学的に消化され，栄養分が吸収される仕組みを理解させることと，その際，消化酵素を用いた実験を行い，ペプシン，アミラーゼなど代表的な消化酵素に触れ，消化によって食物が小腸の壁から吸収されやすい物質に変化することを理解することが求められている[4)]。この単元では,「デンプンが消化液(だ液)中の消化酵素によって分解され，デンプンより小さな分子の糖になる」ことを確認する実験教材が主に用いられている。

小中学校での理科の生物領域では生理学や生化学だけではなく分類学や形態学，生態学などの基礎も学ぶため，授業時間数が特定内容の学習で圧迫されないような配慮も求められる。そのため，消化に関してだけ特別に時間をかけることやいたずらに長い時間がかかるような実験教材を用いた授業をすることは難しい。それでもタンパク質や脂肪の消化についてもデンプンの消化と同様に分解生成物を確認できる簡単な実験教材があれば，上述の目標やねらいを達成できる授業実践が可能である。永田は，明治初期から第二次世界大戦後の文部省著作の新制中学校用教科書での消化教材の取り扱われ方を整理した際に，小学校から高等学校までの間に「デンプンの分解至上主義」から抜け出て“食物の化学的な教材と消化教材とが融合されて発展させられた”形跡は見られず，小・中学校では“体のつくりを知らせる”教材と解剖で簡単な観察を課す教材が主流を占め，消化はデンプンだけが取り上げられており，目をみはる教材研

究を見つけることができなかったと報告している[5]。つまり，タンパク質や脂肪を酵素で分解し,その生成物を化学的な方法で確認していないと推測できる。我が国の小中学校の理科の授業では，教師によって工夫・開発された教材を適宜に用いて行われることも少なくないが，この目標やねらいを達成できる授業実践にはタンパク質や脂肪の消化による分解生成物を確認できる実験教材が必要であり,未だ実践されていないのであれば,まずそれを開発する必要がある。

理科の教材研究では，理科教育の目標や内容が変更され，取り扱われる教材が変わるとそれまでの教材研究は見向きもされなくなる。その反面，以前のものが復活するような形で理科教育の目標や内容が再変更されると，新しい教材が用いられることもあるが,かつての教材が再び取り上げられることがある[6]。そのため，古い教科書等を確認し，教材や学習内容の変遷を確認する教材史の研究が必要となる。そこで，タンパク質や脂肪の消化を学習するための実験教材を開発するに先立ち，その背景にあるタンパク質や脂肪の消化に関する学習の展開や授業の実態を調べることとした。具体的には，授業実践の際の主たる教材である 1947 年以降の教科書や学習指導要領などの記述に関する調査を広範かつ系統的に行い，タンパク質や脂肪の消化についてどのような授業が行われてきたのかを整理することとした。また，全国規模の調査を行うことこそ困難であるが，実際に学校では消化単元でどのような授業が行われているのかを把握することも重要であると考え，沖縄県那覇市立小中学校の現職教員を対象としてアンケート調査した。

2.1　調査方法

2.1.1 教科書などの記述に関する調査

「タンパク質と脂肪の消化」について教科書などでどのように扱われているかを 1947 年以降の小中学校の理科教科書ならびに文部省著作の教師用理科実験指導書，学習指導要領やその解説から調査した。小学校については，現在中学校用の理科教科書を発行している東京書籍，大日本図書，学校図書，教育出版,啓林館の 5 社のものに昭和 24 年に刊行された文部省著作のものを合わせた 91 組を対象に調査した。中学校については昭和 22 年に刊行された文部省著作のものと上記の 5 社に加え，日本書籍(昭和 28，31 年版)，大阪書籍(昭和 32，35 年版)，中教出版(昭和 28，31，33，36 年版)，二葉(昭和 28，31，34 年版)，三省堂(昭和 24-25，28-29，32-33，36，40 年版)，愛育社(昭和 22，28 年版)，中央書籍(昭和 27，29 年版)，清水書院(昭和 31，34，36 年版)，光村図書(昭和 28 年版)，牧書店(昭和 30 年版)，講談社(昭和 29，31 年版)，青雲社(昭和 30 年版)，学芸出版社(昭和 28，31，36 年版)，大原出版(昭和 36 年版)，学研書籍

(昭和 36 年版)の 123 組について調査した。調査は北海道教育大学旭川校附属図書館(教育課程文庫)，東京書籍株式会社附設教科書図書館東書文庫ならびに公益財団法人教科書研究センター附属教科書図書館で行った。

2.1.2 授業内容についての調査

実際の小中学校で実施されている消化の授業内容の調査は，沖縄県内の小中学校の約 1 割に相当する沖縄県那覇市立小学校 35 校，中学校 17 校を対象に質問紙法で調査した。調査時期は 2005 年 11 月～12 月，回答は各学校の理科の代表（理科主任，小学校の場合には理科専科の教員）に依頼した。あわせて回答者自身の消化に関する実験の経験についても調査した（配布した質問紙は付録 1，pp.199-212 を参照のこと)。

2.1.3 モノクロネガフィルムの酵素による変化を確認する実験

教科書等に掲載されている発展教材には，実際に実験で確認できるかどうかまでを明らかにせず,「実験してみることを促す」だけで，学習すべき事項の習得を保証していないものもある。また，実験を成功させるための秘訣が教科書や教師用指導書に明示されていない場合もある[注 1]ため，明示されている実験手順だけを参考に実際に実験して「確実に成功し，学習事項の習得に寄与するかどうか」を確かめる必要がある。そこで，実験手順や実験結果が具体的に示されており材料の入手が比較的簡単だった大日本図書の教科書に掲載されていたモノクロネガフィルムとパイナップル果汁を用いた観察実験 [7)]を実施し，その実用性を検証した。モノクロネガフィルムは富士フイルム株式会社製 35 mm モノクロネガフィルム NEOPAN 100 ACROS（ISO 100）及び NEOPAN 400 PRESTO（ISO 400）を用いた。

まず,沖縄県内のスーパーマーケットでパイナップル 1 玉(フィリピン産　ドール　スウィーティオ）を購入し，半分に切り分けて皮をむき，1/2 玉分をおろし金ですりおろした。得られたすりおろし汁をガーゼでこし，これを酵素液とした。さらにこしたすりおろし汁の半分を沸騰させ，失活させた酵素液を調製した。

幅約 1 cm に切ったモノクロネガフィルムを，水，酵素液，失活させた酵素液にそれぞれ浸けたものを 36℃でインキュベートし，10 分後，20 分後に取り出し，水洗後の表面の様子を実験前のフイルムと比較した。

2.2 結果と考察

2.2.1 教科書などの記述に関する調査

表 2.1 は小学校の，表 2.2 は中学校の学習指導要領の改訂に伴うタンパク質と脂肪の実験についての理科教科書での記載の変化をまとめたものである。

消化の過程を検証する化学的手法を用いた実験教材は，1947 年に実施された学習指導要領(試案)に基づく教科書から今日のものまで「デンプンがだ液中の酵素によってデンプンより小さな分子の糖(麦芽糖)になる」ことについて，ヨウ素デンプン反応とベネジクト(もしくはフェーリング)液を利用した還元糖の検出実験のみが掲載され，タンパク質がアミノ酸に，脂肪が脂肪酸とグリセリン（モノグリセリド）に分解されることを確かめる実験教材は一切掲載されていなかった。また，小学校の教科書では 1947 年から現在まで，デンプンが糖に変化すること以外の消化の分解生成物名が明記されることは少なく,「水に溶けやすい養分」や「細かくなる」と記載されているものがほとんどであった。タンパク質がアミノ酸に分解されることを記載したものもあったが [8-12]，脂肪が脂肪酸とグリセリン（モノグリセリド）に変化することが明記されることはなかった。一方，中学校で扱われているタンパク質と脂肪の分解生成物については，本文や図表，脚注などの違いはあるが，ほとんどの教科書に記載されていた。しかしその内容は,「タンパク質はアミノ酸に，脂肪は脂肪酸とグリセリン（モノグリセリド）に分解される」という事実の記述のみで，実験で検証するものではなかった。その他，各項目の年代[注 2]による変化は以下の通りである。

表 2.1 学習指導要領の改訂に伴う小学校理科教科書での
タンパク質と脂肪の実験の掲載数の変化

指導要領の実施年	調査対象教科書組数	タンパク質の実験の掲載組数	脂肪の実験の掲載組数
1947(昭和22)	4	2	2
1952(昭和27)	11	8	7
1961(昭和36)	15	15	15
1971(昭和46)	16	15	15
1980(昭和55)	15	0	0
1992(平成 4)	15	0	0
2002(平成14)	10	0	0
2011(平成23)	5	0	0

表 2.2 学習指導要領の改訂に伴う中学校理科教科書でのタンパク質と脂肪の実験の掲載数の変化

指導要領の実施年	調査対象教科書組数	タンパク質の実験の掲載組数			脂肪の実験の掲載組数			
		定性実験	消化の観察（ペプシン＋卵白など）	コラム	定性実験	ケン化	脂肪球観察	スダンIII染色
1947（昭和22）	6	4	4	0	3	0	2	0
1952（昭和27）	38	25	7	1	17	6	8	0
1962（昭和37）	23	22	1	0	19	0	0	2
1972（昭和47）	14	11	2	4	7	0	0	2
1981（昭和56）	17	2	0	6	2	0	0	0
1993（平成 5）	10	0	2（巻末）	0	0	0	0	0
2002（平成14）	10	0	2（巻末）	0	0	0	0	0
2012（平成24）	5	0	1	1	0	0	0	0

2.2.1.1　1947（昭和 22）年度～1951（昭和 26）年度

この時代の学習指導要領は小学校と中学校に書き分けられてはいない。生活単元学習・問題解決学習が取り入れられたこの時代の学習指導要領（試案）には，第 5 学年で油の性質・用途についての学習，第 6 及び 8 学年で，消化の経路についての学習が明示されていた[13)]。しかし，タンパク質や脂肪の消化の詳細を実験で確かめる記述はなかった。

文部省が著作権を有する小学校の教科書では，4 年生で各消化液がどの栄養分と反応するのかの説明が書き込まれた消化管の模式図が掲載された。さらにジャガイモやくず湯[注 3]とだ液でヨウ素デンプン反応の消失を確認する実験を通して，具体的な分解生成物までは明示していないが「デンプンがほかのものに変わる」ということを説明していた[14-16)]。5 年生では，デンプンと砂糖，あぶら，たまごや肉というような具体物で，炭水化物，脂肪，タンパク質の働きが説明されていた[17)]。6 年生では，口の中ではつばきによってデンプンが消化され，胃では，タンパク質という表現ではなく「肉やたまご，魚のようなものが胃液で消化される」という形で，口，胃，腸の中での消化が説明された。小腸では，膵臓から出される膵液，肝臓から送り出された胆汁の働きを説明し，小腸から出る腸液とあわせた 3 つの液が，小腸で力をあわせて食物を消化し，小腸のかべを通り抜けられる液体まで変化させると説明されていた[18)]。

この時期に発行された文部省が著作権を有する補助教材では，4 年生でヨウ素デンプン反応によりデンプンの有無が確認できることや，温度の違う水に対するデンプンの溶ける様子の違いを観察する実験[19)]や「ごはんを長くかんでいると甘みがでてくるか」や「つばが多く出てくる時について」を発問し，デンプンのりとつばを反応させたものに対するヨウ素デンプン反応の確認実験[20-21)]が示されていた。5 年生では，菜種や大豆，小豆から油を絞る実験や，発展として豆腐づくりが紹介[22)]され，紙にしみこませたり水につけたりした油がどのように変化するかを観察させることを通して，あぶらの性質について学習する実験や，水に溶かしたデンプンや卵白水溶液の加熱実験，肉や卵と硝酸を反応させるキサントプロテイン反応も紹介[23)]された。6 年生では，イモにつばと湯をそれぞれ反応させたものの違いを観察する実験が示されていた[24)]。

それ以外の教科書でも，4 年生でご飯やパン，ジャガイモをかむと甘く感じることや，つばとジャガイモなどデンプンを含む食物とを反応させるとヨウ素デンプン反応が消失する実験から，つばがデンプンを水に溶けやすい糖に変えることを学習していた[25-27)]。デンプン，タンパク質，脂肪が体内で消化される過程を消化液の作用と合わせて示した模式図が掲載されたものもあった[28)]。5 年生でも，デンプンにだ液（つば）が混じると水に溶けやすい糖に変化するこ

とやアミラーゼの作用が説明され[29-31]，麦芽とデンプンのりからあめをつくる実験から麦芽に含まれるジアスターゼという酵素の存在とそれが体内にも存在していることやヨウ素デンプン反応の消失からデンプンが糖分に変わっていることを説明した教科書があった[32]。さらに，胃液にはペプシンという酵素が存在しており，タンパク質が胃で消化されること，消化の一過程として胆汁と膵液が小腸で腸液とまじって働くことや胆汁には酵素が含まれていないが脂肪の消化に必要であることが記載されていた[33]。タンパク質の実験として，卵白を加熱凝固させたり，アルコールを加えて変性させたり，硝酸を加えてキサントプロテイン反応を観察する実験が掲載されていた[34-35]。ここでは，タンパク質が消化されるとアミノ酸になることが明記された教科書[36]や，にがりを入れることでタンパク質が凝固することを観察する豆腐づくりを取り入れた教科書があった[37-38]。脂肪に関しては，菜種などの植物の種子やクジラやブタの脂身から油を取り出す実験，牛乳からバターをつくる実験や油を紙につけて性質を調べる実験が掲載されていた。小腸で消化されることは明記されていたが，分解生成物は具体的に記されてはいなかった[39-40]。

文部省が著作権を有する中学校1年生用の教科書[41]では，牛乳からバターをつくり，残った脱脂乳に酸を加えてカゼインを取り出し，さらに残った溶液を中和して乳糖を取り出すといった牛乳に含まれる様々な成分を取り出す実験が掲載されていた。ここでは水やアルコール，ベンジン，エーテルに対する油の溶解性を調べる実験や密度を調べる実験も掲載された。それに加えて，小学校5年生で学習した石けんづくりを想起させ，脂肪は分解すると石けんとグリセリンになると説明していた。一方，ご飯やいもをかんでいるとどうなるかという問いから，つばとデンプン液を反応させたものにヨウ素液を加える実験を通して，つばにふくまれるデンプンを分解するようなものが酵素であると説明していた。さらに酵素には様々な種類があり基質特異性を説明するとともに，もやしに含まれる酵素を利用したあめづくりや塩酸や硫酸でデンプンを酸加水分解することから糖ができることを学習していた。タンパク質については豆腐づくりやグルテンを取り出すこと，ビウレット反応やキサントプロテイン反応，アンモニアの発生による窒素の存在の確認といった定性実験やタンパク質の加熱凝固・炭化実験やペプシンと塩酸を利用した肉の消化の観察実験が掲載されていた。ここでは，アミノ酸醤油の製造法などからタンパク質は分解されてアミノ酸になることが明記されていた。2年生の教科書[42]では，消化のしくみについて歴史を振り返りながら確認される構成になっており，Réaumur, R.-A. F. de., Beaumont, W., Schwann, T., Bernard, C., Pavlov, I. P.が行った実験について説明され，消化液の働きでタンパク質がアミノ酸，脂肪が脂肪酸とグ

リセリンに分解されことが明記された。また，ウサギやネズミの胃の粘膜からペプシンを抽出，精製する実験と，そのペプシンに塩酸とゆで卵の白身を加えてその変化と観察する実験が掲載されるとともに，市販のペプシンとゼラチンの反応を観察する実験が掲載されていた。

それ以外の中学校の教科書には,「タンパク質が胃液中のペプシンによりペプトンになる」という記述[43]と，ペプシンとゆで卵の白身を用いて，タンパク質の消化を確認する実験[44-46]があるが，これは「溶ける」という現象を観察するにとどまるものであり，アミノ酸やペプトンが生じるということを化学的な検出方法を用いた実験で確かめるものではない。卵白とペプシンの観察実験はその後も用いられていたが，全て「観察」で終わるものであった。他には，キサントプロテイン反応，ビウレット反応，アンモニアの検出による窒素含有の確認，酸や加熱などによる凝固・変性などタンパク質の定性実験が掲載されていた[47-49]。

一方，脂肪については，牛乳中の脂肪球の顕微鏡観察，その沸点が水より高いことや水に不溶でエーテルやベンジン，石油に溶けることを確認する定性実験の記述があった[50-51]。

2.2.1.2　1952（昭和 27）年度～1962（昭和 37）年度

アメリカから持ち込まれた生活単元学習・問題解決学習を一層徹底させることをねらいとし，昭和 22 年版の学習指導要領の不備を補い，教材を教えるための指示が細かく記載されたこの時期の学習指導要領では，具体的に「食物をよく噛むとどうなるか。また味はどう変わるか。」の問答が指示され「だ液が食物の中のデンプンに及ぼす作用を実験によって示す。」と書かれていた。しかし，タンパク質や脂肪については触れられていなかった[52]。

小中学校の教科書を見ると「ごはんをかんでいると味が変わる。」といった記述が見られ，学習指導要領に則した内容となっていた。タンパク質や脂肪についてはそれまでと同様の扱いであり，卵白のペプシンによる溶解の観察実験[53-59]や脂肪のケン化[60-65]が触れられている教科書もあった。その一方で，分解生成物の具体名の記述が無かったり[66]，脂肪についてのみ記載されていなかったりしたもの[67-68]があるなど，教科書によって内容の取り扱いや記述に差があった。小学校の教科書には，タンパク質の反応や脂肪の抽出，水や有機溶媒への溶解性，紙上につくったシミの変化の観察といった定性実験の記述が見られた[69-77]。

この時代に刊行された文部省の理科実験指導書では，小学校段階からヨウ素デンプン反応とフェーリング反応を用いた，だ液によるデンプンの糖化の確認

方法が記載されていた。タンパク質については小学校で酸や加熱による凝固・変性が述べられており，中学校ではネスラー試薬による窒素の検出，硫化鉛の生成を利用した硫黄の検出，ビウレット反応，キサントプロテイン反応などの定性実験だけが記載されていた。しかし脂肪についての実験の記述は見られなかった[78-82)]。

2.2.1.3　1961（昭和 36）年度～1971（昭和 46）年度

この時代から学習指導要領は法的拘束力をもち，教育課程もそれまでの生活単元学習から系統性を重視した内容へと変化した。基礎的なものを確実に学習させるようにし，実験観察の指導を重点化し，児童の興味・関心を高め，科学的な見方，考え方，扱い方を伸ばすように配慮された小学校学習指導要領では第 4 学年で，デンプン，タンパク質，脂肪などの栄養素がどんな食物に含まれ，どのような性質をもっているのかを学習することが明記された[83)]。具体的には，タンパク質の酸や加熱による凝固・変性，脂肪が可燃性で，水に溶けず，水より密度が小さいことを学ぶことが示された。そのため，この時期の全ての小学校 4 年生の教科書には，ゴマの種子を紙で挟むとシミができ紙が透き通ることや，脂肪の溶解性や可燃性，タンパク質の酸や加熱などによる凝固・変性などを確かめる実験が掲載されていた[84-98)]。

中学校では，生活単元学習の反省にたって系統的な学習の確立をめざした結果，基礎的な学習事項を精選するとともに内容を今日まで続く物理・化学系を中心とした第 1 分野と生物・地学系を中心とした第 2 分野の 2 つに分けた。しかし消化に関する学習にだけ注目して見た場合，これまでと同様の学習が行われ，学習指導要領には消化と吸収の単元で「だ液のはたらきを調べ消化の意味を理解する」，「タンパク質や脂肪の物性と簡単な検出方法を知る」ことが明記された[99)]。特に消化については「デンプン糖化酵素を中心に学習する」と指導書に記されており[100)]，タンパク質や脂肪の消化はこの単元の中心教材として取り扱われなかった。教科書にはスダンⅢで染色した脂肪の観察，脂肪の溶解性，タンパク質の酸やアルコール，加熱などによる凝固・変性やアンモニアの検出，ビウレット反応，キサントプロテイン反応などの定性実験がほとんどの教科書に掲載されていた[101-119)]。しかし，学校図書の昭和 35 年版，東京書籍，大日本図書発行の昭和 43 年版にはタンパク質の実験のみが掲載され[120-122)]，教育出版の昭和 43 年版にはタンパク質，脂肪の両方の実験が掲載されていないなど，教科書による取り扱いの差も見られた。

2.2.1.4　1971（昭和 46）年度～1981（昭和 56）年度

日本の義務教育に生活単元学習をもたらしたアメリカでは，1950 年代から子どもの学力低下が問題となり，スプートニクショックの影響から科学教育における教育内容の現代化とそれに伴うカリキュラム改造が行われた。この「教育の現代化運動」の影響をうけ，科学教育の現代化に対応するための学習指導要領の改訂が行われた。小学校の理科は，内容が「A 生物とその環境」，「B 物質とエネルギー」，「C 地球と宇宙」と 3 区分に分けられた。小学校の教科書では引き続き第 4 学年でタンパク質や脂肪の性質について学ぶ教材が掲載されていたが，これまでと同様に，タンパク質の酸や加熱による凝固・変性，油を紙に染み込ませた時の水との差の観察や油の燃焼，溶解性について学習する程度であった [123-137]。一部の教科書にはタンパク質の酸加水分解やペプシンによる卵白の消化の観察教材も掲載されていた [138-144]。

内容の精選と基本的な科学概念の重視，探究の過程と科学の方法を重視する基本方針の下で探究学習方式を用いた理科学習が始まった中学校では，指導書に「消化管の細かいつくりや，消化酵素の固有名詞とそのはたらき方などを，細部にわたって学習するのは本旨ではない。要するに，それぞれ特定の酵素によって各栄養分がブドウ糖・アミノ酸・脂肪酸とグリセリンにまで分解されることを理解する程度に扱う。」と定められたため [145]，脂肪やタンパク質の定性実験の取り扱いが減少した。また，それまでほとんど掲載されることがなかった，タンパク質の消化についての Réaumur, R.-A. F. de., Spallanzani, L., Beaumont, W.の業績が「コラム」に掲載された [146-149]。さらに今回調査した教科書中，この時期の啓林館の教科書にだけ，「生物の体内には，数多くの酵素があるが，いずれも 30～40℃の温度の時に，もっともよくはたらく」，「酵素はいずれも，それぞれ決まった物質に作用し，その結果つくられる物質も決まっている」という酵素の至適温度と基質特異性に関する記述と「消化に関する酵素にも，アミラーゼのほかに，いろいろある」という本文の後に，タンパク質がペプシンで分解される様子とならんで脂肪がリパーゼにより分解される反応前後の様子が写真で示されていた（図 2.1）[150]。具体的な消化酵素名は本文に明示されなかったが，ここではペプシンがタンパク質分解酵素でありリパーゼが脂肪分解酵素であることが写真から読み取る形で掲載されていた。この教科書の写真の実験条件を知るために2005年8月に出版社に問い合わせた。その結果，この写真の実験は教科書会社の編集担当者が実験し，それを同社のカメラマンが撮影したものであることは確認できたものの実験条件のデータ等は残っておらず，また実験者本人の記憶も定かでないとのことであった。さらに該当教科書の教師用指導書も調べたが，実験条件についての記載がないため，実験条件

については一切不明であるとの回答を得た。そのためこの写真のような実験を教師による演示や生徒実験の形で教材として扱うことは現実的に困難であったと推察できる。



図 2.1 啓林館の教科書に掲載されたリパーゼの作用の様子の写真

2.2.1.5 1980（昭和 55）年度～1993（平成 5）年度

科学的な系統性を重視するあまり，知識理解が中心とした内容構成で授業についていけない「落ちこぼれ」の子どもが増えたことへの反省などから，この時代はいわゆる「ゆとり教育」が提唱され，授業時数や授業内容が削減・精選され始めた時代であった。小学校低学年では内容の区分は行われないが，3 年生以上では前述の 3 区分が継続された。しかしこの時代では，小学校からはタンパク質と脂肪の性質の学習が削除され,教科書にも取り上げられなくなった。

中学校の指導書には,「消化酵素のはたらきについては，有機養分の分解が無機触媒に比べて極めて容易に速く行われることや温度条件によって異なることを扱うが，消化酵素の種類や名称をいたずらに列挙することは避け，実験に必要な 1，2 種にとどめる。しかし，酵素にはそれぞれ特性があり，ある種の酵素はある種の特定な反応にだけはたらくことに軽く触れる必要はあろう。小学校

では，だ液の糖化作用を扱っているので，それとの関連に配慮する。」と書かれていた[151]。この指導書の記述の影響もあってか，教育出版の昭和 55 年版と 58 年版でタンパク質と脂肪の検出方法が掲載されたが[152-153]，だ液アミラーゼを用いた実験教材以外はほとんどの教科書で取り上げられなくなった。また一部の教科書に掲載されていた消化の研究の「歴史コラム」[154-159]は，1986～1987 年(昭和 61～62 年)以降の教科書から一切掲載されなくなった。

2.2.1.6　1992（平成 4）年度～2001（平成 13）年度

この時期は，小学校低学年理科が廃止され生活科が新設されるなど，理科の教育課程も大きく変化した時期であった。小学校の教科書の一部にはデンプンが糖に変化するという記述があり[160-165]，消化の単元には大きな変化はなかった。東京書籍の中学校の教科書には，市販の胃腸消化薬を用いてカツオのけずり節の消化の様子を観察する実験が巻末に自由研究として掲載されていた[166-167]。しかし，教師用指導書には「ペプシン含有の消化薬であればけずり節が薄くなっていくのを確認できる」とだけ記載されており，観察に適する消化薬名が明記されていない[168-169]。現在販売されている市販の消化薬にペプシンが含まれているものを見つけることができなかったため，追試が困難である。中学校の指導書に「消化酵素の種類については，アミラーゼなど，1，2 にとどめる。」と書かれており[170]，事実上アミラーゼの実験のみが採用され，タンパク質や脂肪に関する実験は教科書の本文中にはなかった。

2.2.1.7　2002（平成 14）年度～2011（平成 23）年度

完全学校週 5 日制が導入され土曜日が休業日となったこともあり，小中学校での理科の授業時間数が最も少なくなったこの時代の小学校の教科書では，デンプンが糖に変わることも明記されなくなった。消化の模式図では，養分を示す記号(粒)が消化管内を通過する際にその色や大きさが変化することで，消化によって別な物質に変化することを表現した教科書があった。しかし，記号の形は変えていないため別の物質に変化するという認識が育みにくいと感じられる図であった[171-176]。

中学校学習指導要領の解説でも，「消化酵素の種類はアミラーゼなど，1～2 にとどめ，消化酵素などが食物を吸収されやすい物質に分解していることを扱う。」と記されている[177]。教科書の本文には，だ液アミラーゼの実験は掲載されているが，タンパク質と脂肪の消化については本文や図表，脚注の「タンパク質はアミノ酸，脂肪は脂肪酸とグリセリンに分解される」記述以外は一切なかった。大日本図書では巻末の自由研究に市販の胃腸薬，ダイコンやパイナッ

プルのしぼり汁を酵素源にしてデンプンのりや凝固した卵白やモノクロネガフィルムを用いた消化の観察実験が掲載されていた[178-179]。タンパク質の変化を目視以外で検出する方法として，卵白の実験では教師用指導書にのみ「尿検査試験紙」を用いることが記されていた。しかし，デンプンのりの実験結果が詳しく掲載されていたのに対して，卵白の実験に関しては「尿試験紙の変化はほとんど見られなかった」との記述がある程度で,その実験結果が明瞭ではない。パイナップルのしぼり汁でフイルム表面のゼラチンコートの溶け具合を観察する実験結果については，教師用指導書にその変化の様子が写真で掲載されていた[180-181]。しかし，モノクロフィルム自体が入手しにくく，一般にゼラチンは体温付近でゾルになるため，考察指導に困難が生じることも考えられる。

2.2.1.8　2011（平成 23）年度以降

全国的な学力調査や学力に関する国際比較調査の結果から，子どもの学力低下が世論で大きく取り上げられるようになったため,それまで約 30 年にわたり続いた「ゆとり教育」が見直しされたものが現行の学習指導要領である。理科の授業時数は増加し，内容の構成も，科学の基本的な見方や概念である「エネルギー」,「粒子」,「生命」,「地球」を柱に小中学校を通じた内容の一貫性が重視された。小中学校での学習内容のつながりを考慮し，小学校もそれまでの 3 区分から「A 物質・エネルギー」,「B 生命・地球」2 区分に再構成された。

小学校の教科書では，ご飯をかんでいると甘さを感じるようになることからだ液との関係やどのように変化するのかを予想させる展開が見られた[182-184]。さらに，だ液とデンプンの実験を踏まえて，分解生成物の名称までは明示しないものの，だ液によってデンプンがなくなって水に溶けやすい養分に変化することや，細かくなり，体に吸収されやすい形に変えられるなど，だ液がデンプンを別なものに変化させることが記載されていた[185-189]。東京書籍，学校図書，教育出版の教科書[190-192]には，前回の採択期の教科書[193-195]と同様に消化管内で養分が別な物質に変化する過程を記号は○のままだが色や大きさを変えることで示した模式図が引き続き掲載された。

中学校では，食物が物理的及び化学的に消化され，栄養分が吸収される仕組みを理解する際に消化酵素を用いた実験を行い，ペプシン，アミラーゼなど代表的な消化酵素に触れる[196]ことになり，教科書では，これまでと同様にだ液によるデンプンの消化をヨウ素液とベネジクト液で検出する実験教材が用いられていた。さらに油の最も一般的な構成成分が長鎖脂肪酸であることから最も一般的な消化過程を学ばせるため，検定申請段階ではこれまでと同様に脂肪酸とグリセリンと表記されていた消化による脂肪の分解生成物は，検定意見をうけ

て全て脂肪酸とモノグリセリドと表記されるようになった[197-201]。特に消化の過程の模式図では，1 位と 3 位の脂肪酸が遊離し，2-モノアシルグリセロールが生じることを意識した形で図示したものもあった[202-204]。さらに，Réaumur, R.-A. F. de.や Spallanzani, L.に関する科学史のコラムを掲載した教科書[205]や，ネガフィルム上のゼラチンとパイナップル果汁との反応を引き続き発展教材として掲載した教科書[206]もあった。フイルムを用いた実験の具体的な実験方法が記載された教師用指導書[207]にはフイルムはモノクロでもカラーでも可能であると記されていたが，子どもたちが普段手にするカメラがデジタルカメラとなってしまった現在では，モノクロでもカラーでもフイルム自体の入手が簡単ではなく身の回りのものとはいえなくなってきている。

2.2.2 沖縄県那覇市を対象とした授業内容についての調査

2005 年 11 月～12 月に実施した那覇市の小学校での「消化単元」の授業内容の調査結果を表 2.3 に，中学校の結果を表 2.4 に示す。回答は小学校 28 校（回収率　80%），中学校 10 校（同　59%）からあり，全て有効回答として処理した[注 4]。調査の結果から，小学校 6 年生ではヒトの消化について分解生成物を明示せず「食べ物はからだに吸収されやすい養分に変えられること」，中学校 2 年生では分解生成物を明示した「デンプンはブドウ糖,タンパク質はアミノ酸,脂肪は脂肪酸とグリセリンに分解される」という教科書の記述に準拠する形で消化の概念を理解する授業が行われていたことが明らかである。

またほとんどの小学校で，デンプンがだ液の作用で分解することを学習する際に，ヨウ素デンプン反応の消失で確認する実験を採用し，全ての中学校でそれに加えて糖の生成をベネジクト液で確認する実験が行われていた。さらに，だ液の代用として消化酵素を含む市販の胃腸薬を用いた実験を行っている小学校が 1 校あった。中学校では，塩酸を胃液に見立てて鶏肉を溶かす教師の演示実験が 2 例あったが，消化酵素を用いて実験しているとは明記されていなかったため塩酸のみとの反応を観察する実験だと思われる。脂肪の消化についての実験は小中学校とも全く行われていなかった。

さらに，回答者である教師自身のタンパク質や脂肪の消化に関する実験の経験の有無を聞いたところ，小・中学校あわせて 7 名が「経験あり」と答えた。その内容は,「大学の栄養学の実験」,「高校時代に卵白の消化を観察」,「パパイヤやパイナップルに含まれる酵素による消化の観察」,「(鶏肉と塩酸の)予備実験」というものであり，分解生成物を化学的に検出する実験の経験を明記した回答は皆無だった。教材研究のための予備実験以外の回答は，観察や専門的な実験であり，これらの実験を小中学校の理科室のような施設設備で実施可能な

指導法の教育を授業者である教師自身が受けていないこともわかった。

このアンケート結果は標本数が少ないため日本全国で行われている消化に関する授業実践の状況を議論するには不十分であり，那覇市の実態を調査することで沖縄県全体の実態が明らかになるわけでもない。しかしながら沖縄県では悉皆型の官制研修会で理科の授業に関する全体交流が行われており，教科書教材以外の実験教材を用いた優れた実践が報告されていれば，その実験教材はもっと伝播しているはずである。このアンケート結果から優れた自作教材による実践が那覇市から発信されたり，那覇市までその情報が届いていたりしていないと判断できる。日本全国での実践を限無く調査することが困難であるため，断片的な調査しかできなかったという問題を内包しているが，消化によってタンパク質がアミノ酸に，脂肪が脂肪酸とグリセリンに分解されることを実験で確かめる学習が義務教育期間中に行われていないことは，この結果から十分推測できる。

表 2.3　小学校での消化の授業内容のアンケート結果

A　回答者について

年齢構成	20代	30代	40代	50代以上
	1	8	17	2

性別	男性	女性
	23	5

取得免許	専修	1種(1級)	2種(2級)
小学校	0	26	4
中学校理科	0	0	2
高等学校理科		0	
その他免許	13(内訳:幼稚園2, 中学社会5, 中学技術1, 高校社会4, 高校工業1)		

単位: 人;　取得免許については複数回答

B　授業について

授業形態	理科専科による授業	学級担任による授業	
	27	1	

消化の概念の指導内容	小学校の教科書程度 「食べ物はからだに吸収されやすい養分に変えられること」	中学校の教科書程度 「デンプンはブドウ糖、タンパク質はアミノ酸, 脂肪は脂肪酸とグリセリンに分解される」	それ以外(指導経験なし)
	25	2	1

実験内容	教科書に掲載されている実験 「だ液とデンプンを用いてのヨウ素デンプン反応による検出」	それ以外の実験	実験を行ったことはない
児童実験	24	1	3
教師演示	15	0	13

単位:人

表 2.4　中学校での消化の授業内容のアンケート結果

A　回答者について

年齢構成	20代	30代	40代	50代以上
	2	5	2	1

性別	男性	女性
	8	2

取得免許	専修	1種(1級)	2種(2級)
小学校	0	0	1
中学校理科	1	8	1
高等学校理科	9		
その他免許	2(内訳:中学社会1, 高校社会1)		

単位:人;　取得免許については複数回答

B　授業について

消化の概念の指導内容	小学校の教科書程度	中学校の教科書程度	それ以外
	「食べ物はからだに吸収されやすい養分に変えられること」	「デンプンはブドウ糖、タンパク質はアミノ酸, 脂肪は脂肪酸とグリセリンに分解される」	
	0	10	0

実験内容	教科書に掲載されている実験 「だ液とデンプンを用いてのヨウ素デンプン反応、ベネジクト反応てによる検出」	それ以外の実験	実験を行ったことはない
生徒実験	10	0	0
教師演示	5	2	3

単位:人

2.2.3 モノクロネガフィルムの酵素による変化を確認する実験

だ液によるデンプンの消化のようにどの教科書でも採用されており，数多く実践されている実験教材ではないものや発展的な実験教材には，結果が不明瞭であったり予想される実験結果が得られなかったりするものもある。そのため明示されている実験手順だけを参考に実際に実験して「確実に成功し，学習事項の習得に寄与するかどうか」を確かめる必要がある。そこで，教科書に掲載されているタンパク質の消化の実験を検証するため，方法と結果が明示されている実験であるモノクロネガフィルムとパイナップル果汁との反応を追試した。

図 2.2，2.3 は実験試料の変化を示したものである（図 2.2，NEOPAN 100；図 2.3，NEOPAN 400)。ISO 感度の異なるどちらのフイルムも水や失活させた酵素液では 20 分反応させても変化しなかった。酵素液と NEOPAN 400 を 10 分反応させると表面が白っぽくなる変化が見られるようになったが，NEOPAN 100 では変化は確認できなかった。20 分反応させると両方ともフイルム表面が白っぽくなる変化を観察できた。目視で確認しやすかったのは NEOPAN 400 の方であった。フイルムの入手が難しくなっていることと，フイルム表面にはゼラチンがコーティングされていることとゼラチンがタンパク質であることを教える必要はあるが，酢豚にパイナップルが入っていることやハンバーグのトッピングとしてパイナップルがあることなどを思い起こさせながらパイナップル果汁中の酵素の働きを考える授業は可能である。しかし，タンパク質が別な物質に変化したことは観察できるが，分解生成物を確認することまではこの実験では行っていないためアミノ酸の生成までは確認できない。

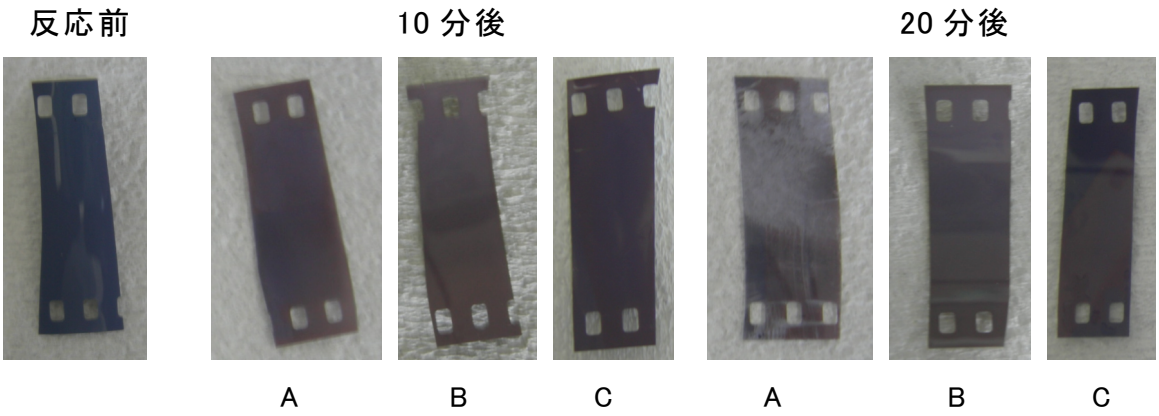


図 2.2 モノクロネガフィルム（NEOPAN 100）と
酵素液（パイナップル果汁）との反応

A，酵素液と反応させたもの；B，水と反応させたもの；C，一度沸騰させ酵素を加熱失活させた酵素液と反応させたもの。

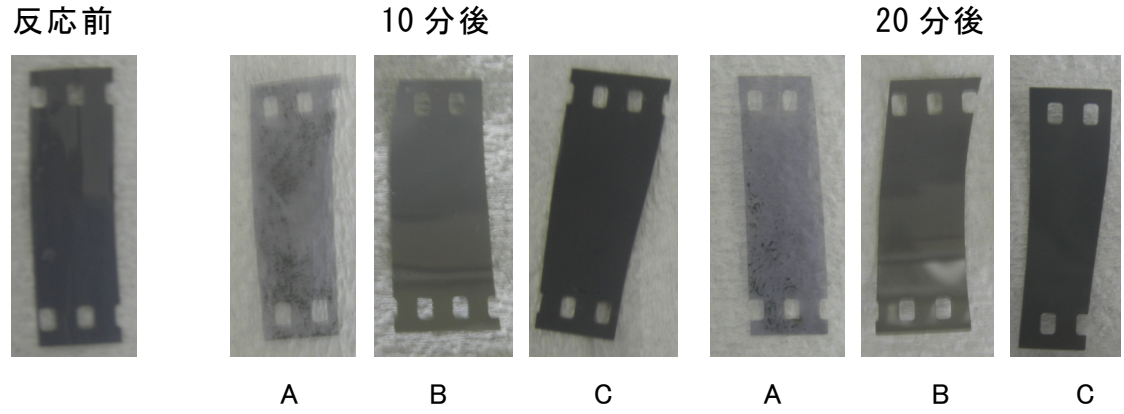


図 2.3 モノクロネガフィルム（NEOPAN 400）と
酵素液（パイナップル果汁）との反応

A，酵素液と反応させたもの；B，水と反応させたもの；C，一度沸騰させ酵素を加熱失活させた酵素液と反応させたもの。

2.3 まとめ

以上の結果からタンパク質と脂肪については,身近な物質であることもあり,1947 年からの生活単元学習や問題解決学習が取り入れられた教育課程の時代からその性質を理解する実験が多く導入されてきたといえる。系統性を重視するようになった 1958 年告示の小中学校学習指導要領[208-209)]に基づく教育課程でも，食物に含まれる栄養分の存在や働きについて関心を持たせるためにタンパク質や脂肪の物性を調べる定性実験が教材として提示されてきた。しかし,「ゆとり」をキャッチフレーズにした授業時数や教育内容の削減・精選が行われた 1980 年代以降は定性実験も教科書に掲載されなくなっていった。

ヨウ素デンプン反応やベネジクト液による還元糖の検出といった化学的呈色反応で消化を確認し分解生成物を特定するデンプンの消化と異なり，タンパク質と脂肪の消化についての授業は，アミノ酸や脂肪酸，グリセリンが消化によって生成することを化学的な実験で検証しながら学習を展開する形で行われてこなかったといえる。理科教育に関する民間研究団体の 1 つである科学教育研究協議会が発刊している月刊『理科教育』誌の 1958 年創刊から 50 年分 600 号の全文データベース検索システム[注 5]を用いて「タンパク質　消化」や「脂肪　消化」で検索しても該当する記事を見つけることができなかったことも踏まえると，児童・生徒はタンパク質と脂肪の消化やその分解生成物を「言葉のみで覚えている（教わっている)」といえる。アメリカの理科教科書でも，だ液に消化酵素が含まれ，そのだ液中の酵素によってデンプンが糖に変化すること，胃でも酸性条件下で酵素が作用することで摂取した食物が液状になりさらに小腸まで運ばれることや小腸までの間に消化が終了し，小腸で栄養分が吸収されることは記載されているものがあった。しかし，デンプン以外の栄養分の消化についての記述は日本の小中学校用理科教科書ほど丁寧ではなく，小腸での吸収も栄養分の全てが直接血液へと吸収されるかのような記述であるなど，消化の概略の理解を促す程度である[210)]。より専門的な生物学の教科書では，消化の機能やヒトの消化系の酵素による消化過程が本文ならびに図表で説明されている。それでも日本の小中学校用理科教科書のように消化前後で異なる物質になることを化学的に検証するような形ではなく，ヒトだ液アミラーゼによるデンプンの消化の至適温度が体温付近である理由をヨウ素デンプン反応で確認する探求課題が章末に提示されている程度である[211)]。この点で日本の小中学校用理科教科書は，タンパク質と脂肪の消化までは実験で検証できてはいないが，だ液とデンプンの消化を実験で検証する形になっているので化学と生物を関連づけて実験で検証しながら消化について学習できる構成になっているといえる。

日本の小中学校の理科教科書は,上述のアメリカの教科書[212)]と比べると小中

学校段階から実験で検証しながら化学と生物を関連づけて学習できるような構成だといえる。しかし，現行の学習指導要領に対応した教科書よりも以前に使用されていた教科書には「脂肪酸とグリセリンが小腸のリンパ管に吸収され，吸収後脂肪に再合成される」との記述があり，実際に脂肪が消化されることで生成し，吸収される物質である 2-モノグリセリドについては述べられていない[注 6]。すなわち，かつての教科書や指導書の内容[213-215)]をつい最近まで色濃く反映しており，化学的に正しい内容を学習しているとはいえない状況であった。そのため児童・生徒に対して，生理学や生化学的見地からは不十分な内容[注 7]の授業が展開されていたと推察される。

脂肪については，リパーゼが作用した前後を示す写真が掲載された教科書[216)]があった程度で，分解生成物を化学的に確認するような実験教材は見つけられなかった。教科書以外では，パンクレアチンによる脂肪を多く含む食品の消化の実験教材が示されていた[217)]。これはパンクレアチンによる鶏皮の変性の観察やバターを塗ったペトリ皿が透明になることの観察と，オリーブ油や鶏卵と反応させると生じる遊離脂肪酸によって pH が低下することを pH メーターで測定するものである。しかしこれらの実験は脂肪が何らかの変化をしたことや生成物がどのような性質をもっているものなのかを確認することはできるが，何が生成したのかを確認するものではなかった。

タンパク質の消化の実験教材では，より専門的にタンパク質の分解やそれに伴うアミノ酸の生成を生化学的な実験方法を用いて確認する実験教材が教科書以外で多数提示されている[218-225)]。しかし，これらの実験教材はいくつかの問題を抱えている。例えば，酵素ではなく酸やアルカリを用いた加水分解でタンパク質を分解したもの[226-227)]，酵素をミミズから抽出する必要があるため準備に手間がかかるもの[228)]，体内での消化との関連性が弱いと思われる洗剤を酵素源に用いるもの[229)]，少量でも高価な精製された研究用の酵素を使用しており[230-231)]，中学校の 1 年間の平均的な消耗品費[232-233)]で購入して実験すると他の単元の学習への影響が大きく現実的ではないものがある。また，基質の変化を観察するだけで，アミノ酸の生成まで確認していないもの[234)]や，アミノ酸の確認に薄層クロマトグラフィーを用いるもの[235)]，分解生成物の検出の前処理として透析が必要であるもの[236-238)]などがある。実際の授業で生徒実験として採用することを考慮すれば，安全かつ簡便に操作でき，他の複雑な概念が影響せず，授業時間数の圧迫がないことが求められている。また実験結果が明瞭で，学習内容の理解を促すものでなければならない。そのため，これらの実験を理科の授業に導入するには費用や実験操作，授業時間の確保や単元全体の構成の面で工夫が必要であり，単純にそのまま利用することが困難だと考えられる。

2.4　仮説と研究課題

上述の結果から小中学校段階におけるタンパク質と脂肪の消化についての授業では，消化によってアミノ酸や脂肪酸，グリセリンが生成することを化学的な実験で検証しながら学習を展開する形で行われてこなかったと推察できる。結局，各栄養分が何に分解されるかを理解することは求められていたが，タンパク質や脂肪が消化されて何に変化するのかを確認できる簡便で安価な実験教材が報告されていなかったため，授業実践のための教材研究も困難であったと思われる。

科学者が観察する際には，事前に「何を」観察するかという重点を決め，「何のために」という目的意識をもって観察する。その上で観察結果を分析したり，比較したり，総合したりするなど論理的思考に基づき，ある結論を帰納したり，演繹して確かめる[239)]。消化によるタンパク質と脂肪の分解生成物は中学校で学習するため，結論だけを学ぶ（教え込む）のではなく「本当に教科書に書かれている通りの結果になるのか？」という素朴な疑問や知的好奇心に応えるには，まず中学生程度の実験観察技能で十分検証可能な（最低でも教師の演示実験で検証可能な），基質の見た目の変化だけでなくタンパク質と脂肪の分解生成物を呈色反応の有無など反応前後で化学的に異なる結果を示す実験で確認する実験教材を開発する必要がある。観察対象を確認できれば，消化の前後で別な物質に変化したかどうを確かめるという目的を達成する授業が可能となる。さらにタンパク質と脂肪の消化による分解生成物を確認する実験教材を開発できたならば，その実用性を検証することでこうした問題を解決できる可能性を広げることができる。幸いなことにタンパク質に関しては，身の回りの物質の中から適切な基質を見つけることができれば市販の消化薬を酵素源に用いて消化による基質の変化を観察できそうなことやビウレット反応などの呈色反応を利用できることが実験教材の開発に際して手かがりとなる。しかし教材はあくまで，内容をもっとも容易に，もっとも確実に学習するためのものであるから，いつでも子どもの生活経験や実際生活の中から選ばれるとは限らない[240)]。脂肪については適切な基質を見つけるだけでなく，分解生成物の検出方法（呈色反応）も一から検討する必要があるため，子どもの生活経験や実際生活との関連を強く意識することができない可能性もある。

授業の成否は教材で決まり，「何を教えるか」と「どう教えるのか」は切り離して研究できない[241-242)]。以上のことから，中学生が結論だけを覚える（暗記する）のではなく，消化によってタンパク質がアミノ酸に，脂肪が脂肪酸とグリセリン（モノグリセリド）に分解されることを実験で検証しながら学習する

機会を提供することで「本当に教科書に書かれている通りの結果になるのか？」という素朴な疑問や知的好奇心に応える一助とするには，実験教材を開発し，それを授業実践に活かした上でその結果を評価・検討しなければならない。そのためには大きく分けて次の 2 点に整理される研究を段階的に遂行する必要がある。

（1） 市販の消化薬とビウレット反応に代表される呈色反応を組み合わせたタンパク質と脂肪の消化の実験教材を開発する。

（2） 開発した実験教材の実験結果が中学生に明瞭で，中学生程度の実験観察技能，中学校の理科室程度の施設・設備で実際に適用可能か，授業時間数の圧迫なく学習内容の理解を促すものであるかを評価するため，実際の授業で適用して検証する。

この 2 つの事項について，研究を進めていった結果を次章以降に述べる。

【注解】

注1 例えば，塩化鉄(Ⅱ)を用いた電気分解では，教科書では陰極から鉄が析出するような結果が示されているものの，薬品庫で保管されている塩化鉄(Ⅱ)では酸化してしまうため水素の発生しか陰極を観察しても確認できない。その対応として変質した塩化鉄（Ⅱ)の還元法が教師用指導書に掲載されている。しかし筆者らはその操作方法の一部が具体的ではなく電気分解の実験を成功に導けないことを指摘し，実験で検証しながら改善策を提示した。
詳細は，池田耕三，吉田安規良：「変質した塩化鉄（Ⅱ）の再生方法について －100%成功する塩化鉄（Ⅱ）の電気分解－」，化学教育ジャーナル，**9**(2), http://chem.sci.utsunomiya-u.ac.jp/v9n2/yoshida/, 2007, SCCJ 化学の学校（日本コンピュータ化学会の一部門）(2014 年 11 月現在）を参照。

注2 1961 年以降の学習指導要領の改訂に伴う教育課程の変更は小学校が 1 年先行して全面実施されている（2002 年の実施は小中同時のため除く)。時代によっては移行措置期間が設定されたこともあったが，本論文では各年代の境界について，検定教科書の配布・使用状況から小学校の全面実施開始年度をその年代の初期とし，中学校の最終実施年度をその年代の終期とした。

注3 1951 年に刊行された日本書籍版ではくず湯が採用され，それ以前のものではゆでたジャガイモで実験する記載だった。

注4 質問紙作成段階で高等学校理科免許所持状況を確認する設問で，1989 年の教育職員免許法改正に伴う 1 級，2 級と専修，1 種，2 種という種別への対応を誤っ

て設定した。そのため，高等学校の免許所持状況は免許種別を問わず一括して集計した。

注5　http://homepage3.nifty.com/kakyoukyou/（2014 年 11 月現在）の『理科教室』データベースで検索した。

注6　大学で一般的に用いられている生化学の教科書や専門書では，「トリアシルグリセロールが小腸内腔で胆汁酸と膵液リパーゼに作用を受けて遊離脂肪酸とモノアシルグリセロールに分解される」（Conn, E. E. *et al.*（田宮信雄，八木達彦訳）：『コーン・スタンプ　生化学（第 5 版)』，p.365，1988，東京：東京化学同人）や「十二指腸へ分泌された膵液中のリパーゼは胆汁中の胆汁酸で乳化されたトリグリセリドの 1 および 3 位の脂肪酸を加水分解し，遊離脂肪酸 2 分子と 2-モノグリセリドを生じる」と記載されている（池田郁男，菅野道廣「2.1　脂質の消化吸収機構」，板倉弘重編：『食品成分シリーズ　脂質の科学』，pp.9-14，1999，東京：朝倉書店)。

昭和 40 年代に刊行された生化学の専門書でも，脂質の代謝については，膵臓のリパーゼが脂肪を加水分解してモノグリセリドに分解すると記されていた（宮木高明，三浦義彰：『生化学の領域（第 2 版)』，pp.55-57，1968，東京：南江堂)。

注7　日常摂取している脂肪のほとんどは長鎖脂肪酸のトリグリセリドであるが，その一部は胃壁から分泌される胃リパーゼにより遊離脂肪酸と 1，2-ジグリセリドを生じる（池田郁男，菅野道廣「2.1　脂質の消化吸収機構」，板倉弘重編：『食品成分シリーズ　脂質の科学』，pp.9-14，1999，東京：朝倉書店)。この消化は強力なものではなく，限られた量のトリグリセリドしか加水分解されない。しかし小腸以外でもリパーゼによる消化が行われるため膵リパーゼだけが作用するような説明も厳密には間違っていることになる。

【文献】

1)　文部科学省：『小学校学習指導要領』，pp.68-70，2008，東京：東京書籍.

2)　文部科学省：『中学校学習指導要領』，p.67，2008，京都：東山書房.

3)　同上書，pp.70-71.

4)　文部科学省：『中学校学習指導要領解説　理科編』，pp.73-75，2008，東京：大日本図書.

5)　永田英治：「ヒトの体と食物の消化-理科教育史に学ぶ　-ちょっと前の教材の検討（1）-」，遺伝，**47**(12)，pp.59-63，1993，遺伝学普及会.

6)　永田英治：『日本理科教材史』，pp.2-3，1994，東京：東京法令出版.

7)　戸田盛和ほか：『新版　中学校理科　2 分野上』，p.140，2006，東京：大日本図書.

8) 服部静夫ほか: 『新しい理科　よい食べ物をとるにはどんな工夫をすればよいかすまいやきものは健康とどんな関係があるか　第5学年用　5』, p.8, 1950, 東京: 東京書籍.
9) 服部静夫ほか: 『第5学年用　新しい理科 III』, p.48, 1952, 東京: 東京書籍.
10) 東北理科研究委員会, 新潟県理科教育研究会: 『私たちの理科 6 年下』, p.72, 1953, 東京: 大日本図書.
11) 藤井隆, 蓮沼宏ほか: 『新しい理科　6　上』, pp.26-29, 1970, 東京:東京書籍.
12) 藤井隆, 蓮沼宏ほか: 『新訂　新しい理科　6　上』, pp.26-29, 1973, 東京書籍.
13) 文部省: 『学習指導要領［理科編］(試案) 昭和22年度』, pp.66-99, 106-114, 1947, 東京: 東京書籍.
14) 文部省: 『小学生の科学　第四学年用　E　どうしたらじょうぶなからだになれるか』, pp.12-14, 1949, 東京: 東京書籍, 東京: 日本書籍, 大阪: 大阪書籍.
15) 文部省: 『小学生の科学　第四学年用　E　どうしたらじょうぶなからだになれるか』, pp.12-14, 1950, 東京: 東京書籍,
16) 文部省: 『小学生の科学　第四学年用　E　どうしたらじょうぶなからだになれるか』, pp.12-14, 1951, 東京: 日本書籍.
17) 文部省: 『小学生の科学　第五学年用　E　よいたべものをとるにはどんなくふうをすればよいか　すまいやきものは健康とどんな関係があるか』, pp.6-12, 1950, 大阪: 大阪書籍.
18) 文部省: 『小学校の科学　第 6 学年用　E　からだはどのようにはたらいているか　傳せん病や寄生虫はどうしたら防げるか』, pp.22-25, 1949, 東京: 東京書籍, 東京: 日本書籍, 大阪: 大阪書籍.
19) 文部省: 『理科の本　第四学年用』, pp.11-13, 1947, 大阪: 大阪書籍.
20) 文部省: 『観察と実験の報告　第四学年用』, p.63, 1948, 東京: 日本書籍.
21) 文部省: 『観察と実験の報告　第四学年用』, p.63, 1949, 東京: 東京書籍.
22) 文部省: 『理科の本　第五学年用』, pp.19-20, 1947, 東京: 日本書籍.
23) 文部省: 『観察と実験の報告　第五学年用』, p.67-68, 1949, 東京: 日本書籍.
24) 文部省: 『理科の本　第六学年用』, pp.15-17, 1947, 東京: 東京書籍.
25) 財団法人　教育図書研究会編: 『四年生の理科　下』, pp.15-20, 1950, 東京: 学校図書.
26) 理科研究委員会編: 『たのしい理科　4年　F　7.　どうしたらじょうぶなからだになれるか』, pp.12-13, 1950, 東京: 大日本図書.
27) 服部静夫ほか: 『新しい理科　じょうぶなからだになるにはどうすればよいか第4学年用　5』, pp.17-19, 1950, 東京: 東京書籍.

28) 同上書, p.17.
29) 財団法人　教育図書研究会編:『五年生の理科　上』, pp.101-102, 1950, 東京: 学校図書.
30) 前掲書 8), pp.5-6.
31) 理科研究委員会編:『たのしい理科　5 年　E　16.　よい食物をとるにはどうすればよいか　17.　すまいと着物は健康にどんな関係があるか』, pp.14-15, 1951, 東京: 大日本図書.
32) 前掲書 29), pp.102-103.
33) 前掲書 29), pp.128-132.
34) 前掲書 8), pp.7-8.
35) 前掲書 31), pp.15-19.
36) 前掲書 8), p.8.
37) 前掲書 29), pp.123-125.
38) 前掲書 31), pp.17-19.
39) 前掲書 8), pp.9-12.
40) 前掲書 31), pp.10-13.
41) 文部省:『私たちの科学　4　なにをどれだけ食べたら良いか (中学校第 1 学年用)』, pp.4-30, 1947, 東京: 大日本図書.
42) 文部省:『私たちの科学　8　からだはどのようにはたらいているか (中学校第 2 学年用)』 , pp.40-55, 1947, 東京: 大日本図書.
43) 理科研究委員会(第 2 部)編:『中学校理科用　第 2 学年用　私たちの科学研究 No.8　からだはどのようにはたらいているか』, pp.8-10, 1949, 東京: 大日本図書.
44) 入來重盛:『私たちの理科 10 中学第二学年用　私たちのからだ』, pp.5-11, 1947, 東京: 愛育社.
45) 四手井次太郎ほか:『新制理科中学校第 1 学年　第 4 単元　食物と私たち』, p.24, 1949, 東京: 学校図書.
46) 三省堂編修所:『私たちの科学 8　三省堂編修所　中学校第二学年用』, p.14, 1950, 東京: 三省堂.
47) 理科研究委員会(第 2 部)編;『中学校理科用第 2 学年用　私たちの科学研究 No.9 食物はどのようにからだのやしないになるか』, p.14, 1949, 東京: 大日本図書.
48) 前掲書 45), p.11.
49) 三省堂編修所:『私たちの科学 4　何をどれだけ食べたらよいか　中学校第 1 学年用』, p.28, 1949, 東京: 三省堂.
50) 前掲書 47), pp.12, 20-23.

51) 前掲書 45), pp. 8-9.
52) 文部省: 『中学校高等学校学習指導要領理科編昭和 26 年 (1951) 改訂版試案』, pp. 77-82, 1952, 東京: 大日本図書.
53) 科学教育研究所: 『中学生の科学　日常の科学 1』, p. 15, 1952, 東京: 中央書籍.
54) 三省堂編修所: 『中学生の理科　日常の科学(上)第 2 学年用』, p. 12, 1953, 東京: 三省堂.
55) 財団法人科学教育研究会: 『中学理科 2 上』, p. 18, 1954, 東京: 講談社.
56) 科学教育研究所: 『新しい科学 IV 第 2 学年－2』, p. 46, 1954, 東京:中央書籍.
57) 財団法人科学教育研究会: 『改訂中学理科 2 上』, p. 18, 1956, 東京: 講談社.
58) 松井喜三ほか: 『生活と科学　人のからだと衣食住　中学校二年用　上』, p. 16, 1956, 東京: 日本書籍.
59) 真島利行ほか: 『中学理科 2』, p. 188, 1957, 大阪: 大阪書籍.
60) 前掲書 53), pp. 74-75.
61) 前掲書 55), pp. 9-11.
62) 前掲書 57), pp. 9-11.
63) 前掲書 59), p. 184.
64) 三省堂編修所: 『中学生の理科 (四訂版) 3』, p. 114, 1959, 東京: 三省堂.
65) 国井修二郎ほか: 『新訂　中学理科 2』, pp. 102-104, 1960, 大阪:大阪書籍.
66) 東京教育大学内中学理科研究会: 『改訂　私たちの理科　第二学年用　上巻』, p. 16, 1953, 東京: 愛育社.
67) 湯川秀樹ほか: 『中学校理科　2 年上』, p. 144, 1954, 東京:学校図書.
68) 湯川秀樹ほか: 『中学校理科 2 年』, pp. 103-104, 1958, 東京:学校図書.
69) 前掲書 9), pp. 43-52.
70) 理科研究委員会(第一部): 『たのしい理科新版 5 年-1』, pp. 76-77, 1953, 東京: 大日本図書.
71) 阿部余四男, 中江大部ほか: 『理科の学習　五年生　上』, p. 67, 1953, 東京: 学校図書.
72) 茅誠司, 服部静夫ほか: 『改訂　新しい理科　5 年上』, pp. 80-83, 1953, 東京: 東京書籍.
73) 東北理科研究委員会, 新潟県理科教育研究会編: 『私たちの理科　5 年上』, pp. 72-75, 1953, 東京: 大日本図書.
74) 内藤卯三郎ほか, 『小学理科五年上』, p. 89, 1953, 大阪: 啓林館.
75) 理科研究委員会(第一部): 『たのしい理科改版　5 年-1』, pp. 55-57, 1954, 東京: 大日本図書.

76) 湯川秀樹ほか：『小学校理科五年上』，pp.74-76，1954，東京：学校図書.
77) 茅誠司，服部静夫ほか：『新編　新しい理科　5年上』，pp.46-47，1957，東京：東京書籍.
78) 文部省：『小学校学習指導書理科編Ⅰ　実験・観察などの方法下』，pp.158-160，1954，東京：明治図書.
79) 文部省：『小学校理科実験と観察-理科実験講座指導書-』，pp.114-116，1958，東京：大日本図書.
80) 文部省：『小学校理科実験と観察-理科実験講座指導書-昭和 34 年度改訂版』，pp.146-148，1959，東京：大日本図書.
81) 文部省：『中学校理科実験と観察-理科実験講座指導書-』，pp.136-137，1958，東京：大日本図書.
82) 文部省：『中学校理科実験と観察-理科実験講座指導書-昭和 34 年度改訂版』，pp.194-195，1959，東京:大日本図書.
83) 文部省：『小学校学習指導要領』，pp.101-108，1958，東京:大蔵省印刷局.
84) 茅誠司，服部静夫ほか：『新しい理科　4 年　下』，pp.18-24，1960，東京：東京書籍.
85) 岡田要，坪井忠二ほか：『理科 4 年 2』，pp.3-11，1960，東京：大日本図書.
86) 緒方富雄ほか：『小学校理科 4 年下』，pp.12-19，1960，東京：学校図書.
87) 大槻虎男，藤原武夫ほか：『標準理科　4 年』，pp.148-157，1960，東京：教育出版.
88) 内藤卯三郎ほか：『小学新理科 4 年下』，pp.28-36，1960，大阪：啓林館.
89) 茅誠司，服部静夫ほか：『新編　新しい理科　4 年　下』，pp.10-19，1964，東京：東京書籍.
90) 岡田要，坪井忠二ほか：『小学校理科 4 年 2』，pp.26-33，1964，東京：大日本図書.
91) 緒方富雄ほか：『小学校理科 4 年下』，pp.12-19，1964，東京：学校図書.
92) 和達清夫ほか：『新版　標準理科 4 年下』，pp.12-19，1964，東京：教育出版.
93) 内藤卯三郎ほか：『改訂小学新理科 4 年下』，pp.18-28，1964，大阪：啓林館.
94) 茅誠司，服部静夫ほか：『新訂　新しい理科　4 年　下』，pp.10-19，1967，東京：東京書籍.
95) 岡田要，坪井忠二ほか：『新訂版小学校理科 4 年 2』，pp.18-24，1967，東京：大日本図書.
96) 緒方富雄ほか：『小学校理科 4 年下』，pp.12-20，1967，東京：学校図書.
97) 和達清夫ほか：『新訂　標準理科 4 年下』，pp.12-19，1967，東京：教育出版.
98) 内藤卯三郎ほか：『再訂小学新理科 4 年下』，pp.18-28，1967，大阪：啓林館.

99) 文部省:『中学校学習指導要領』, pp.87-90, 1958, 東京: 大蔵省印刷局.
100)文部省:『中学校理科指導書』, pp.65-66, 1959, 東京: 実教出版.
101)藤原武夫, 大槻虎男ほか: 『標準　中学理科　2』, pp.157-160, 1961, 東京: 教育出版.
102)小谷正雄ほか: 『中学校　理科　2』, pp.248-250, 1961, 東京: 中教出版.
103)茅誠司, 服部静夫ほか: 『新訂　新しい科学　2年』, pp.103-104, 1960, 東京: 東京書籍.
104)岡田要, 坪井忠二ほか: 『中学校理科2年(第二分野)』, pp.54-57, 1961, 東京: 大日本図書.
105)内藤卯三郎ほか: 『中学新理科　2年　全』, pp.224-229, 1961, 大阪: 啓林館.
106)三省堂編修所: 『中学生の理科　2年-II』, pp.43-45, 1961, 東京: 三省堂.
107)印東弘玄, 池本義夫ほか:『新しい中学理科2年』, pp.167-168, 1961, 東京: 清水書院.
108)科学教育研究会: 『中学生の科学2』, pp.207-212, 1961, 京都: 学芸出版社.
109)朝永振一郎ほか: 『中学理科2学年』, pp.178-181, 1961, 東京: 大原出版.
110)大島文義ほか: 『中学理科2』, pp.204-205, 1961, 東京: 学研書籍.
111)湯川秀樹ほか: 『中学校理科　二年』, pp.173-180, 1962, 東京: 学校図書.
112)茅誠司, 服部静夫ほか: 『新編　新しい科学　2年』, pp.176-180, 1965, 東京: 東京書籍.
113)岡田要, 坪井忠二ほか: 『新版　中学校理科2』, pp.207-210, 1965, 東京: 大日本図書.
114)湯川秀樹ほか: 『中学校理科2』, pp.202-204, 1965, 東京: 学校図書.
115)和達清夫ほか: 『新版　標準　中学理科』, pp.172-175, 1965, 東京: 教育出版.
116)内藤卯三郎ほか: 『改訂中学新理科2年』, pp.219-221, 1965, 大阪: 啓林館.
117)三輪知雄ほか: 『みんなの科学　中学2年』, pp.183-184, 1965, 東京: 三省堂.
118)湯川秀樹ほか: 『中学校理科2』, pp.178-181, 1968, 東京: 学校図書.
119)内藤卯三郎ほか: 『再訂　中学新理科2』, pp.212-215, 1968, 大阪: 啓林館.
120)湯川秀樹ほか: 『理科　中学2』, p.116, 1960, 東京: 学校図書.
121)茅誠司, 服部静夫ほか: 『新訂　新しい科学　2年』, pp.177-180, 1968, 東京: 東京書籍.
122)岡田要, 坪井忠二ほか:『新訂版　中学校理科2』, pp.211-215, 1968, 東京: 大日本図書.
123)藤井隆, 蓮沼宏ほか: 『新しい理科　4下』, pp.15-17, 1970, 東京: 東京書籍.
124)坪井忠二, 藤田 穆ほか: 『小学校新理科4年1』, pp.49-51, 1970, 東京: 大日本図書.

125)菊池正士ほか：『小学校理科 4 年下』，pp.20-21，1970，東京：学校図書.
126)和達清夫ほか：『新版　標準理科　4 年上』，pp.84-88，1970，東京：教育出版.
127)永田義夫ほか：『理科 4 下』，pp.12-16，1970，大阪：啓林館.
128)和達清夫ほか：『新版　標準理科　4 年上』，pp.84-88，1972，東京：教育出版.
129)藤井隆，蓮沼宏ほか：『新訂　新しい理科　4　下』，pp.16-19，1973，東京：東京書籍.
130)坪井忠二，岩橋八洲民ほか：『改訂小学校新理科 4 年 1』，pp.49-51，1973，東京：大日本図書.
131)菊池正士ほか：『小学校理科 4 年下』，pp.20-21，1973，東京：学校図書.
132)和達清夫ほか：『改訂　標準理科　4 年上』，pp.84-88，1973，東京：教育出版.
133)永田義夫ほか：『改訂理科 4 下』，pp.12-16，1973，大阪：啓林館.
134)藤井隆，蓮沼宏ほか：『新編　新しい理科　4 年　下』，pp.15-16，1976，東京：東京書籍.
135)前川文夫ほか：『小学校理科 4 年上』，p.51，1976，東京：学校図書.
136)和達清夫ほか：『新版理科 4 年上』，pp.46-49，1976，東京：教育出版.
137)永田義夫，大木道則ほか：『新訂理科 4 下』，pp.12-14，1976，大阪：啓林館.
138)前掲書 11)，pp.26-29.
139)前掲書 12)，pp.26-29.
140)菊池正士ほか：『小学校理科 6 年上』，p.67，1970，東京：学校図書.
141)永田義夫ほか：『理科 6 上』，p.90，1970，大阪：啓林館.
142)菊池正士ほか：『小学校理科 6 年上』，p.67，1973，東京：学校図書.
143)永田義夫ほか：『改訂理科 6 上』，p.90，1973，大阪：啓林館.
144)永田義夫，大木道則ほか：『新訂理科 6 上』，p.76，1976，大阪：啓林館.
145)文部省：『中学校指導書理科編』，pp.172-174，1970，東京：大日本図書.
146)伏見康治，前川文夫ほか：『中学校理科第二分野上』，p.171，1974，東京：学校図書.
147)坪井忠二，岩橋八洲民ほか：『新版　中学校　新理科　2 分野上』，pp.138-139，1977，東京：大日本図書.
148)蓮沼宏，藤井隆ほか：『新編　新しい科学　2 分野　上』，pp.138-139，1978，東京：東京書籍.
149)伊勢村寿三，永田義夫ほか：『新訂理科 2 上』，p.178，1977，大阪：啓林館.
150)同上書，p.174.
151)文部省：『中学校指導書理科編』，p.87，1978，東京：大日本図書.
152)和達清夫ほか：『中学理科　第 2 分野　上』，pp.147-148，1980，東京：教育出版.

153)和達清夫ほか：『改訂中学理科第２分野　上』，p.147，1983，東京：教育出版.
154)藤井隆ほか：『新しい科学　２分野　上』，pp.148-149，1980，東京：東京書籍.
155)坪井忠二，岩橋八洲民ほか：『中学校　理科２分野　上』，p.143，1980，東京：大日本図書.
156)大木道則ほか：『理科２分野上』，p.124，1980，大阪：啓林館.
157)藤井隆ほか：『改訂　新しい科学　２分野　上』，pp.148-149，1983，東京：東京書籍.
158)坪井忠二，岩橋八洲民ほか：『改訂中学校理科　２分野上』，p.143，1983，東京：大日本図書.
159)大木道則ほか：『改訂　理科２分野上』，p.138，1983，大阪：啓林館.
160)戸田盛和ほか：『たのしい理科６年下』，p.22，1992，東京：大日本図書.
161)霜田光一，沼田 真ほか：『小学校理科 ６ 年上』，pp.63-65，1992，東京：学校図書.
162)戸田盛和ほか：『新版たのしい理科６年下』，p.25，1996，東京：大日本図書.
163)日高敏隆ほか：『小学校理科６年下』，pp.22-24，1996，東京：学校図書.
164)戸田盛和，有田朗人ほか：『新訂　たのしい理科　６上』，pp.25-26，2000，東京：大日本図書.
165)日高敏隆ほか：『みんなと学ぶ小学校理科 ６年 下』，pp.22-24，2000，東京：学校図書.
166)上田誠也ほか：『新しい科学２分野上』，p.117，1993，東京：東京書籍.
167)上田誠也ほか：『新編新しい科学２分野上』，p.119，1997，東京：東京書籍.
168)新しい科学編集委員会，東京書籍株式会社編集部：『新しい科学２上　教師用指導書』，pp.293-294，1993，東京：東京書籍.
169)新編新しい科学編集委員会，東京書籍株式会社編集部：『新編新しい科学 ２ 上 教師用指導書』，pp.302-303，1997，東京：東京書籍.
170)文部省：『中学校指導書理科編』，pp.79-84，1989，東京：学校図書.
171)三浦登，奥井智久ほか：『新しい理科　６　上』，pp.22-24，2002，東京：東京書籍.
172)日高敏隆ほか：『みんなと学ぶ小学校理科 ６年 下』，pp.34-35，2002，東京：学校図書.
173)竹内敬人ほか：『理科６年上』，pp.18-21，2002，大阪：啓林館.
174)三浦登，奥井智ほか：『新編　新しい理科　６年　上』，pp.24-26，2005，東京：東京書籍.
175)日高敏隆ほか：『みんなと学ぶ小学校理科 ６年』，pp.41-43，2006，東京：学校図書.

176)養老孟司，角屋重樹ほか：『小学理科 6 上』，pp. 8-11，2006，東京：教育出版.
177)文部省：『中学校学習指導要領（平成 10 年 12 月）解説－理科編－』，pp. 71-76，1999，東京：大日本図書.
178)戸田盛和ほか：『中学校理科 2 分野上』，p. 118，2002，東京：大日本図書.
179)前掲書 7)，p. 140.
180)遠藤純夫ほか：『教師用指導書　中学校理科 2 分野上』，p. 344，2002，東京：大日本図書.
181)遠藤純夫ほか：『教師用指導書　新版中学校理科 2 分野上』，pp. 335-336，2006，東京：大日本図書.
182)毛利衛，黒川玲子ほか：『新しい理科　6』，p. 28，2011，東京：東京書籍.
183)有馬朗人ほか：『たのしい理科 6 年-1』，p. 34，2011，東京：大日本図書.
184)養老孟司，角屋重樹ほか：『地球となかよし 小学理科 6』，p. 24，2011，東京：教育出版.
185)前掲書 182)，pp. 30-31.
186)前掲書 183)，p. 35.
187)前掲書 184)，pp. 26-27，30.
188)大隅良典ほか：『わくわく理科　6』，p. 36，2011，大阪：啓林館.
189)日高敏隆ほか：『みんなと学ぶ小学校理科　6 年』，pp. 32-33，2011，東京：学校図書.
190)前掲書 182)，p. 31.
191)前掲書 189)，p. 33.
192)前掲書 184)，p. 30.
193)前掲書 174)，p. 26.
194)前掲書 175)，p. 43.
195)前掲書 176)，p. 11.
196)前掲書 4)，p. 74.
197)塚田捷ほか：『未来へひろがるサイエンス 2』，pp. 12-17，2011，大阪：啓林館.
198)細矢治夫ほか：『自然の探究　中学校理科 2』，pp. 128-133，2011，東京：教育出版.
199)霜田光一ほか：『中学校科学 2』，pp. 129-134，2011，東京：学校図書.
200)有馬朗人ほか：『理科の世界 2 年』，pp. 100-107，2011，東京：大日本図書.
201)岡村定矩，藤嶋昭ほか：『新しい科学　2 年』，pp. 84-89，2011，東京：東京書籍.
202)前掲書 197)，pp. 15-16.
203)前掲書 200)，pp. 104-150.

204)前掲書 201), pp.87, 89.
205)前掲書 201), p.88.
206)前掲書 200), p.151.
207)中村日出夫: 『理科の世界　2 年　教師用指導書　上』, pp.392-393, 2011, 東京: 大日本図書.
208)前掲書 83), pp.101-108.
209)前掲書 99), pp.87-90.
210)Watkins, P. A., Emiliani, C., Chiaverina, C. J., Harper, C. T., LaHart, D. E.: *GENERAL SCIENCE*, pp.569-570, 1989, Florida: Harcourt Brace Jovanovich.
211)Campbell, N. A., Reece, J. B. (小林　興　監訳): 『キャンベル生物学』, pp.952-959, 964, 2007, 東京: 丸善.
212)前掲書 210), pp.569-570.
213)前掲書 41), pp.4-30.
214)前掲書 42), pp.40-55.
215)前掲書 145), pp.172-174.
216)前掲書 149), p.174.
217)田幡憲一, マリルー M. ウビーニャ: 「探究の過程としての脂肪の消化　-ちょっと前の教材の検討 (3) -」, 遺伝, **48**(2), pp.63-67, 1994, 遺伝学普及会.
218)河淵計明, 上向井利之: 「食品の加水分解生成物の検出に対する薄層クロマトグラフィーの教材的応用」, 化学教育, **33**(4), pp.334-337, 1985, 日本化学会.
219)金田信ほか: 「タンパク質の加水分解の進行にともなうビウレット反応とニンヒドリン反応の呈色の変化」, 化学と教育, **45**(5), pp.276-277, 1997, 日本化学会.
220)伊藤敏幸ほか: 「ミミズの酵素液によるタンパク質の加水分解実験」, 化学と教育, **42**(12), pp.841-843, 1994, 日本化学会.
221)山根平太郎: 「酵素入り洗剤の中の酵素のはたらきを調べる」, 化学と教育, **46**(6), p.380, 1998, 日本化学会.
222)河淵計明, 池田明美: 「タンパク質 (卵白) およびデンプンの酵素による加水分解と分解生成物の透析膜による分離」,化学と教育, **35**(5), pp.445-447, 1987, 日本化学会.
223)武田一美: 『おもしろい化学の実験』, pp.29-32, 1992, 東京: 東洋館出版社.
224)西村善久仁: 「タンパク質消化酵素-失敗から学ぶ実験　-ちょっと前の教材の検討 (2) -」, 遺伝, **48**(1), pp.84-87, 1994, 遺伝学普及会.
225)大鹿聖公, 池田秀雄:「タンパク質の消化に関する実験の開発」, 生物教育, **34**(3), pp.221-226, 1994, 日本生物教育学会.

226)前掲論文 218)に同じ.
227)前掲論文 219)に同じ.
228)前掲論文 220)に同じ.
229)前掲論文 221)に同じ.
230)前掲論文 222)に同じ.
231)前掲論文 225)に同じ.
232)独立行政法人科学技術振興機構理科教育支援センター: 『平成 20 年度小学校理科教育実態調査及び中学校理科教師実態調査に関する報告書 (改訂版)』, pp.26-31,
http://www.jst.go.jp/cpse/risushien/investigation/cpse_report_006A.pdf, 2009, 独立行政法人科学技術振興機構理科教育支援センター(2014年11月現在).
233)独立行政法人科学技術振興機構理数学習支援センター:『平成 24 年度中学校理科教育実態調査集計結果 (速報)』, pp.20-24,
http://www.jst.go.jp/cpse/risushien/secondary/cpse_report_016.pdf, 2013, 独立行政法人科学技術振興機構理数学習支援センター (2014 年 11 月現在) .
234)前掲論文 224)に同じ.
235)前掲論文 218)に同じ.
236)前掲論文 222)に同じ.
237)前掲書 223), pp.29-32.
238)前掲論文 225)に同じ.
239)真船和夫:『真船和夫著作集　第 3 巻　子どもの発達と教材・授業』, pp.147-149, 1986, 東京: あずみの書房.
240)同上書, pp.89-91.
241)柴田義松:『授業の基礎理論　[授業研究基本図書選 6]』, pp.23-26, 69-70, 1974, 東京: 明治図書出版.
242)前掲書 239), pp.70-73.

3. タンパク質と脂肪の消化に関する実験教材開発

第 2 章で述べたように，タンパク質と脂肪の消化についての授業は，アミノ酸や脂肪酸，グリセリンが消化によって生成することを化学的な実験で検証しながら学習を展開する形で行われてこなかったといえる。タンパク質や脂肪が消化されて何に変化するのかを確認できる簡便で安価な実験教材が報告されていなかったため，授業実践のための教材研究も困難であったと思われる。そこで，まず消化によるタンパク質と脂肪の分解生成物を検出する実験教材の開発を目指した。

3.1 研究方法

3.1.1 タンパク質の消化に関する実験教材開発

3.1.1.1 試薬と実験機器

この実験教材開発で用いた試薬は全て特級である。試験管は通常理科室で用いられているような口径がφ15〜18 mm のものを用いた。pH の測定にはホリバ D-22 と D-53，遠心分離機は日立 CR 20G とアングルローターR20A2（R_{max} = 10.74 cm，R_{min} = 5.56 cm）を用いた。スペクトルの測定のために日立分光光度計 UV-1800 と日本分光 V-650ST を光路長 1.0 cm のキュベットと共に用いた。UV-1800 の制御には日立 UV-ソリューション Windows XP 用プログラムを用いた。

3.1.1.2 人工消化液の調製

消化液の調製は室温で行った。まず，市販の消化薬の含有成分表からタンパク質消化酵素が多く含まれ，他の成分の含有量が少ないものを選定した。今回はバランサー胃腸薬（大正製薬株式会社製）を選定し，沖縄県内の薬店もしくはインターネットの通信販売で購入して基礎的な実験条件を確定するのに用いた。

1 包を約 90 mL の純水[注1]に溶解し 15 分間撹拌・抽出した。その後，不溶成分を東洋ろ紙 No. 2（アドバンテック東洋ろ紙会社製）でろ過，もしくは遠心分離(25℃, 48,000×*g*, 10 分間)で除去した。除去後の溶液の pH は 9.35 であり，含有されているプロテアーゼであるビオザアスターゼ 2000（*Aspergillus oryzae*）及びプロザイム 6（*Aspergillus melleus*）の至適 pH[注2]ではなく，さらにニンヒドリン反応が起こる pH4〜8 ではない[1)]ため，このまま実験に用いるのにはふさわしくないと考えた。そのため，塩酸を用いて pH を 6.0 と 8.0 に調整し，全量を 100 mL としたものを人工消化液とした。対照として一度煮沸し酵

素を失活させたものも調製した。

3.1.1.3 タンパク質とアミノ酸の検出

タンパク質とアミノ酸の検出は金田らの研究[2)]に倣い，ペプチド結合を検出するビウレット反応ならびに遊離アミノ基を検出するニンヒドリン反応を用いた。呈色の確認は目視ならびにビウレット反応は 540 nm，ニンヒドリン反応は 570 nm における吸光度の測定で行った。

ビウレット反応には Chromy 試薬[3-4)]を用いた。Chromy 試薬は，硫酸銅(Ⅱ)5 水和物 3.90 g とエチレンジアミン四酢酸二水素二ナトリウム 2 水和物 6.70 g を水に溶かして約 700 mL にしたものと，水酸化ナトリウム 40.0 g を水に溶かして約 200 mL にした溶液を混合して全量を 900 mL にしたものである。ビウレット反応は試料溶液 1.0 mL に Chromy 試薬 4.0 mL を加え撹拌して行った。

ニンヒドリン反応に用いたニンヒドリン溶液は次の要領で調製，保存したものを用いた。A 液として塩化スズ 2 水和物 0.40 g とクエン酸 4.30 g，クエン酸三ナトリウム 2 水和物 8.70 g を水に溶かして約 200 mL とし，塩酸または水酸化ナトリウム水溶液で pH 5.0 に調整したものを 250 mL 調製した。次いで B 液として，ニンヒドリン 10.0 g を 2-メトキシエタノール（メチルセロソルブ）で溶解させ全量を 250 mL としたものを調製した。その後 A 液と B 液を混合し褐色瓶で遮光冷蔵保存した[5)]。ニンヒドリン反応は鋭敏で少量のタンパク質でも反応するため[6)]，試料溶液を 10 倍に希釈したもの 2.0 mL にニンヒドリン溶液 2.0 mL を加え撹拌した後，沸騰湯浴中で 10 分間加熱することで反応を確認した。

3.1.1.4 基質となるタンパク質の選定

基質となるタンパク質は,安価で身近なものとして,かつおぶし(けずり節)，卵白，木綿豆腐，製菓用ゼラチンを沖縄県内のスーパーマーケットで購入して用いた。かつおぶしは，そのまま(0.01 g)の他，表面積を均一にするため乳鉢で粉砕したもの(0.1 g)，製造過程で生じるアミノ酸を除去するため煮出して一日乾燥させたもの(0.05 g)を用いた。卵白には紐状にして表面積を広くする工夫[7)]を施そうとしたが，壊れやすく一定量はかりとることが困難であったため断念し，卵白を試験管に 2.0 mL 注ぎ，沸騰湯浴中で凝固させたものを用いた。木綿豆腐は，見た目が同じ大きさの立方体(1.0 g)になるように切り分けて用いた。ゼラチンは，80℃の水道水 50 mL にゼライス（マルハ株式会社製）2.0 g を溶かし，試験管に直接 2.0 mL 注いだ後，冷やし固めたものを用いた。

3.1.1.5 消化

一定量のタンパク質が入っている試験管に人工消化液を注ぎ,40℃で 24 時間反応させた。基質がゼラチンの場合には，25℃でも実験した。緩衝液の有無の影響を調べる際には，人工消化液 9.0 mL と pH を 6.0 か 8.0 のいずれかに調整した 0.5 mol/L リン酸-クエン酸緩衝液もしくは水 1.0 mL を試験管に注いだ。それ以外では人工消化液を 10.0 mL 注いだ。基質がゼラチンの場合，反応後さらに 1 時間以上冷蔵庫で冷却した。反応の前後でのタンパク質の変化を目視で確認し，ビウレット反応，ニンヒドリン反応を行うとともに必要に応じて反応溶液の pH を測定した。

3.1.1.6 他の消化薬や簡易な方法での検証

市販の消化薬には多種多様なものがある。実際の授業実践を想定すれば，入手しやすい消化薬を使用して実験することも十分に考えられる。そこで，他の消化薬でも同様の結果が得られるかどうかを確認するため,ハイウルソ顆粒(佐藤製薬株式会社製)，ワカモト消化薬（わかもと製薬株式会社製)，新ビオヂアス（天野商事株式会社製)，新タカヂア錠（第一三共ヘルスケア株式会社製）でも同様の実験を行った。バランサー胃腸薬を含め，タンパク質の消化の実験教材開発の酵素源として使用した各消化薬の成分を表 3.1 に示す。錠剤は乳鉢で粉砕した後に用いた。バランサー胃腸薬の時と同様に 1 回分の服用量を用いて人工消化液を調製した。これらの消化薬にはプロザイム 6 は含まれていないため，塩酸または水酸化ナトリウム水溶液で pH を 6.0 に調整したものと，未調整のもので実験した。対照として一度沸騰させ酵素を失活させた消化液も調製した。沸騰の際に生じた沈殿は，遠心分離もしくはろ過で除去した。

一方，ビウレット反応，ニンヒドリン反応も簡易な溶液[8)]で呈色可能かどうかを目視で確認した。簡易ビウレット反応は，試料溶液 1.0 mL に 20%(W/V)水酸化ナトリウム水溶液 1.0 mL を加え，よく撹拌した後，5%(W/V)硫酸銅(Ⅱ)水溶液を 2～3 滴加えて再度撹拌した後，呈色を目視確認した。簡易ニンヒドリン反応では，ニンヒドリン 0.2ｇをエタノール 1.0 mL に溶解した後に水で 100 mL にしたものを簡易ニンヒドリン試薬として用いた。10 倍に希釈した試料溶液 1.0 mL に簡易ニンヒドリン試薬を 4～5 滴加えてよく撹拌した後，沸騰湯浴中で 10 分間加熱したものの呈色を目視で確認した。

さらにより簡便な方法を探るため，尿タンパク試験紙新ウリエース BT（テルモ株式会社製）でも確認した。この尿検査試験紙は消化薬と同様に沖縄県内の薬店で購入した。

表 3.1　タンパク質の消化の実験教材開発で用いた消化薬の成分一覧

消化薬名	バランサー胃腸薬（1包中）		ハイウルソ顆粒（3包中）		ワカモト消化薬（9錠中）		新ビオヂアス（9錠中）		新タカヂア錠（12錠中）	
成分	ビオヂアスターゼ2000	30 mg	ウルソデオキシコール酸	60 mg	ビオヂアスターゼ2000	60 mg	ビオヂアスターゼ2000	135 mg	タカヂアスターゼN1	600 mg
	プロザイム6	6.7 mg	ビオジアスターゼ2000	30 mg	ニューラーゼ	240 mg	リパーゼAP12	30 mg		
	リパーゼAP6	30 mg	リパーゼAP6	30 mg	ウルソデオキシコール酸	12 mg	ニューラーゼ	90 mg		
	ケイヒ末	133.3 mg	ケイヒ末	180 mg						
	ショウキョウ末	15 mg	ウイキョウ末	180 mg						
	ソウジュツ末	15 mg	ゲンチアナ末	90 mg						
	コウボク末	15 mg								
	チンピ末	15 mg								
	合成ヒドロタルサイト	300 mg								
	炭酸水素ナトリウム	150 mg								
添加物	D-ソルビトール，D-マンニトール，ヒドロキシプロピルセルロース，*l*-メントール，香料，プロピレングリコール，CMC，トウモロコシデンプン，乳糖水和物，ポリソルベート80，タルク，二酸化ケイ素		*l*-メントール，ポビドン，乳糖		ケイヒ末，*l*-メントール，結晶セルロース，トウモロコシデンプン，硬化油		無水ケイ酸，トウモロコシデンプン，炭酸Ca，白糖，乳糖水和物，セルロース，バレイショデンプン，ケイ酸Al，リン酸水素Ca水和物，硬化油，ステアリン酸Mg，オレンジ油		タルク，ステアリン酸Mg，ヒドロキシプロピルセルロース，CMC-Ca，メタケイ酸アルミン酸Mg，デキストリン，D-マンニトール	

各消化薬の製品添付文章より（各成分記載順は製品添付文章の順番に同じ）

バランサー胃腸薬以外は1日3回の服用量で記載されていた

3.1.1.7 実験後の廃液処理（注意）

ビウレット反応[9-11]では銅イオンを用いている。ニンヒドリン溶液[12]には2-メトキシエタノールやスズイオンが含まれているため，安易に反応後の溶液を流し台から捨ててはならない。適切な廃液処理を施すことが求められる。

3.1.2 脂肪の消化に関する実験教材開発

3.1.2.1 材料と方法

この実験教材開発で用いたオレイン酸とエタノール以外の全ての試薬は特級以上のものを用いた。オレイン酸とエタノールは1級以上のものを用いた。試験管は口径がφ16 mm以上のものを用いた。pHの測定にはホリバD-53，遠心分離機は日立CR 20GとアングルローターR20A2(R_{max} = 10.74 cm, R_{min} = 5.56 cm)を用いた。スペクトルの測定のために日立分光光度計UV-1800と光路長1.0 cmのキュベットを用い，UV-1800 の制御と測定結果の分析に日立 UV-ソリューション Windows XP用プログラムを用いた。

基質は「第十四改正日本薬局方」の消化力試験法[13]に倣い，オリーブ油を選定した。今回は,「味の素　オリーブオイルエクストラヴァージン（J-オイルミルズ社製)」を沖縄県内のスーパーマーケットで購入して用いた。

消化薬は，外装の有効成分表を見て，消化酵素が多く含まれ，他の成分の含有量が少ないものを選定した。今回は，ビオフェルミン健胃消化薬錠（ビオフェルミン製薬株式会社製)を選定し,基礎的な実験条件を確定するのに用いた。含有されている脂肪分解酵素はリパーゼAP6とニューラーゼであった。リパーゼAP6(*Aspergillus niger*)の至適pHは5.0～7.0,安定pHは2.0～10.0であり，脂肪分解酵素としてのニューラーゼ(*Rhizopus niveus*)の至適pHは6.5～7.5，安定pHは4.0～8.0である[注2]。また，タンパク質の消化実験と同様に，有効成分がビオフェルミン健胃消化薬錠と似ている他の消化薬でも実験した。それらはバランサー胃腸薬（大正製薬株式会社製)，ハイウルソ顆粒（佐藤製薬株式会社製)，ワカモト消化薬（わかもと製薬株式会社製）と新ビオヂアス（天野商事株式会社製）である。さらに，脂肪分解酵素が含まれていない消化薬でネガティブな結果が得られることを確認するために新タカヂア錠（第一三共ヘルスケア株式会社製）でも実験した。これらの消化薬はタンパク質の消化実験と同様に沖縄県内の薬店もしくはインターネットの通信販売で購入した。

3.1.2.2 人工消化液の調製

人工消化液の調製はタンパク質の実験と同様に室温で行った。ビオフェルミン健胃消化薬錠は，6錠（1日服用量）あたりに90 mgのリパーゼAP6と210 mg

のニューラーゼという脂肪分解酵素を含んでいる。そこで，0.10%(W/V)リパーゼ AP6 溶液を調製するために，1 錠を 15 mL の純水[注 1]に溶解した。同様に 0.50%(W/V)，1.0%(W/V)，2.5%(W/V)，5.0%(W/V)のリパーゼ AP6 溶液を調製するために，それぞれ 3 錠，6 錠，15 錠，30 錠を 9.0 mL の純水に溶解した。錠剤は乳鉢で粉砕してから用い，溶液を 20 分間スターラーで撹拌して抽出した。抽出したリパーゼ AP6 やニューラーゼや可溶性の他の成分を含む溶液を 50 mL の遠心チューブに移し，48,000×g の遠心力で 10 分間遠心分離した。

遠心分離後，失活した消化液を調製するために，上澄みの一部を沸騰させて酵素を失活させた。沸騰で生じた沈殿は，ディスポーザブルシリンジフィルターユニット DISMIC-25HP 045AN（アドバンテック東洋ろ紙会社製）で除去した。また，上澄みを消化液として用いる前に，室温で溶液の pH を測定した。

タンパク質の実験と同様に，他の消化薬でも同様の結果が得られるかどうかを確認するため，0.50%(W/V)リパーゼ AP6 もしくは 1.2%(W/V)ニューラーゼ溶液となるように他の消化薬でも消化液を調製した。すなわちバランサー胃腸薬 1 包（1 包あたり 30 mg のリパーゼ AP6 含有）を純水 6.0 mL に溶解，抽出した。ハイウルソ顆粒 3 包（3 包で 30 mg のリパーゼ AP6 含有）を純水 6.0 mL に溶解，抽出した。9 錠のワカモト消化薬（9 錠中に 240 mg のニューラーゼを含有）を純水 20 mL に溶解，抽出した。さらに，9 錠の新ビオヂアス（9 錠中に 30 mg のリパーゼ AP12 を含有；リパーゼ AP12(*Aspergillus niger*)の至適 pH と安定 pH はリパーゼ AP6 と同じだが，リパーゼ AP12 が 12,000～15,000 U/g に対してリパーゼ AP6 が 6,000～7,500 U/g というように規格の違いがある[注 2]）を純水 6.0 mL に溶解，抽出し 0.50%(W/V)リパーゼ AP12 溶液とした。いずれも消化薬が錠剤の場合には乳鉢で粉砕してから用いた。また，新タカヂア錠 1 錠（4 錠中に 200 mg のタカヂアスターゼ N1 を含有；これは脂肪分解酵素ではない）を乳鉢で粉砕後，水 10 mL に溶解，抽出し 0.50%(W/V)タカヂアスターゼ N1 溶液とした。脂肪の消化の実験教材開発の酵素源として使用した各消化薬の成分を表 3.2 に示す。

表 3.2 脂肪の消化の実験教材開発で用いた消化薬の成分一覧

消化薬名	ビオフェルミン健胃消化薬錠（6錠中）		バランサー胃腸薬（1包中）		ハイウルソ顆粒（3包中）		ワカモト消化薬（9錠中）		新ビオヂアス（9錠中）		新タカヂア錠（12錠中）	
成分	リパーゼAP6	90 mg	ビオヂアスターゼ2000	30 mg	ウルソデオキシコール酸	60 mg	ビオヂアスターゼ2000	60 mg	ビオヂアスターゼ2000	135 mg	タカヂアスターゼN1	600 mg
	ニューラーゼ	210 mg	プロザイム6	6.7 mg	ビオジアスターゼ2000	30 mg	ニューラーゼ	240 mg	リパーゼAP12	30 mg		
	ビオヂアスターゼ2000	60 mg	リパーゼAP6	30 mg	リパーゼAP6	30 mg	ウルソデオキシコール酸	12 mg	ニューラーゼ	90 mg		
	ガジュツエキス	30 mg	ケイヒ末	133.3 mg	ケイヒ末	180 mg						
	ゲンチアナ乾燥エキス	20 mg	ショウキョウ末	15 mg	ウイキョウ末	180 mg						
	ケイヒ末	120 mg	ソウジュツ末	15 mg	ゲンチアナ末	90 mg						
	ショウキョウ末	60 mg	コウボク末	15 mg								
	アカメガシワエキス	65 mg	チンピ末	15 mg								
	ラクトミン（乳酸菌）	18 mg	合成ヒドロタルサイト	300 mg								
			炭酸水素ナトリウム	150 mg								
添加物	トウモロコシデンプン，アメ粉，デキストリン，タルク，ステアリン酸マグネシウム		D-ソルビトール，D-マンニトール，ヒドロキシプロピルセルロース，*DL*-メントール，香料，プロピレングリコール，CMC，トウモロコシデンプン，乳糖水和物，ポリソルベート80，タルク，二酸化ケイ素		*l*-メントール，ポビドン，乳糖		ケイヒ末，*l*－メントール，結晶セルロース，トウモロコシデンプン，硬化油		無水ケイ酸，トウモロコシデンプン，炭酸Ca，白糖，乳糖水和物，セルロース，バレイショデンプン，ケイ酸Al，リン酸水素Ca水和物，硬化油，ステアリン酸Mg，オレンジ油		タルク，ステアリン酸Mg，ヒドロキシプロピルセルロース，CMC-Ca，メタケイ酸アルミン酸Mg，デキストリン，D-マンニトール	

各消化薬の製品添付文章より（各成分記載順は製品添付文章の順番に同じ）

バランサー胃腸薬以外は1日3回の服用量で記載されていた

3.1.2.3 グリセリンの検出

グリセリンの検出は Spagnolo, F.の方法 [14] を一部修正して行った。まず，21%(W/V)水酸化ナトリウム水溶液と，10%(W/V)塩化銅(Ⅱ)2 水和物のエタノール溶液を調製した。試験管に取り分けられた 0.50 mL の試料溶液に，0.50 mL の 21%(W/V)水酸化ナトリウム水溶液を注ぎよく撹拌した。そこに 3.0 mL のエタノールと 0.30 mL の 10%(W/V)塩化銅(Ⅱ)エタノール溶液を加え，すぐに約 2 分間ボルテックスミキサーを用いてよく撹拌した。その後，エタノールを溶液全体が 5.0 mL になるまで加え，50 mL の遠心チューブに移した。それを 12,000 ×*g* で 10 分間遠心分離した。透明な上澄みをキュベットに移して 750-350 nm での吸収スペクトルを測定するとともに 635 nm での吸光度を求めた。また，このサンプルの吸収スペクトルのデータと対照溶液の吸収スペクトルのデータとの差をとり，吸収差スペクトルを算出した。

3.1.2.4 オレイン酸や，混入したオリーブ油，消化液自身がナトリウム-銅(Ⅱ)-グリセリンの錯体形成への影響を確かめる試験

ナトリウム-銅(Ⅱ)-グリセリンの錯体形成を利用してグリセリンを検出する際，反応溶液中の他の成分が錯体形成を阻害する可能性がある。そこで，オレイン酸，オリーブ油および消化液自体が錯体形成に影響するかどうかを検証した。20%，40%，60%，80%，100%(V/V)のオレイン酸と水との混合溶液，1，2，5，10，15，20，25，40，50，60，80%(V/V)のオリーブ油と水の混合溶液，0 時間（反応開始直後）と 24 時間 40℃でインキュベートした消化液のみでそれぞれグリセリン検出のための錯体形成の実験を行った。

3.1.2.5 脂肪の消化

試験管に，1.0 mL のオリーブ油と 1.0 mL の人工消化液を加え，ボルテックスミキサーを用いてよく撹拌した。その試験管を 40℃でインキュベートした。リパーゼによる加水分解は界面反応であるため [15]，反応開始前と反応終了 1 時間前に試験管内の溶液をよく撹拌し，水溶液中の酵素分子と基質ミセルとの界面の接触を促し,また生成したグリセリンを消化液中に溶かし込むことにした。反応終了段階でも,撹拌から 30 分程度経てば消化液と未反応のオリーブ油が分離している。そこで，生成したグリセリンが溶けている下層（消化液）0.25～0.50 mL をピペットで取り出し，別な試験管に入れた。対照として，反応開始時（0 時間）のサンプルでも同様のことを行った。

3.1.2.6 グリセリンの検出で遠心分離機やボルテックスミキサーを用いない場合の検証

普通の中学校の理科室や教室には遠心分離機やボルテックスミキサーはない。そこで，グリセリンの検出の際に遠心分離機の代わりにディスポーザブルシリンジフィルターユニット DISMIC-25HP045AN や東洋ろ紙 No.2 を分離操作に用いた場合や，ボルテックスミキサーを用いずに試験管を手で振って撹拌しても同様の結果が得られるかを実験で確認した。

3.1.2.7 実験上の注意と廃液処理

エタノールは揮発性かつ可燃性の物質である。エタノールのそばで火気の使用は避けなければならない。

塩化銅(Ⅱ)は有毒で，塩化銅(Ⅱ)と水酸化ナトリウムの溶液は皮膚につけたり，口や目に入ったりしないように慎重に取り扱わなければならない。塩化銅(Ⅱ)を含む溶液を，安易に流し台から捨てずに決められた廃液処理を行わなければならない。可能なら，使用済みのオリーブ油も直接流し台から捨てないようにする。

3.2 タンパク質の消化に関する実験教材開発の結果

3.2.1 実験教材に最適な条件の検討

はじめに，消化酵素自体がタンパク質であることから，消化実験と同様に一定時間 40℃の恒温下においたバランサー胃腸薬から調製した人工消化薬(pH 6.0)のみでのビウレット反応とニンヒドリン反応の様子（呈色の程度）を調べた（表 3.3)。人工消化液のみではビウレット反応で明確な呈色変化が見られなかったもののニンヒドリン反応では実験開始時から少し呈色が見られた。12 時間経過後のニンヒドリン反応の吸光度が他に比べてやや高いものの，ビウレット反応，ニンヒドリン反応とも反応時間経過に伴う目視による呈色の変化は終始確認できなかった[注3]。48 時間経過後も吸光度の変化はほとんど無く，終始ニンヒドリン反応の呈色が少し見られただけだった。pH を 8.0 に調製した人工消化液のみでも目視による呈色の様子は pH 6.0 の時と同様であり，ニンヒドリン反応のみ少し呈色が見られたがビウレット反応では明確な変化は見られなかった。

表 3.3 人工消化液のみでの呈色反応の結果

反応時間	0時間	6時間	12時間	48時間
ビウレット反応 540 nmでの吸光度	0.030	0.034	0.030	0.035
ニンヒドリン反応 570 nmでの吸光度	0.256	0.292	0.400	0.245

実験条件: 人工消化液5.0 mL(バランサー胃腸液から調製, pH 6.0), 反応温度 40℃; 対照 水.

表 3.4 はバランサー胃腸薬から調製した人工消化液を用いて，様々なタンパク質を基質とした場合での消化の様子を調べた結果である。どのタンパク質でも，緩衝液の有無が実験の結果に影響せず概ね安定 pH の範囲内[注 2]で実験を行うことができた。実験開始時ですべてのサンプルでニンヒドリン反応が少し見られたが，これは消化液のみの場合と同じ結果であった。

かつおぶし，卵白，豆腐，ゼラチンの全てのタンパク質において尿タンパク試験紙での変化も確認したが，教師用指導書の記述[16)]と同様に終始陰性の結果を得た。

表 3.4 タンパク質と緩衝液の有無の違いによる消化の様子の違い

タンパク質	消化液のpH	緩衝液の有無	反応前 pH	反応前 ビウレット反応（目視確認）	反応前 ニンヒドリン反応（目視確認）	反応後（上段, 30分反応後; 下段, 24時間反応後） pH	タンパク質の変化（目視確認）	ビウレット反応 目視確認	ビウレット反応 吸光度（540 nm）の平均±標準誤差	ニンヒドリン反応 目視確認	ニンヒドリン反応 吸光度（570 nm）の平均± 標準誤差
かつおぶし	6.0	有	6.42	−	+	n.d.	×	−	0.005 ± 0.000 (3)	+	0.078 ± 0.001 (3)
						6.45	×	−	0.023 ± 0.000 (3)	++	1.014 ± 0.001 (3)
		無	6.34	−	+	n.d.	×	−	0.004 ± 0.001 (3)	+	0.073 ± 0.000 (3)
						6.25	×	−	0.021 ± 0.001 (3)	++	1.264 ± 0.003 (3)
かつおぶし（粉末状）	6.0	有	6.35	−	++	n.d.	×	+	0.049 ± 0.001 (3)	++	−0.778 ± 0.015 (3)
						6.40	×	+	0.050 ± 0.003 (3)	++	0.038 ± 0.001 (3)
		無	6.47	−	++	n.d.	×	+	0.054 ± 0.005 (3)	++	−0.778 ± 0.019 (3)
						5.17	×	−	0.018 ± 0.000 (3)	++	−0.778 ± 0.018 (3)
かつおぶし（煮出したもの）	6.0	有	6.41	−	+	n.d.	×	−	0.057 ± 0.004 (3)	+	0.047 ± 0.001 (3)
						6.45	×	−	0.038 ± 0.001 (3)	++	1.388 ± 0.009 (3)
		無	6.59	−	+	n.d.	×	−	0.006 ± 0.002 (3)	+	0.032 ± 0.000 (3)
						6.24	×	−	0.030 ± 0.003 (3)	++	2.161 ± 0.025 (3)
卵白	6.0	有	6.33	−	+	n.d.	×	−	0.029 ± 0.000 (3)	+	0.183 ± 0.002 (3)
						6.32	×	−	0.086 ± 0.000 (3)	+	0.366 ± 0.005 (3)
		無	6.53	−	+	n.d.	×	+	0.074 ± 0.000 (3)	+	0.078 ± 0.002 (3)
						5.45	×	−	0.044 ± 0.001 (3)	+	0.189 ± 0.008 (3)
豆腐	6.0	有	6.34	−	+	n.d.	×	−	0.013 ± 0.001 (3)	+	0.115 ± 0.003 (3)
						6.05	△	−	0.017 ± 0.002 (3)	++	0.896 ± 0.005 (3)
		無	6.47	−	+	n.d.	×	−	0.031 ± 0.002 (3)	+	0.159 ± 0.005 (3)
						4.85	△	−	0.023 ± 0.002 (3)	++	0.727 ± 0.008 (3)
ゼラチン	6.0	有	6.35	−	+	n.d.	○	++	0.310 ± 0.009 (6)	+++	2.259 ± 0.009 (3)
						6.39	○	−	0.054 ± 0.003 (6)	+++	2.249 ± 0.018 (3)
		無	6.41	−	+	n.d.	○	++	0.307 ± 0.011 (6)	+++	2.254 ± 0.007 (3)
						6.42	○	−	0.010 ± 0.002 (6)	+++	2.279 ± 0.021 (3)
	8.0	有	7.99	−	+	n.d.	○	++	0.297 ± 0.003 (3)	+++	2.458 ± 0.006 (3)
						8.07	○	−	0.061 ± 0.005 (3)	+++	2.476 ± 0.016 (3)
		無	7.84	−	+	n.d.	○	++	0.301 ± 0.007 (3)	+++	2.307 ± 0.004 (3)
						7.95	○	−	0.003 ± 0.002 (3)	+++	1.922 ± 0.017 (3)

(*n*), 測定回数; n.d.; 未測定; +, 目視による変化を確認; −, 目視による変化を確認せず; +の数,呈色(変色)の強さ; ○, 変化あり; ×, 変化なし; △, 少し変化あり;
実験条件: 人工消化液9.0 mL(バランサー胃腸薬から調製), 0.5 mol/L クエン酸−リン酸緩衝液もしくは純水 1.0 mL, 一定量のタンパク質(かつおぶし 0.01 g, かつおぶし(粉末) 0.1 g, かつおぶし(煮出したもの) 0.05 g, 卵白 2.0 mL, 豆腐 1.0 g, ゼラチン 2.0 mL), 反応温度 40℃; 対照, 消化反応前のサンプル.

3.2.2 基質による違い

図 3.1 はかつおぶし，卵白，豆腐をそれぞれ基質として用いた場合の反応の前後における基質の変化の様子を示したものである。卵白では，消化液を注ぎ入れた段階で卵白自身が圧縮されてしまった。圧縮の程度は一定ではないため実験サンプル自体に個体差が生じた。前処理の有無にかかわらず，かつおぶしと卵白では実験の前後で基質の大きさに見た目で分かるほどの変化が見られなかった（図 3.1A, B)。豆腐（図 3.1C）は 24 時間反応後にはもとの大きさの 1/2～2/3 程度の大きさに変化した（表 3.4 △)。

そのままのものと煮出したかつおぶし，卵白，豆腐では，24 時間経過後のニンヒドリンの呈色が濃くなり，消化によってアミノ酸が生じていることが確認できた。しかし上澄みのビウレット反応が終始陰性だった（図 3.2)。

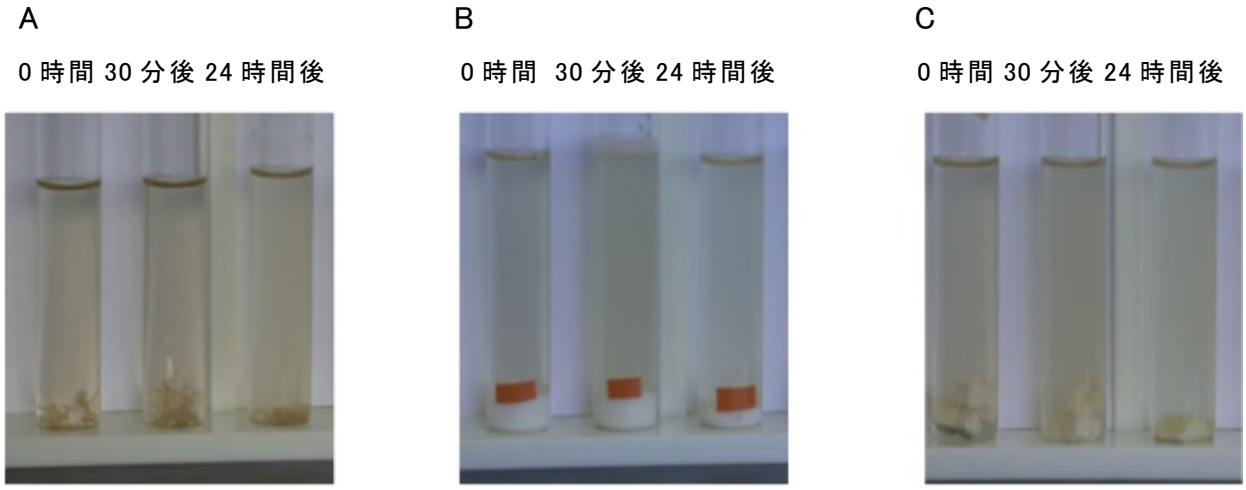


図 3.1 かつおぶし(A)，卵白(B)，豆腐(C)の変化

条件: バランサー胃腸薬から調製した人工消化液(pH 6.0) 9.0 mL，水 1.0 mL; 卵白(B)のビニルテープによるマークは基質調製段階(人工消化液未添加段階)でテープの上端が基質の上端になるようにした目印である。

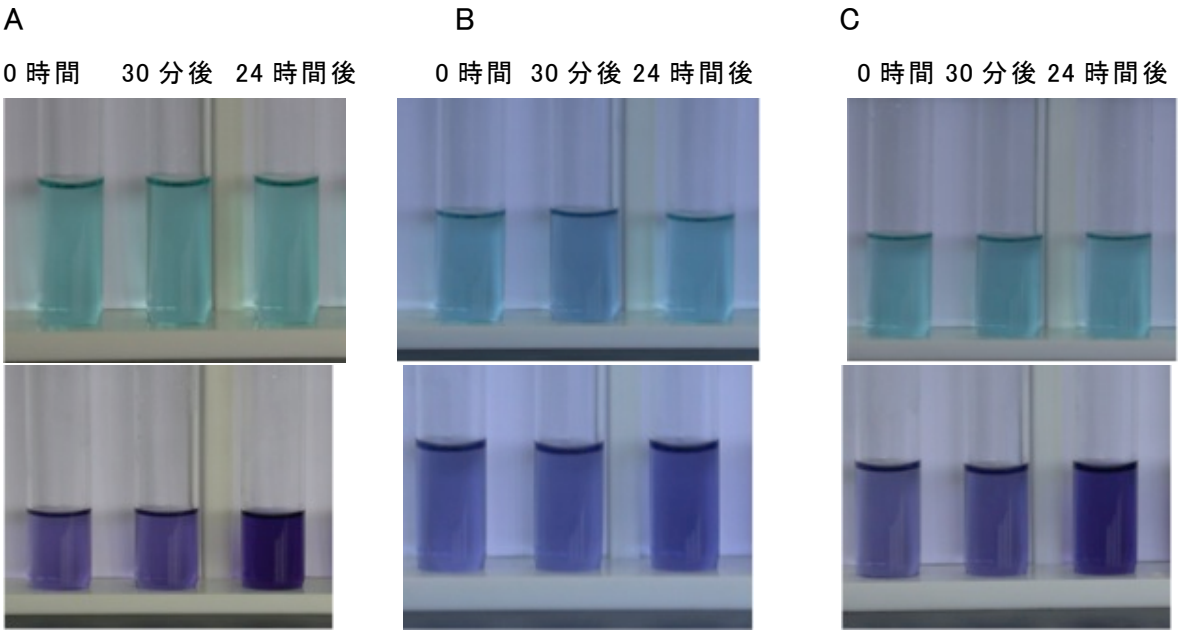


図 3.2　かつおぶし(A)，卵白(B)，豆腐(C)の消化での
ビウレット反応(上)とニンヒドリン反応(下)の結果

条件: バランサー胃腸薬から調製した人工消化液(pH 6.0) 9.0 mL，水 1.0 mL; 写真は左から順に 0 時間，30 分後，24 時間後のもの。

粉末にしたかつおぶしの場合，その粉末が呈色用サンプルに混入することがあり呈色反応で消化の定性的な結果を得ることができなかった。特にニンヒドリン反応では他のかつおぶしのサンプルより 0 時間の段階で濃い呈色となった。そのため，30 分後，24 時間後の方が 0 時間の時に比べ薄い色（表 3.4 の吸光度 < 0）となった。

基質としてゼラチンを用いて 40 ℃で実験した場合，pH 6.0，8.0 の両方とも同じ結果が得られた。図 3.3 は反応前後におけるビウレット反応，ニンヒドリン反応の呈色の様子を示したものである。ゼラチンは実験開始 30 分後ではゾル状態になっており基質に変化が見られたとともにビウレット反応，ニンヒドリン反応とも陽性の結果を得た。この 30 分のサンプルをすぐに冷却すると，実験開始時と同程度のゲルが観察できた。24 時間反応後のサンプルでは，冷却によってゼラチンが凝固せず（図 3.4A），ビウレット反応が陰性で，ニンヒドリン反応が陽性という結果となった。失活させた消化液では 24 時間反応後に冷却すると，実験開始時と同量の凝固したゼラチンを確認できた（図 3.4B）。

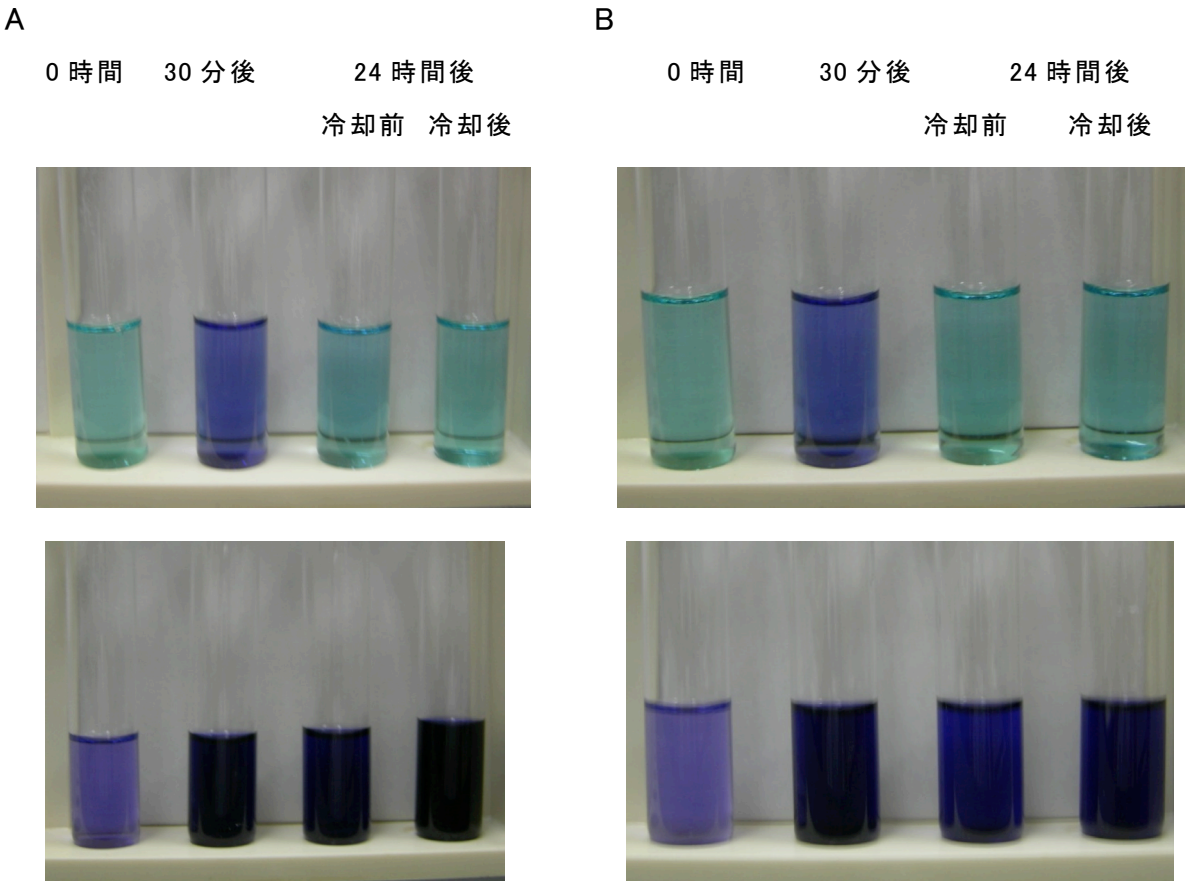


図 3.3　ゼラチンの消化でのビウレット反応（上）とニンヒドリン反応（下）の結果

条件: A，バランサー胃腸薬から調製した人工消化液（pH 6.0） 9.0 mL，水 1.0 mL，ゼラチン 2.0 mL; B，バランサー胃腸薬から調製した人工消化液（pH 8.0） 9.0 mL，水 1.0 mL，ゼラチン 2.0 mL; 写真は左から順に 0 時間，30 分後，24 時間後（冷却前），24 時間後（冷却後）。

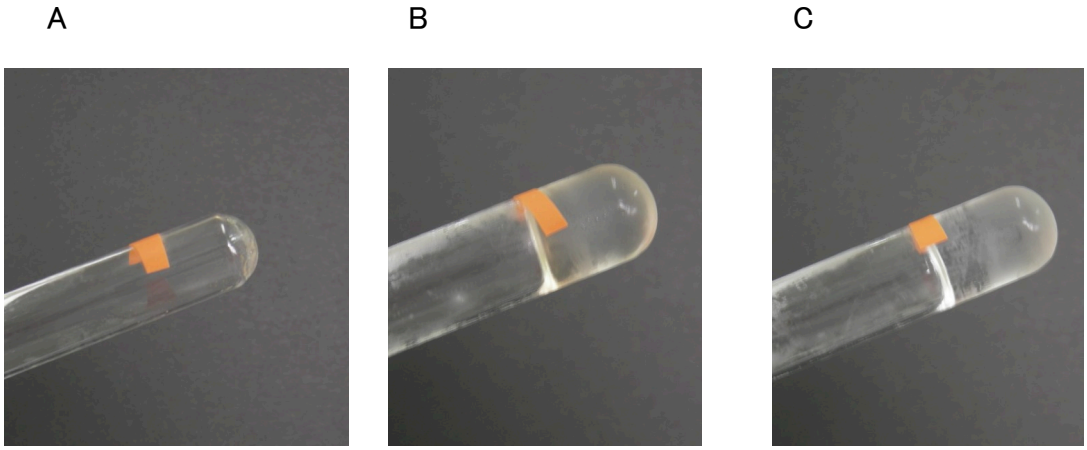


図 3.4　24 時間反応後のゼラチン（冷却後）の変化

条件: バランサー胃腸薬から調製した人工消化液（pH 6.0）もしくは水 10 mL，ゼラチン 2.0 mL; A，人工消化液での結果; B，失活させた人工消化液での結果; C，水での結果（対照）; ビニルテープは反応開始前でのゼラチンの量を示している。

図 3.5 は活性の有無による呈色反応の違いを示している。0 時間では，すべてのサンプルでニンヒドリン反応が少し見られた。この状態ではゼラチンはまだゲルの状態であり，人工消化液だけのサンプル（図 3.5B，D）でも同程度の呈色が確認できた。活性のあるサンプル（図 3.5A）では 15 分後のゾル状態の時にビウレット反応，ニンヒドリン反応とも陽性であり，24 時間後のサンプルではニンヒドリン反応のみ陽性となった。一方失活したサンプル（図 3.5C）では，15 分後のゾル状態では活性のあるサンプルと同様に両方とも陽性の反応を示したが，24 時間後のサンプルでは，両方とも 0 時間の時と同様の結果となった。凝固したゼラチンを再度温めて溶解した後に呈色反応を行うと，15 分後と同様にビウレット反応，ニンヒドリン反応とも陽性となった。

反応条件を 25℃にした場合，ゼラチンはゾル化せずに消化された。豆腐と同様に，24 時間反応後のゼラチン量は冷却しなくても 0 時間のものに比べて見た目が減少していた。ニンヒドリン反応は 24 時間反応後には目視確認できるまで呈色した。しかし，他のタンパク質と同様にビウレット反応が終始陰性だった。

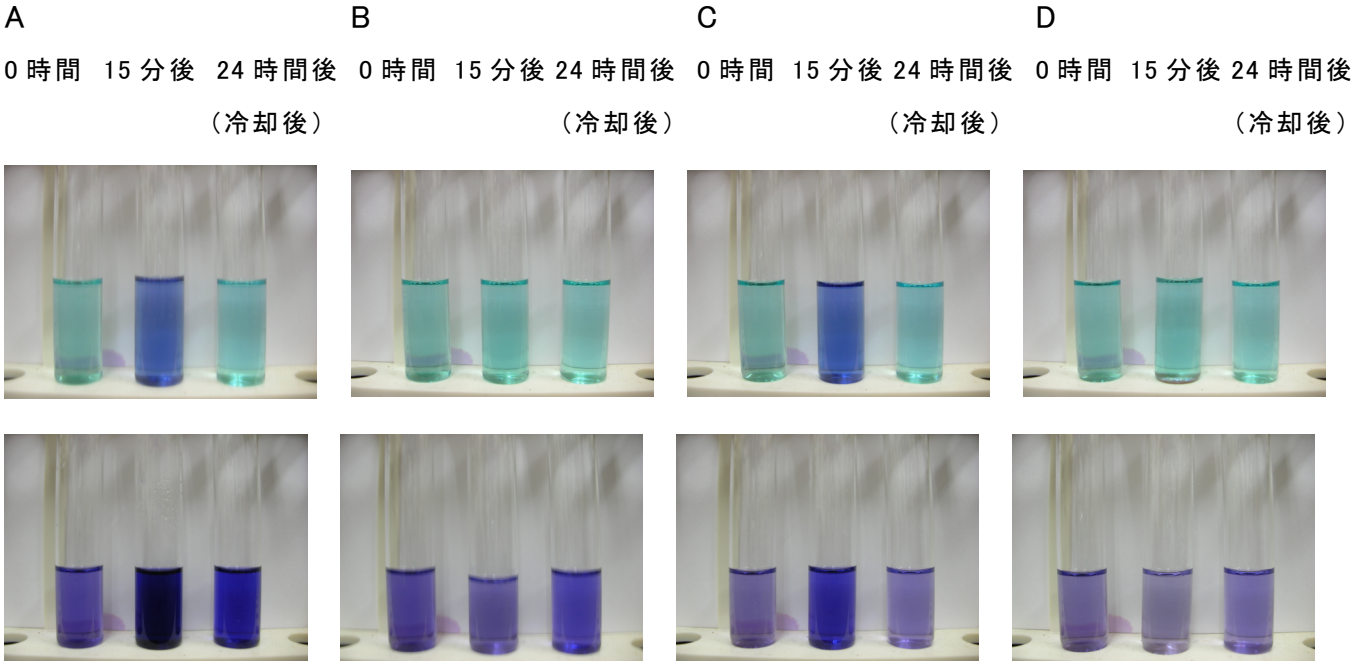


図 3.5 人工消化液の酵素活性の有無による呈色の違い
（上，ビウレット反応；下，ニンヒドリン反応）

条件: A，バランサー胃腸薬から調製した活性のある人工消化液（pH 6.0）10 mL，ゼラチン 2.0 mL; B，活性のある人工消化液のみでの結果（対照）;C，バランサー胃腸薬から調製した後に失活させた人工消化液（pH 6.0）10 mL，ゼラチン 2.0 mL; D，失活させた人工消化液のみでの結果（対照）; 写真は左から順に 0 時間，15 分後，24 時間後（冷却後）。

3.2.3 他の消化薬や簡易な呈色反応での検証

消化薬は薬店によって販売しているものが異なるため入手のしやすさに違いがある。そこで，バランサー胃腸薬以外の市販の消化薬でも実験可能かどうかと，失活した消化液で陰性の結果が得られることを確認する実験を，ゼラチンを基質にして行った。活性の有無に関係なく，どの消化薬から調製した人工消化液でも，人工消化液のみのサンプルでは終始ニンヒドリン反応が少し見られる程度で，15 分後，24 時間反応後のいずれも 0 時間のものと目視で確認できるほどの差は見られなかった。0 時間の段階で人工消化液をゼラチンに入れたサンプルとゼラチンに水を入れたサンプル（各 3 本もしくは 6 本）のビウレット反応を比較すると，消化薬の種類や活性の有無に関係なく 540 nm の吸光度は人工消化液のサンプルのほうが高い値を示した。しかし，その平均の差は最大でも 0.082 であり，目視で確認できるほどの呈色の差は無かった。0 時間の段階では，ゼラチンと人工消化液が入っているサンプルと人工消化液のみのサンプルの呈色の程度には目視で確認できる差は見られなかった。活性の有無に関係なくどの消化薬から調製した人工消化液でも，ゼラチンの有無という違いがあるこの 2 つのサンプル（各 3 本もしくは 6 本）のビウレット反応での 540 nm での吸光度の平均の差は最大でも 0.005 だった。

いろいろな消化薬から調製した人工消化液を用いた実験結果をまとめたものが表 3.5 である。ハイウルソ顆粒，新ビオヂアス，ワカモト消化薬から調製した人工消化液は，そのままでも含有タンパク質消化酵素ビオヂアスターゼ 2000（*Aspergillus oryzae*）やニューラーゼ（*Rhizopus niveus*）の安定 pH の範囲内[注 2]であった。そこで，バランサー胃腸薬以外の消化薬から調製した全ての人工消化液は pH を 6.0 にしたものと未調整のものの両方を用いて実験したが，pH の調整による差が実験に影響せず同様の結果を得た。ハイウルソ顆粒を用いた消化液では 24 時間反応後冷却すると，実験開始時の 1/3 程度の量の凝固したゼラチンが確認できた（表 3.5 △）が，他の消化薬では凝固したゼラチンを確認することはできなかった。全ての失活させた消化液では 24 時間反応後に冷却すると，実験開始時と同量の凝固したゼラチンを確認できた。

呈色反応では，実験開始時ですべてのサンプルでニンヒドリン反応が少し見られた。30 分を待たずとも 15 分後にはゼラチンはゾル状態になっていた。活性のあるサンプルでは 15 分後のゾル状態の時にビウレット反応，ニンヒドリン反応とも陽性であり，24 時間後のサンプルではニンヒドリン反応のみ陽性となった。どの消化薬から調製した人工消化液を用いた実験でも，アルブミンと色素との反応を利用する尿タンパク試験紙[17]を使用した結果は，消化前後の全てのサンプルで陰性という結果を得た。一方失活したサンプルでは，15 分後のゾ

ル状態では活性のあるサンプルと同様に両方とも陽性の反応を示したが，24 時間後のサンプルでは，両方とも 0 時間の時と同様の結果となった。凝固したゼラチンを再度温めて溶解した後に呈色反応すると，15 分後と同様の結果を得た。

表 3.5 いろいろな消化薬から調製した人工消化液による消化の結果

消化薬	活性のあるサンプル								
	反応前			反応後（上段, 15分後; 下段, 24時間後）					
					ビウレット反応			ニンヒドリン反応	
	pH	ビウレット反応（目視確認）	ニンヒドリン反応（目視確認）	タンパク質の変化（目視確認）	目視確認	吸光度（540 nm）の平均±標準誤差		目視確認	吸光度（570 nm）の平均±標準誤差
バランサー	6.0	−	+	○	+	0.227 ± 0.001	(3)	+++	1.899 ± 0.067 (3)
				○	−	0.000 ± 0.001	(3)	++	1.121 ± 0.050 (3)
ハイウルソ	5.46	−	+	○	+	0.285 ± 0.024	(6)	+++	1.958 ± 0.073 (6)
				△	−	0.000 ± 0.008	(6)	+++	1.940 ± 0.121 (6)
	6.0	−	+	○	+	0.289 ± 0.020	(6)	+++	1.630 ± 0.193 (6)
				△	−	0.039 ± 0.020	(6)	+++	2.030 ± 0.062 (6)
ワカモト	5.14	−	+	○	+	0.306 ± 0.017	(6)	+++	1.892 ± 0.113 (6)
				○	−	0.048 ± 0.044	(6)	+++	1.445 ± 0.216 (6)
	6.0	−	+	○	+	0.320 ± 0.013	(6)	+++	1.697 ± 0.084 (6)
				○	−	−0.001 ± 0.005	(6)	++	1.107 ± 0.115 (6)
ビオヂアス	7.27	−	+	○	+	0.295 ± 0.010	(6)	+++	2.059 ± 0.062 (6)
				○	−	0.012 ± 0.001	(6)	++	1.019 ± 0.246 (6)
	6.0	−	+	○	+	0.286 ± 0.020	(6)	+++	2.108 ± 0.036 (6)
				○	−	0.012 ± 0.004	(6)	++	1.553 ± 0.233 (6)
タカヂア	7.19	−	+	○	+	0.258 ± 0.013	(6)	+++	1.823 ± 0.082 (6)
				○	−	0.009 ± 0.001	(6)	+++	1.686 ± 0.097 (6)
	6.0	−	+	○	+	0.258 ± 0.015	(6)	+++	1.796 ± 0.073 (6)
				○	−	0.009 ± 0.004	(6)	+++	1.720 ± 0.065 (6)

消化薬	失活させたサンプル								
	反応前			反応後（上段, 15分後; 下段, 24時間後）					
					ビウレット反応			ニンヒドリン反応	
	pH	ビウレット反応（目視確認）	ニンヒドリン反応（目視確認）	タンパク質の変化（目視確認）	目視確認	吸光度（540 nm）の平均±標準誤差		目視確認	吸光度（570 nm）の平均±標準誤差
バランサー	6.0	−	+	○	+	0.259 ± 0.002	(3)	++	0.704 ± 0.049 (3)
				×	−	0.008 ± 0.006	(3)	+	0.033 ± 0.047 (3)
ハイウルソ	5.40	−	+	○	+	0.255 ± 0.006	(6)	++	1.248 ± 0.033 (6)
				×	−	0.003 ± 0.003	(6)	+	0.156 ± 0.004 (6)
	6.0	−	+	○	+	0.255 ± 0.005	(6)	++	1.243 ± 0.107 (6)
				×	−	−0.007 ± 0.003	(6)	+	0.128 ± 0.001 (6)
ワカモト	5.89	−	+	○	+	0.262 ± 0.008	(6)	++	1.154 ± 0.052 (6)
				×	−	0.002 ± 0.002	(6)	+	0.150 ± 0.010 (6)
	6.0	−	+	○	+	0.273 ± 0.014	(6)	++	1.180 ± 0.017 (6)
				×	−	−0.004 ± 0.005	(6)	+	0.069 ± 0.005 (6)
ビオヂアス	7.25	−	+	○	+	0.289 ± 0.003	(6)	++	1.145 ± 0.073 (6)
				×	−	0.017 ± 0.005	(6)	+	−0.003 ± 0.038 (6)
	6.0	−	+	○	+	0.275 ± 0.015	(6)	++	1.073 ± 0.080 (6)
				×	−	0.024 ± 0.010	(6)	+	0.040 ± 0.029 (6)
タカヂア	7.04	−	+	○	+	0.277 ± 0.000	(6)	++	0.762 ± 0.084 (6)
				×	−	0.026 ± 0.004	(6)	+	−0.080 ± 0.023 (6)
	6.0	−	+	○	+	0.263 ± 0.009	(6)	++	0.559 ± 0.105 (6)
				×	−	0.011 ± 0.002	(6)	+	0.021 ± 0.068 (6)

(*n*), 測定回数; +, 目視による変化を確認; −, 目視による変化を確認せず; +の数, 呈色（変色）の強さ; ○,変化あり; ×, 変化なし; △, 少し変化あり; 実験条件: 人工消化液 10.0 mL, ゼラチン 2.0 mL,反応温度 40℃; 対照, 反応前のサンプル.

最後にゼラチンを基質にしたサンプルで，試料溶液に水酸化ナトリウム水溶液を加えアルカリ性にした後に硫酸銅(Ⅱ)水溶液を加えて行うビウレット反応の簡易な方法とニンヒドリンをエタノールに溶解させた後，水で希釈して調製した簡易ニンヒドリン溶液を用いるニンヒドリン反応の簡易な方法[18]をそれぞれ適用してみた。その結果，全て表 3.5 と同様の結果を得た（図 3.6)。

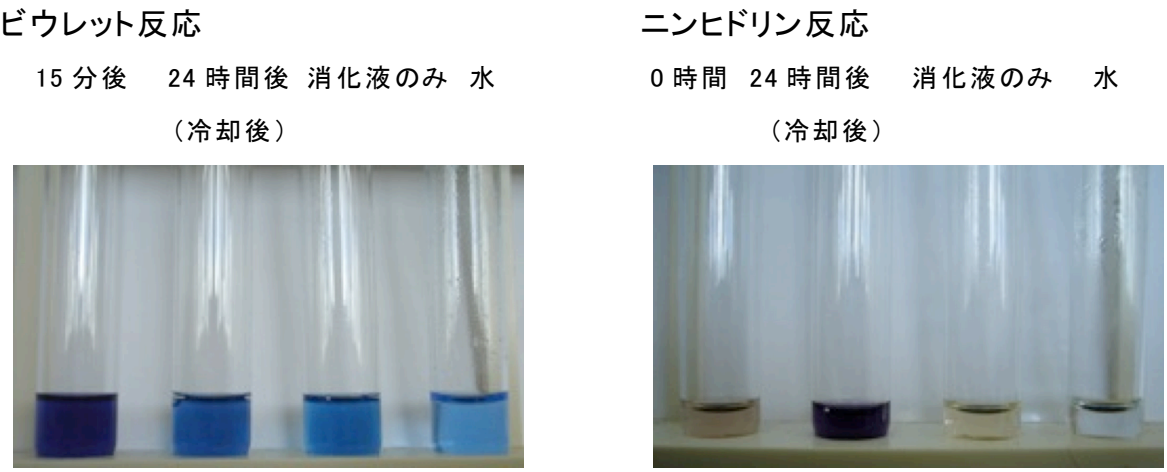


図 3.6 簡易ビウレット反応(左)と簡易ニンヒドリン反応(右)の結果

条件: バランサー胃腸薬から調製した人工消化液(pH 6.0) 10 mL，ゼラチン 2.0 mL; 写真は左から順に 0 時間～15 分後，24 時間後(冷却後)，人工消化液のみ，水のみ(対照); ビウレット反応はゼラチンがゾル状態でタンパク質の存在を示す呈色となることを確認するためゼラチンがゲル状態からゾル状態に変化した後(15 分後)のもので行った(0 時間では人工消化液のみと同様の結果となった)。

3.3 脂肪の消化に関する実験教材開発の結果

3.3.1 オレイン酸，混入したオリーブ油及び消化液自体がナトリウム-銅(Ⅱ)-グリセリン錯体形成に影響がないことの確認

ナトリウム-銅(Ⅱ)-グリセリンの錯体形成を利用してグリセリンを検出する際，反応溶液中の他の成分が錯体形成を阻害する可能性がある。そこでまず始めに，オレイン酸，オリーブ油および消化液自体が錯体形成に影響するかどうかを検証した。

オレイン酸と水との混合溶液に 21%(W/V)水酸化ナトリウム水溶液を加えると，白色沈殿が生じた。遠心分離後の上澄みは黄色であり，青色を示さなかった。黄色の強度はオレイン酸の濃度増加に伴い強くなっていた。図 3.7 は，オレイン酸と水との混合溶液にグリセリンの検出反応を行ったものの吸収スペクトルである。吸収スペクトルは，波長が短くなるにつれ吸光度が大きくなっているが，635 nm 付近に吸収ピークは見られなかった。

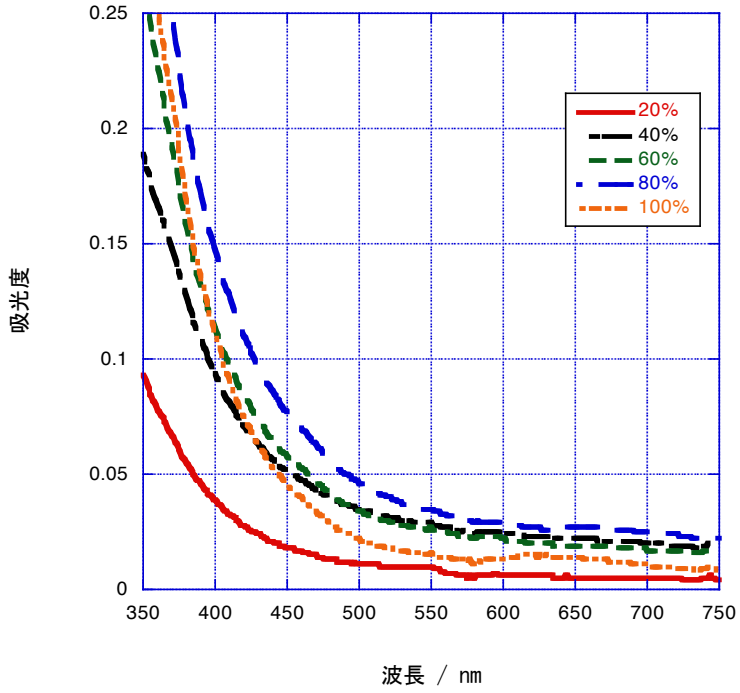


図 3.7 オレイン酸と水の混合溶液の吸収スペクトル

グラフは 635 nm での吸光度の高い方から順にオレイン酸濃度が 80% (V/V)(青色, ― ― ―), 40% (V/V)(黒色, ― - ― -), 60% (V/V)(緑色, - - - -), 100% (V/V)(橙色, -・-・), 20% (V/V)(赤色, ―)の各サンプルの吸収スペクトルを示す(対照, 純水)。

次に, 水とオリーブ油の混合溶液が青色の錯体形成にどのような影響を及ぼすのかを調べた。5%(V/V)以上オリーブ油が混入していると, 水層と黄色の油層と境目がはっきり観察できた。表 3.6 は各混合溶液の 635 nm での吸光度と青色の呈色やオリーブ油の混入状況が目視で確認できたかどうかを示したものである。図 3.8 は各混合溶液にグリセリンの検出反応を行ったものの吸収スペクトルである。10%(V/V)以上オリーブ油が混入した場合, 635 nm 付近に吸収ピークが確認された (図 3.8)。遠心分離後の上澄みにも油滴が確認でき, 溶液は青色を示した。

表 3.6 オリーブ油の混入がグリセリンの検出に及ぼす影響

オリーブ油濃度 / % (V/V)	635 nmでの吸光度の 平均値 ± 標準誤差		青色の呈色 (目視確認)	水層と油層の境目 (目視確認)
0 (対照)	0.000		−	−
1	0.001 ± 0.002	*(12)*	−	−
2	0.003 ± 0.002	*(8)*	−	−
5	0.007 ± 0.002	*(8)*	−	+
10	0.017 ± 0.003	*(8)*	−	+
15	0.028 ± 0.004	*(6)*	+	+
20	0.052 ± 0.012	*(9)*	+	+
25	0.075 ± 0.009	*(7)*	+	+
40	0.331	*(1)*	+	+
50	0.403 ± 0.051	*(5)*	+	+
60	0.576	*(1)*	+	+
80	1.026	*(1)*	+	+

(*n*), 測定回数; +, 検出可能; −, 検出不可能.

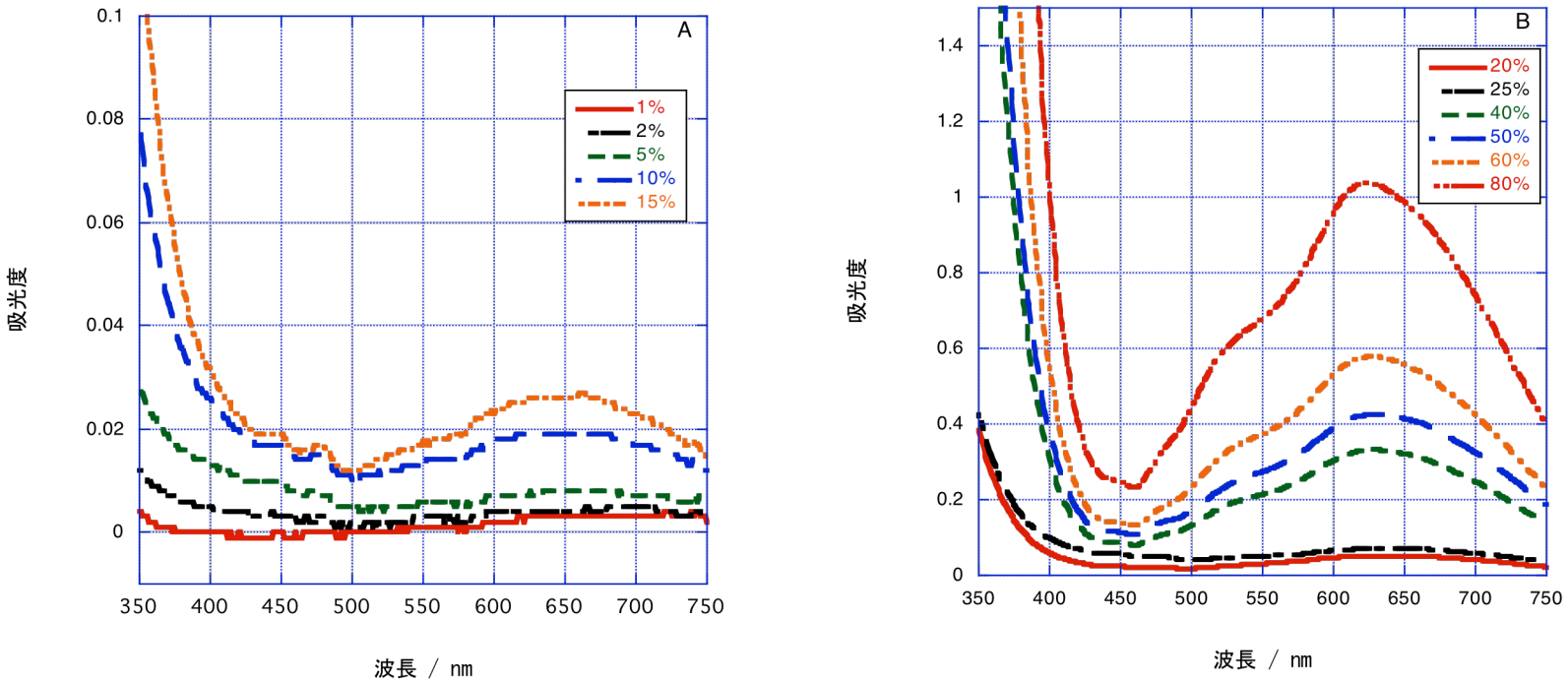


図 3.8 オリーブ油と水の混合溶液の吸収スペクトル

A, 1-15% (V/V)オリーブ油のサンプルの結果; B, 20-80% (V/V) オリーブ油のサンプルの結果; 635 nm 付近での吸光度はオリーブ油の混合濃度が高くなるに従って高くなっている(対照, 水)。

ビオフェルミン健胃消化薬錠から調製した消化液自身のみでは，グリセリンの検出反応を行っても青色を示すことはなかった（表 3.7，図 3.9)。0 時間のものと 24 時間インキュベートしたもののいずれも,吸収スペクトルは長波長側で減少する曲線を描き，635 nm 付近に吸収のピークは見られなかった。24 時間インキュベートしたものは 0 時間のものと同様の吸収スペクトルを描いた。

表 3.7 ビオフェルミン健胃消化薬錠から調製した人工消化液がグリセリンの検出に及ぼす影響

リパーゼ AP6 濃度 / % (W/V)	反応前(0時間)		反応後(24時間後)	
	635 nm での吸光度の平均 ± 標準誤差	青色の呈色（目視確認）	635 nm での吸光度の平均 ± 標準誤差	青色の呈色（目視確認）
0.10	0.026 ± 0.003 (7)	−	0.022 ± 0.001 (5)	−
0.50	0.063 ± 0.006 (7)	−	0.070 ± 0.010 (5)	−
1.0	0.091 ± 0.010 (7)	−	0.084 ± 0.010 (5)	−
2.5	0.145 ± 0.036 (6)	−	0.090 ± 0.029 (5)	−
5.0	0.161 ± 0.024 (6)	−	0.090 ± 0.032 (5)	−

(*n*), 測定回数; +, 検出可能; −, 検出不可能; 対照, 0% リパーゼAP6溶液(純水).

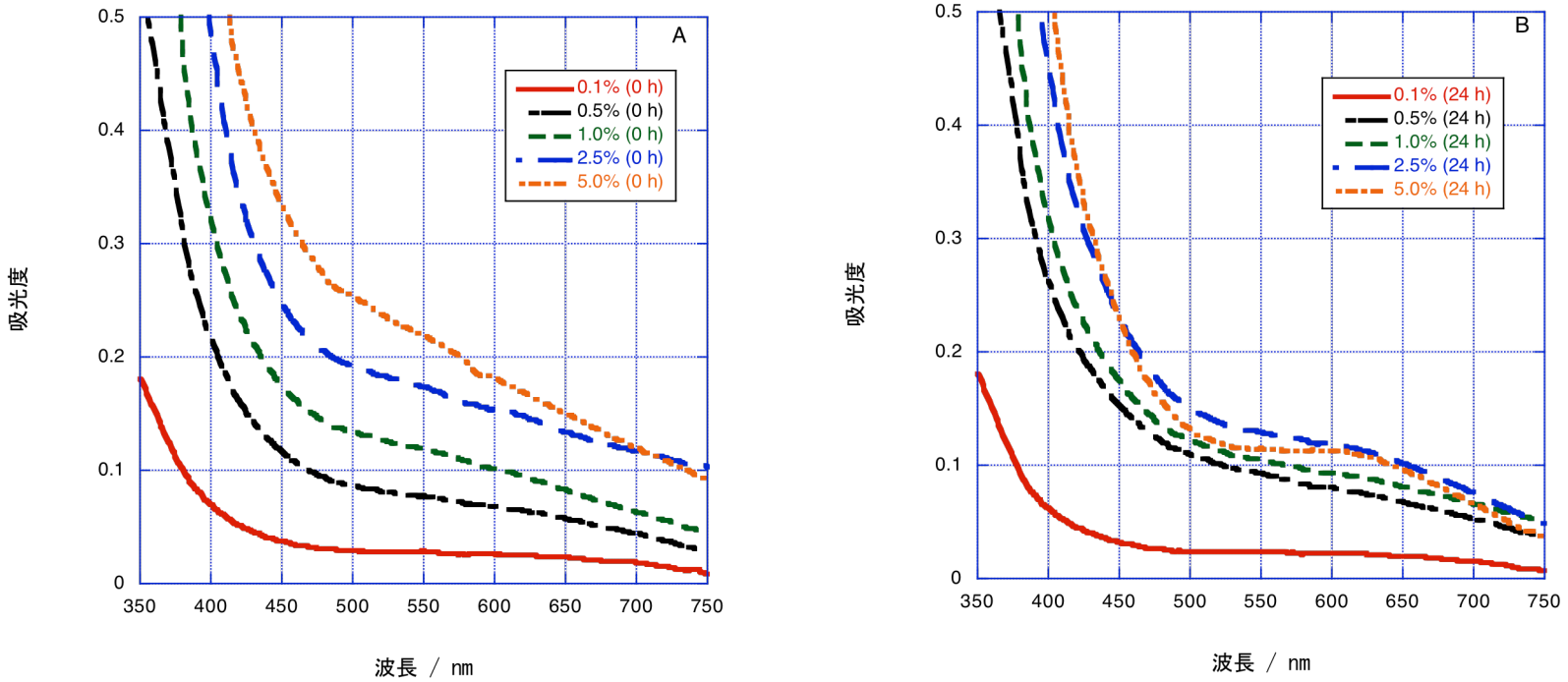


図 3.9　ビオフェルミン健胃消化薬錠から調製した人工消化液の吸収スペクトル

A, 0 時間（反応前）; B, 24 時間反応後; 対照，純水; A の図ではリパーゼ AP6 濃度が高くなるに従って 635 nm での吸光度も高くなっている。B の図での 635 nm での吸光度は 2.5%(W/V)（青色，－ － －），5.0%(W/V)（橙色，-･-･），1.0%（W/V)（緑色，- - - -），0.50%（W/V)（黒色，－ - － -），0.10%（W/V）（赤色，－）の順に低くなっている。

3.3.2 ビオフェルミン健胃消化薬錠から調製した消化液の至適リパーゼ AP6 濃度について

図 3.10 は 1.0 mL のオリーブ油と 1.0 mL の 0.10%(W/V), 0.50%(W/V), 1.0%(W/V), 2.5%(W/V), 5.0%(W/V) リパーゼ AP6 人工消化液を反応させて 24 時間インキュベートしたものと 0 時間のものにそれぞれグリセリン検出反応を行ったサンプルの吸収差スペクトルである。0 時間の段階では, 青色を示すことなく全て 635 nm 付近に吸収ピークを示さなかった。表 3.8 は 24 時間と 0 時間のものの 635 nm における吸光度の差と青色の呈色の目視確認の程度を示している。全てのサンプルはリパーゼ AP6 の至適 pH [注 2] の範囲内（5.0～7.0）であった。24 時間インキュベートしたものは青色を示し, 635 nm 付近に吸収ピークがあった。

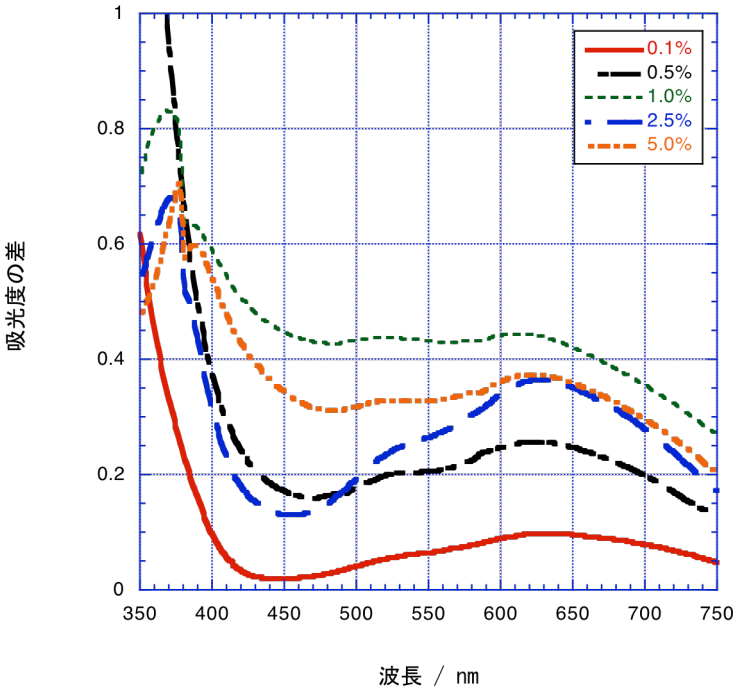


図 3.10　24 時間反応させたものと 0 時間のものとの吸収差スペクトル

条件, ビオフェルミン健胃消化薬錠から調製した人工消化液 1.0 mL; 吸収差スペクトルは 635 nm でのピークの高い方から順にリパーゼ AP6 濃度が 1.0% (W/V)(緑色, – – – –), 5.0% (W/V)(橙色, –·–·), 2.5% (W/V)(青色, ― ― ―), 0.50% (W/V)(黒色, ― – ― –), 0.10% (W/V)(赤色, ―) のサンプルである。

表 3.8　24 時間反応させたものと 0 時間のものとの
635 nm の吸光度の差と青色の目視確認結果

リパーゼ AP6 濃度 / % (W/V)	pH	635 nmにおける吸光度の差 (24時間反応後-0時間)の平均 ± 標準誤差		青色の呈色 (目視確認)
0.10	5.96	0.108 ± 0.011	*(10)*	+
0.50	5.79	0.256 ± 0.050	*(16)*	++
1.0	5.70	0.435 ± 0.060	*(16)*	++
2.5	5.62	0.357 ± 0.086	*(9)*	++
5.0	5.48	0.389 ± 0.036	*(8)*	++

(*n*), 測定回数; +, 検出可能; -,検出不可能; 対照, 0% リパーゼ AP6 溶液(純水).

リパーゼ AP6 濃度が 0.50%(W/V)以上のサンプルでは，遠心分離前の段階から青色に変化していることが確認できた。しかし，12 本のサンプルを用意して実験したものの，2.5%(W/V)の 3 つ，5.0%(W/V)の 4 つのサンプルでは青色を示さなかった。酵素濃度を高くした人工消化液を用いることで反応時間の短縮も期待されたが，リパーゼ AP6 濃度が 2.5%(W/V)や 5.0%(W/V)の時よりも 1.0%(W/V)の方が吸光度の差の平均値が高く，グリセリンを多く検出している。酵素濃度を高くした人工消化液を用いてもグリセリンの生成量の大幅な増加による反応時間の短縮が期待できないばかりか，そもそも消化によってグリセリンが生成することを確認する実験を 1 単位時間（50 分）で完了するように実験操作を改良することが困難である。これらのことから本実験教材に最適なビオフェルミン健胃消化薬錠から調製した消化液の至適リパーゼ AP6 濃度は 0.5%(W/V)～1.0% (W/V)だと判断できる。結果の鮮明さと消化薬をできるだけ少量使用することで人工消化液の調製を容易にすることを両立させるため 0.5%(W/V) リパーゼ AP6 を用いてより詳細な条件を探っていくことにした。

図 3.11 は，脂肪酸が存在するサンプルを擬似的に調製したものである。オリーブ油と人工消化液（0.5%(W/V)リパーゼ AP6 溶液）を混合した状態（左）とオリーブ油とオレイン酸と人工消化液を混合した状態（右）では泡立ちの様子に差があり，一般に脂肪酸が存在していると泡立ちが目立つ。

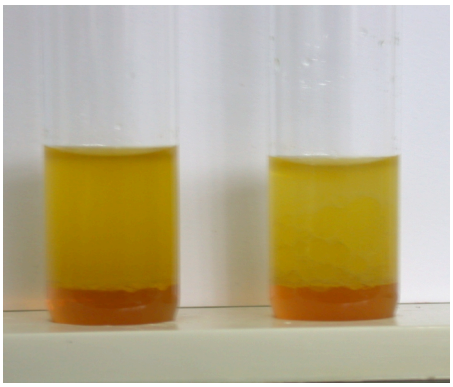


図 3.11　消化の反応前後を模したサンプル

左，オリーブ油 1.0 mL，ビオフェルミン健胃消化薬錠から調製した 0.5%(W/V)リパーゼ AP6 人工消化液 1.0 mL；右，オリーブ油 0.5 mL，オレイン酸 0.5 mL，ビオフェルミン健胃消化薬錠から調製した 0.5%(W/V)リパーゼ AP6 人工消化液 0.5 mL。

そこで，反応前後でサンプルを撹拌した前後の様子を比較した（図 3.12)。0 時間の状態では，撹拌前には泡立ちが見られないものの（図 3.12A)，撹拌すると水とオリーブ油のサンプル以外の人工消化液を用いたサンプルでは界面付近を中心に泡立ちを確認できた（図 3.12B)。24 時間反応後のサンプルでは，反応終了 1 時間前に行った撹拌の影響もあってか人工消化液と反応させたサンプルで撹拌前から界面付近に泡立ちを確認でき（図 3.12C)，撹拌後にはさらにはっきり確認できた（図 3.12D)。しかし，ボルテックスミキサーを用いたこともあり，人工消化液を用いた 0 時間（図 3.12B）と 24 時間反応後（図 3.12D）のサンプルを比較した際に泡立ちに顕著な差があるようには目視では確認できなかった。

図 3.12A（0 時間撹拌前）

0%（水，対照）　0.10%(W/V)　0.50%（W/V）　1.0%(W/V)　2.5%(W/V)　5.0%(W/V)

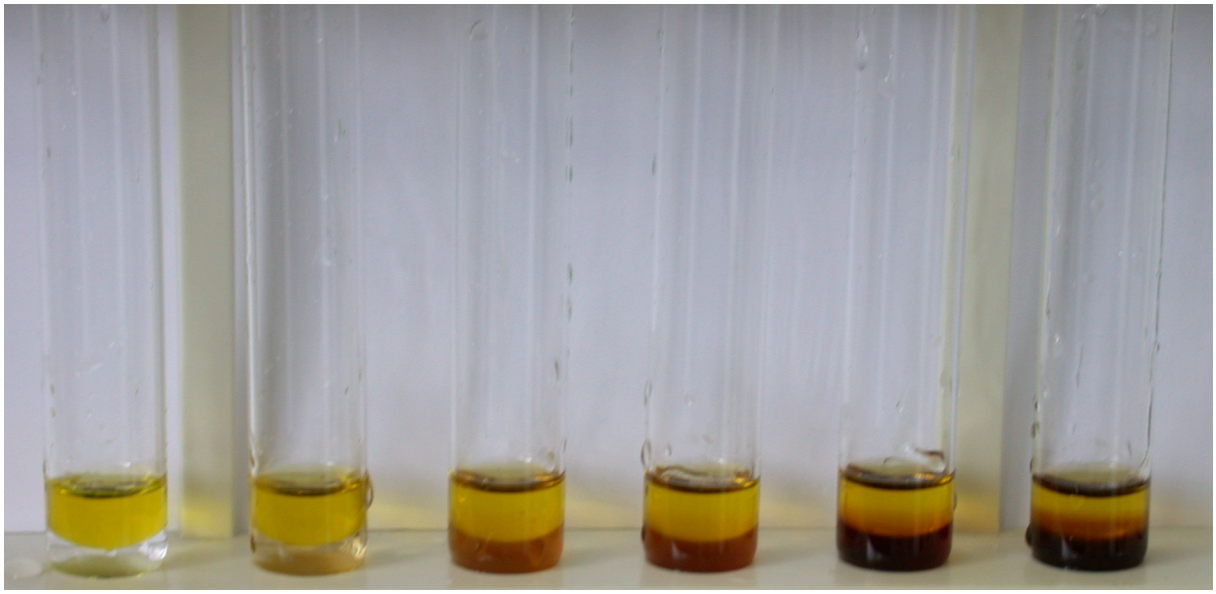


図 3.12B（0 時間撹拌後）

0%（水，対照）　0.10%(W/V)　0.50%（W/V）　1.0%(W/V)　2.5%(W/V)　5.0%(W/V)

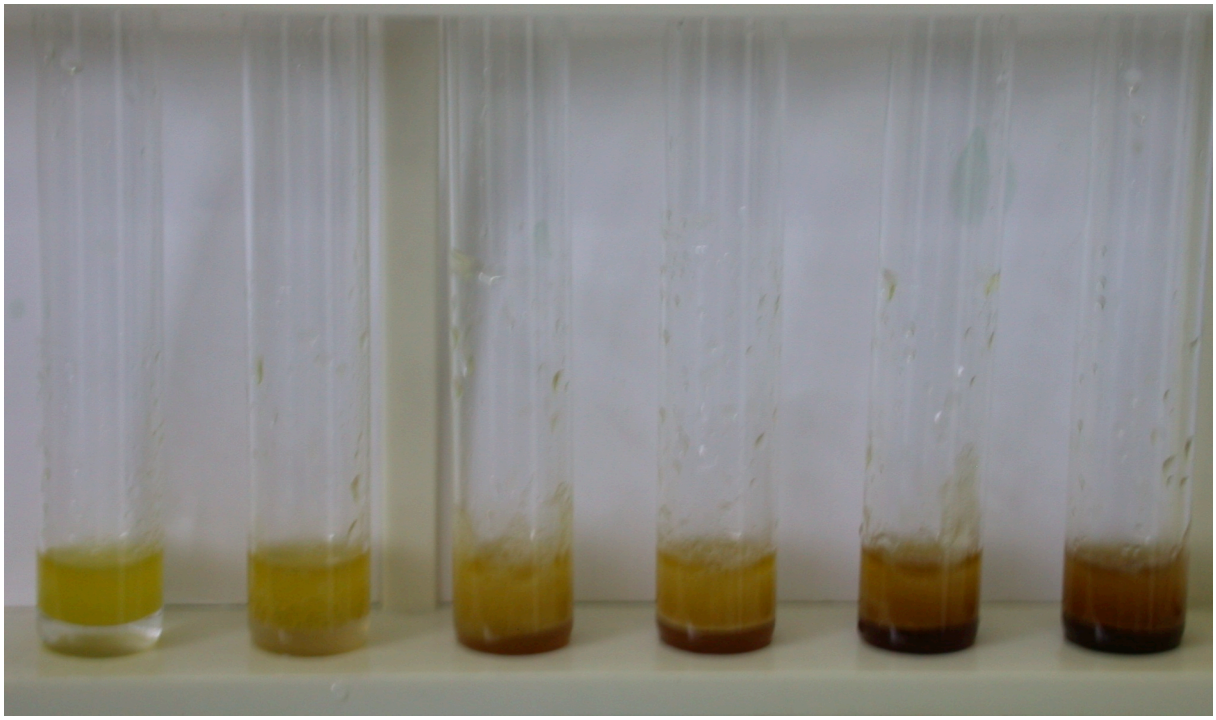


図 3.12C（24 時間反応後，撹拌前）

0%（水，対照）　0.10%(W/V)　0.50%（W/V）　1.0%(W/V)　2.5%(W/V)　5.0%(W/V)

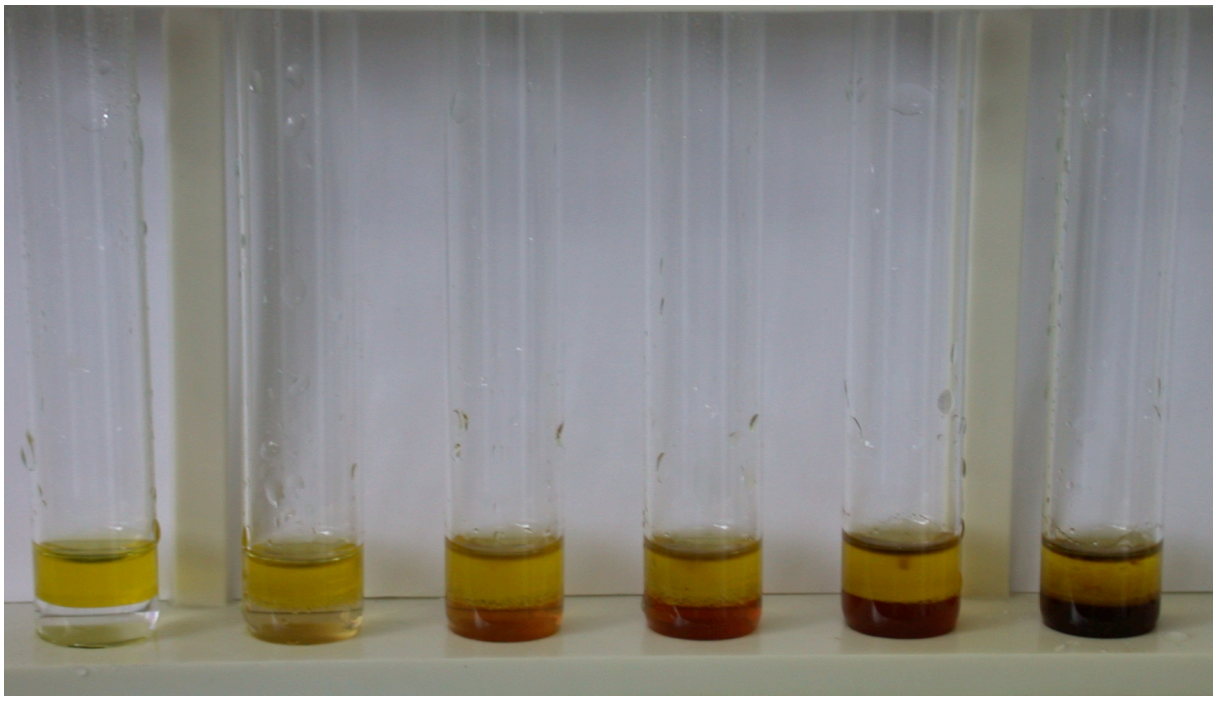


図 3.12D（24 時間反応後，撹拌後）

0%（水，対照）　0.10%(W/V)　0.50%（W/V）　1.0%(W/V)　2.5%(W/V)　5.0%(W/V)

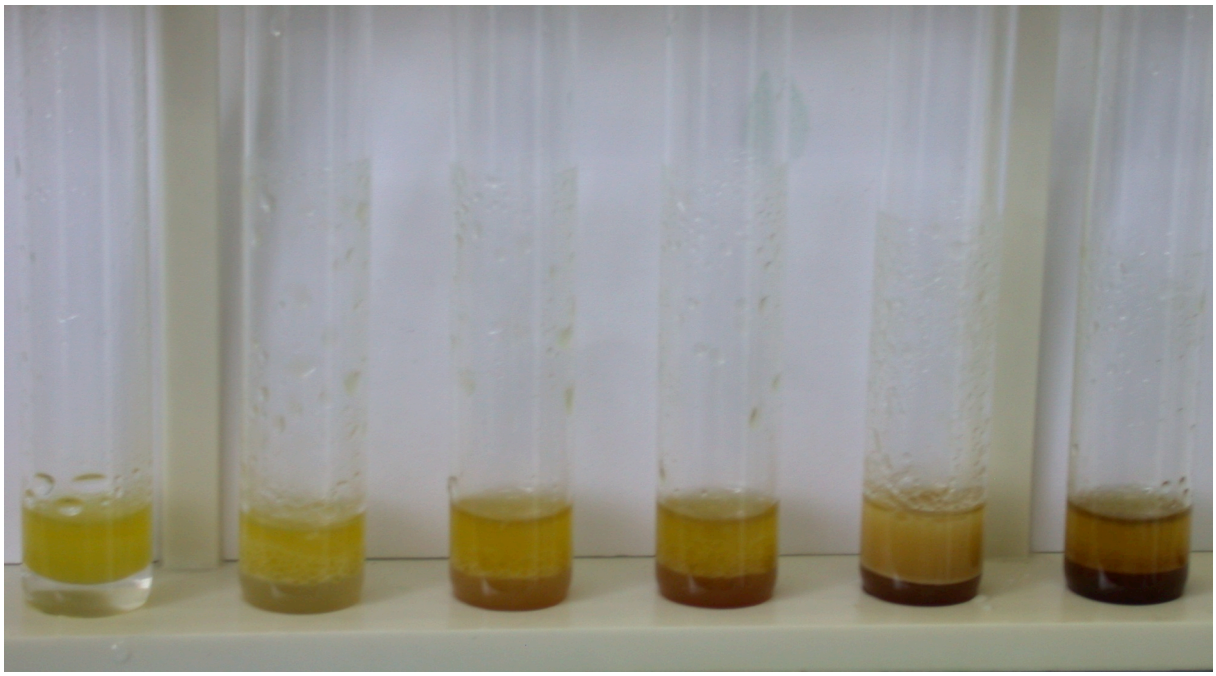


図 3.12　反応前後でのサンプルの泡立ちの様子の違い

条件，ビオフェルミン健胃消化薬錠から調製した人工消化液（0～5.0% (W/V) リパーゼ AP6）1.0 mL; 写真は左から順に 0%（水，対照），0.10%(W/V)，0.50%（W/V），1.0%(W/V)，2.5%(W/V)，5.0%(W/V)リパーゼ AP6 人工消化液のサンプル。

3.3.3 失活した消化液では青色を示さないことの確認と脂肪の消化の反応時間依存性

図 3.13 はビオフェルミン健胃消化薬錠から調製して失活させた 0.50%(W/V) リパーゼ AP6 人工消化液のみにグリセリン検出反応したものの吸収スペクトルである。24 時間インキュベートしたもの，0 時間のものの両方とも酵素活性のある消化液と同様に，635 nm 付近に吸収ピークはなく青色にならないことを示した。635 nm における 24 時間のものと 0 時間のものの 3 本のサンプルにおける吸光度の差の平均±標準誤差は 0.010 ± 0.002 であった。

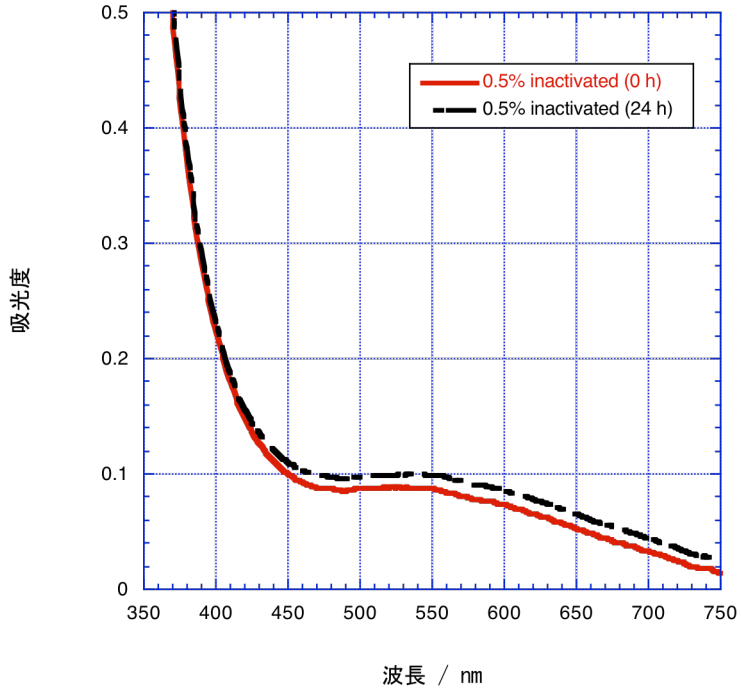


図 3.13 ビオフェルミン健胃消化薬錠から調製して失活させた人工消化液の吸収スペクトル

対照，純水; 635 nm における吸光度が高い方(黒色，－ -) が 24 時間反応後のサンプルで，低い方(赤色，－)が 0 時間のもの。

表 3.9 と図 3.14，3.15 は 1.0 mL のオリーブ油とビオフェルミン健胃消化薬錠から調製した 0.50%(W/V)リパーゼ AP6 人工消化液 1.0 mL を用いた脂肪の消化の反応時間依存性を示したものである。失活したものは最後まで青色にはならなかった。一方，活性のある方は，6 時間経過後から目視でも青色の呈色を

確認できた。12 時間経過後からは，遠心分離前の段階で青色になっていることが確認できた。

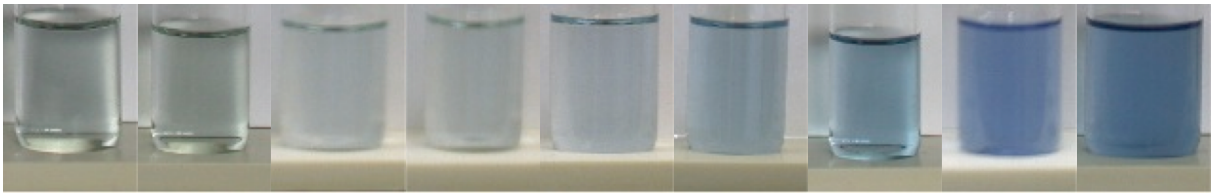
表 3.9 人工消化液を用いたオリーブ油の消化分解の反応時間依存性

反応時間 / 時間	活性のあるサンプル（pH 5.79）			失活させたサンプル（pH 5.69）		
	635 nmにおける吸光度の差（24時間反応後−0時間）の平均 ± 標準誤差		青色の呈色（目視確認）	635 nmにおける吸光度の差（24時間反応後−0時間）の平均 ± 標準誤差		青色の呈色（目視確認）
0（対照）	0.000		−	0.000		−
1	0.011 ± 0.006	(5)	−	−0.005 ± 0.002	(3)	−
3	0.053 ± 0.004	(5)	−	−0.008 ± 0.002	(3)	−
6	0.099 ± 0.024	(5)	+	0.003 ± 0.004	(3)	−
12	0.124 ± 0.023	(5)	+	−0.012 ± 0.002	(3)	−
18	0.211 ± 0.024	(5)	++	−0.006 ± 0.004	(3)	−
24	0.243 ± 0.070	(5)	++	−0.002 ± 0.006	(3)	−
36	0.720 ± 0.024	(5)	+++	−0.008 ± 0.001	(3)	−
48	0.850 ± 0.122	(5)	+++	0.005 ± 0.003	(3)	−

(*n*),測定回数; +, 検出可能; −, 検出不可能; 人工消化液濃度, 0.50%(W/V) リパーゼAP6.

活性あり

0 時間　1 時間後　3 時間後　6 時間後　12 時間後　18 時間後　24 時間後　36 時間後　48 時間後



活性なし

0 時間　1 時間後　3 時間後　6 時間後　12 時間後　18 時間後　24 時間後　36 時間後　48 時間後

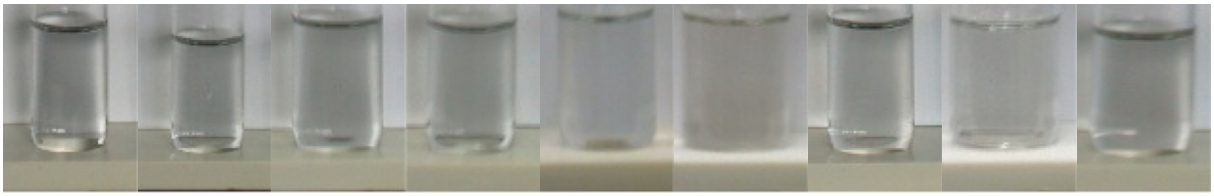


図 3.14 グリセリン検出反応の結果

（上段，活性あり（未変性）；下段，失活（加熱変性））

写真は左から 0 時間，1 時間後，3 時間後，6 時間後，12 時間後，18 時間後，24 時間後，36 時間後，48 時間後の順。

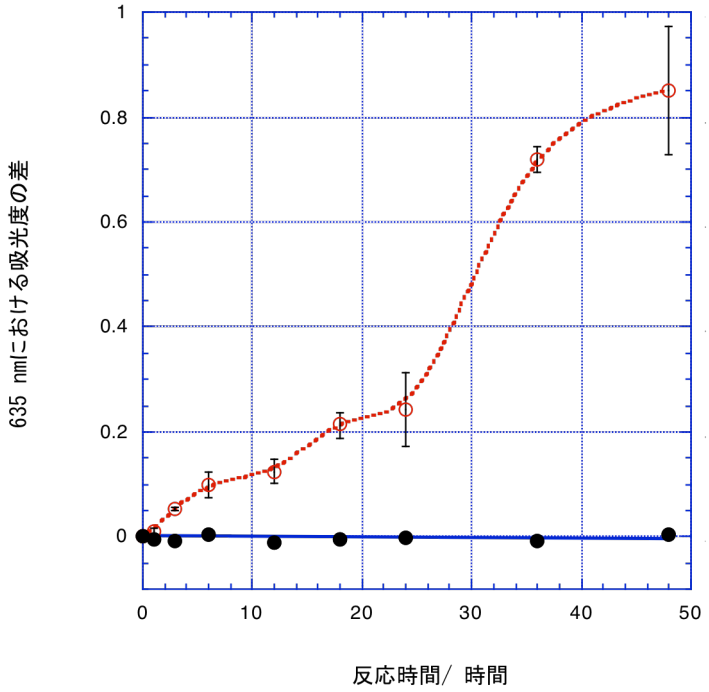


図 3.15 人工消化液を用いた脂肪の消化の反応時間依存性

条件，ビオフェルミン健胃消化薬錠から調製した人工消化液（0.50%(W/V) リパーゼ AP6）1.0 mL；白丸○，活性のあるサンプル；黒丸●，失活させたサンプル；エラーバー，標準誤差（いくつかのサンプルでは標準誤差が小さすぎて表示されていない）。

3.3.4 他の消化薬から消化液を調製した場合

ビオフェルミン健胃消化薬錠から調製した人工消化液と同じように，どの消化薬から調製した消化液にグリセリンの検出反応を行ってもそれのみでは青色にならず，635 nm 付近に吸収ピークを示さなかった（図 3.16）。活性のある新ビオヂアスとワカモト消化薬から調製したサンプルは 600nm 付近に吸収ピークがあった（図 3.16A，B）。新ビオヂアスから調製した失活させたサンプルは，紫色を呈した。バランサー胃腸薬とハイウルソ顆粒から調製したサンプルは黄色を呈した。新ビオヂアスとワカモト消化薬，それに新タカヂア錠から調製した失活させたサンプルは 550 nm 付近に吸収ピークがあった（図 3.16C，D）。

他の消化薬から調製した人工消化液とオリーブ油を反応させても，ビオフェルミン健胃消化薬錠を用いた時と同様に，0 時間の段階でグリセリン検出反応を行っても全て青色を呈さず 635 nm 付近に吸収ピークを示さなかった。

図 3.16A

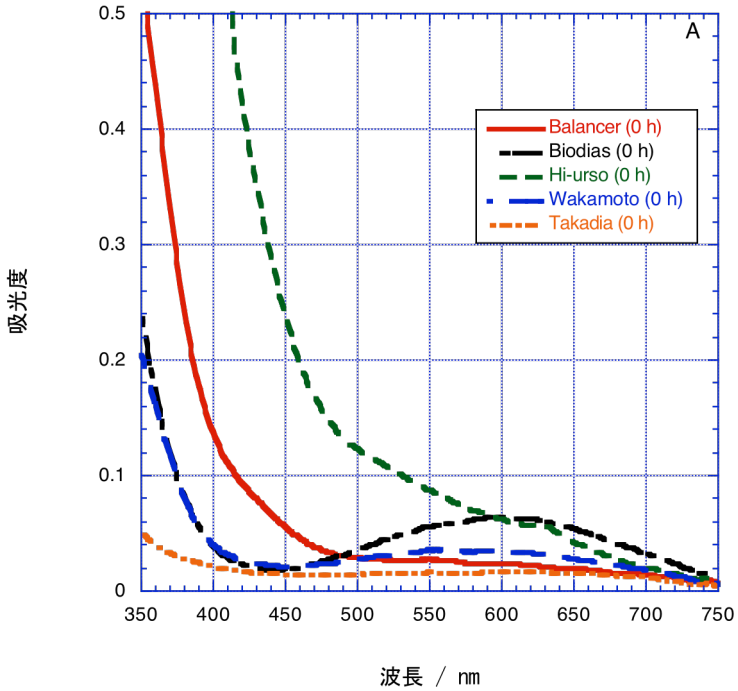

A
Balancer (0 h)
Biodias (0 h)
Hi-urso (0 h)
Wakamoto (0 h)
Takadia (0 h)
吸光度
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
350
400
450
500
550
600
650
700
750
波長 / nm

図 3.16B

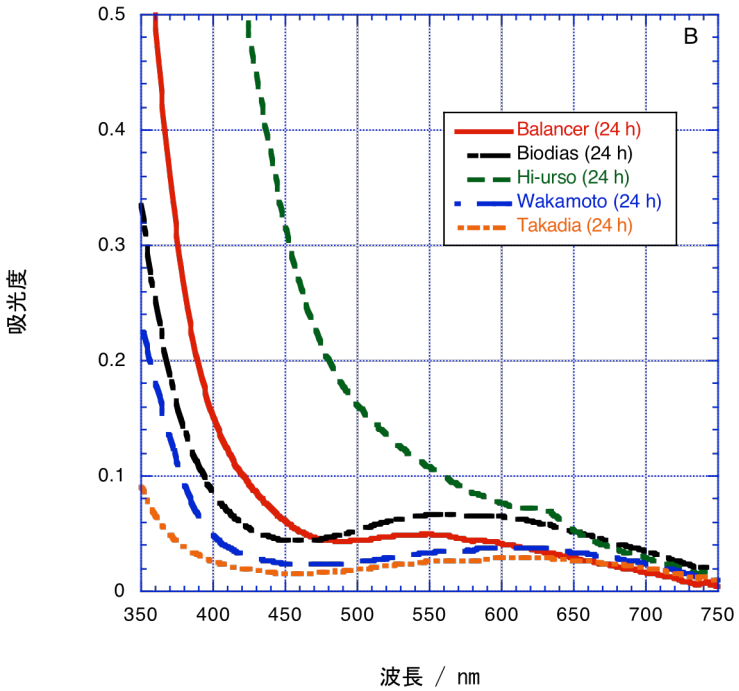

B
Balancer (24 h)
Biodias (24 h)
Hi-urso (24 h)
Wakamoto (24 h)
Takadia (24 h)
吸光度
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
350
400
450
500
550
600
650
700
750
波長 / nm

図 3.16C

図 3.16D

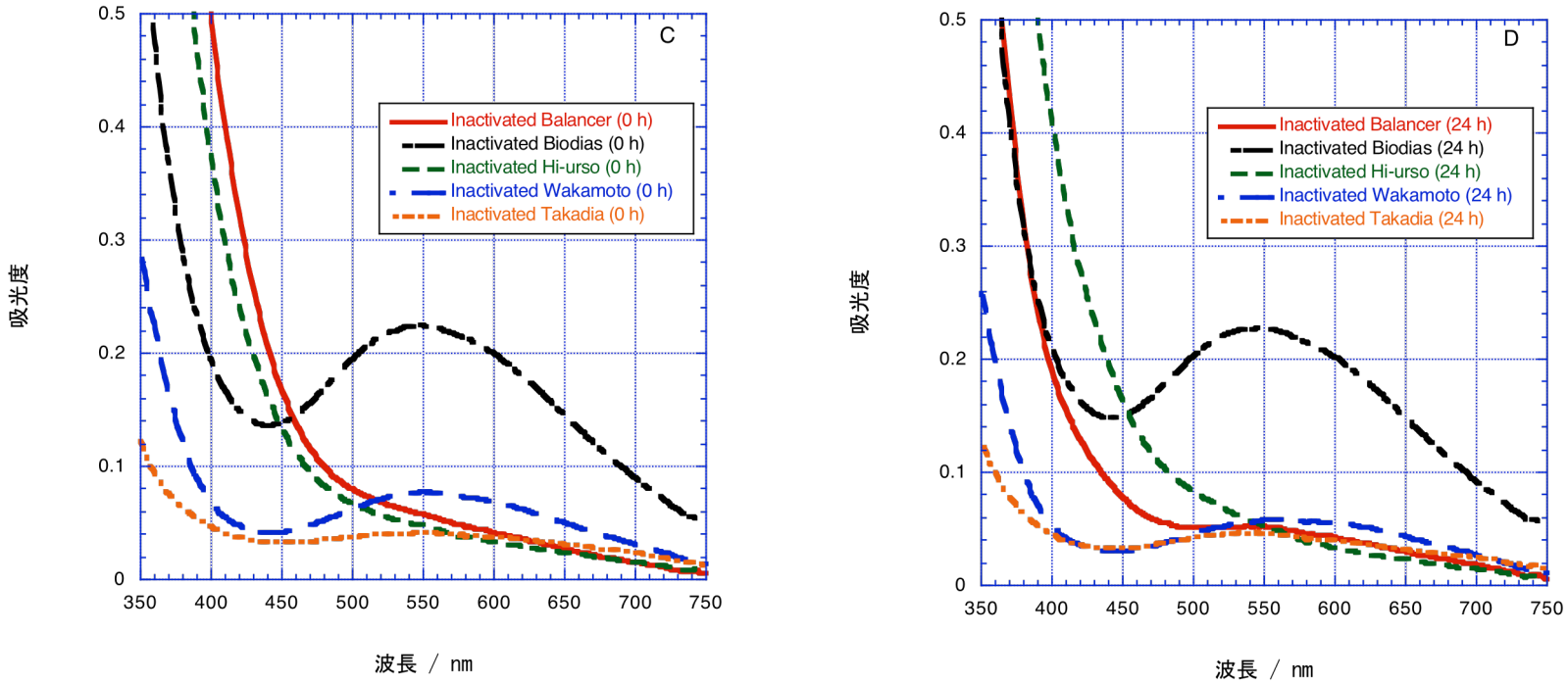


図 3.16 他の消化薬から調製した人工消化液のみでの吸収スペクトル

A，活性のあるサンプル(0 時間，反応前)；B，活性のあるサンプル(24 時間反応後)；C，失活させたサンプル(0 時間，反応前)；失活させたサンプル(24 時間反応後)；対照，水；バランサー胃腸薬の結果(赤色，―)，新ビオヂアスの結果(黒色，－ － － －)，ハイウルソ顆粒の結果(緑色，－ － － －)，ワカモト消化薬の結果(青色，－ － －)，新タカヂア錠の結果(橙色，－・－・)。

表 3.10 と図 3.17 は 1.0 mL のオリーブ油と 1.0 mL の他の消化薬から調製した人工消化液からなる反応混液を24時間インキュベートしたものと0時間のものにそれぞれグリセリン検出反応したものの635 nmにおける吸光度の差と吸収差スペクトルを示している。特に不活性なサンプルでは，オリーブ油が混入しやすかったので，十分注意して混入しないように試料採取した。失活させたサンプルでは 635 nm 付近に吸収ピークは見られなかった（図 3.17B)。活性はあるが脂肪分解酵素が含まれていない新タカヂア錠から調製した人工消化液を用いたサンプルも 635 nm 付近に吸収ピークは見られず，青くならなかった。新ビオヂアスとワカモト消化薬から調製した活性のあるサンプルだけ635 nm付近に吸収ピークが見られ，青色を呈した。特に，新ビオヂアスのサンプルは遠心分離をする前から，はっきりと青色になったことを示した。しかし活性があってもバランサー胃腸薬とハイウルソ顆粒のサンプルは635 nm付近に吸収ピークは見られず，青くならなかった（図 3.17A)。

表 3.10 いろいろな消化薬から調製した人工消化液を用いた消化実験での
反応前後における 635 nm の吸光度の差と青色の目視確認結果

消化薬	活性のあるサンプル				失活させたサンプル			
	pH	635 nmにおける吸光度の差（24時間反応後−0時間）の平均 ± 標準誤差		青色の呈色（目視確認）	pH	635 nmにおける吸光度の差（24時間反応後−0時間）の平均 ± 標準誤差		青色の呈色（目視確認）
バランサー	9.33	0.020 ± 0.001	*(4)*	−	9.14	0.018 ± 0.017	*(4)*	−
ビオヂアス	6.28	0.176 ± 0.018	*(5)*	++	6.24	0.019 ± 0.007	*(6)*	−
ハイウルソ	4.96	−0.008 ± 0.002	*(4)*	−	5.09	−0.026 ± 0.004	*(4)*	−
ワカモト	5.84	0.055 ± 0.003	*(6)*	+	5.80	−0.003 ± 0.001	*(6)*	−
タカヂア	7.04	−0.003 ± 0.004	*(4)*	−	6.91	0.005 ± 0.001	*(19)*	−

(*n*), 測定回数; +, 検出可能; −, 検出不可能; 対照, 純水.

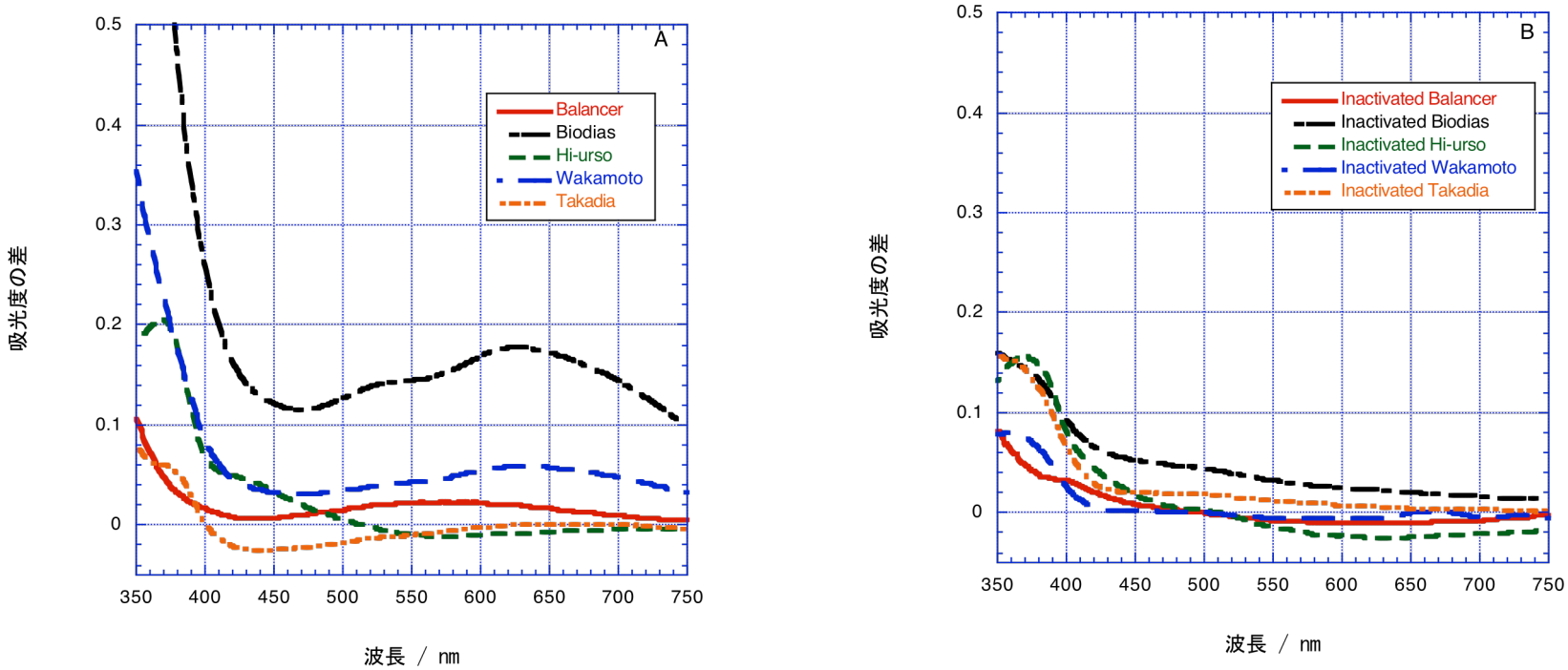


図 3.17 いろいろな消化薬から調製した人工消化液を用いて 24 時間反応させたものと 0 時間のものとの吸収差スペクトル

A，活性のあるサンプル；B，失活させたサンプル；バランサー胃腸薬の結果（赤色，―），新ビオヂアスの結果（黒色，－ － － －）ハイウルソ顆粒の結果（緑色，－ － － －），ワカモト消化薬の結果（青色，－ － －），新タカヂア錠の結果（橙色，－・－・）。

3.3.5 中学校の理科室や教室で実験するための確認–グリセリンの検出で遠心分離機やボルテックスミキサーを用いない場合–

表 3.11 と図 3.18，3.19 は消化前後のサンプルにグリセリンの検出を行う時の撹拌方法の違い（遠心分離機使用）による結果と，遠心分離機の代わりにディスポーザブルシリンジフィルターユニットやろ紙を使用した時の結果である。

表 3.11 呈色反応時の撹拌方法や沈殿物の分離方法による違いが呈色に及ぼす影響

方法	活性のあるサンプル		失活させたサンプル	
	635 nmにおける吸光度の差（24時間反応後-0時間）の平均 ± 標準誤差	青色の呈色（目視確認）	635 nmにおける吸光度の差（24時間反応後-0時間）の平均 ± 標準誤差	青色の呈色（目視確認）
遠心分離機	pH 5.81		pH 5.65	
ミキサー	0.239 ± 0.025 *(24)*	++	0.016 ± 0.010 *(9)*	–
手動撹拌	0.059 ± 0.025 *(5)*	–	0.112 ± 0.009 *(4)*	–
シリンジフィルター	pH 5.86		pH 5.65	
ミキサー	0.217 ± 0.026 *(6)*	++	−0.002 ± 0.001 *(6)*	–
手動撹拌	0.068 ± 0.004 *(4)*	+	−0.009 ± 0.001 *(4)*	–
ろ紙	pH 5.81		pH 5.71	
ミキサー	0.128 ± 0.018 *(8)*	++	−0.005 ± 0.015 *(7)*	–
手動撹拌	0.033 ± 0.005 *(11)*	–	0.032 ± 0.016 *(10)*	–

(*n*), 測定回数; +, 検出可能; –,検出不可能.
条件, ビオフェルミン健胃消化薬錠から調製した人工消化液(0.50% (W/V) リパーゼ AP6).

活性のあるサンプルの場合(図 3.18A)，ボルテックスミキサーと遠心分離機を用いたときは 635 nm 付近に吸収のピークを示し，青色を示した。遠心分離機を用いても撹拌を手動にすると 635 nm 付近に吸収ピークはあるが，青色にはならなかった。

遠心分離機を用いた場合と同じように，ディスポーザブルシリンジフィルターユニットや定性ろ紙を用いた活性のあるサンプルの場合(図 3.19A，C)，ボルテックスミキサーを使用したときは 635 nm 付近に吸収のピークを示し，青色になった。しかしながら，手動で撹拌した場合には 635 nm での吸光度はボルテックスミキサーを使用した時の 1/3 以下になり，青色を示さなかった。

一方，失活させたサンプルは全て青色を呈さず，635 nm 付近に吸収のピークを示さなかった(図 3.18B；図 3.19B，D)。

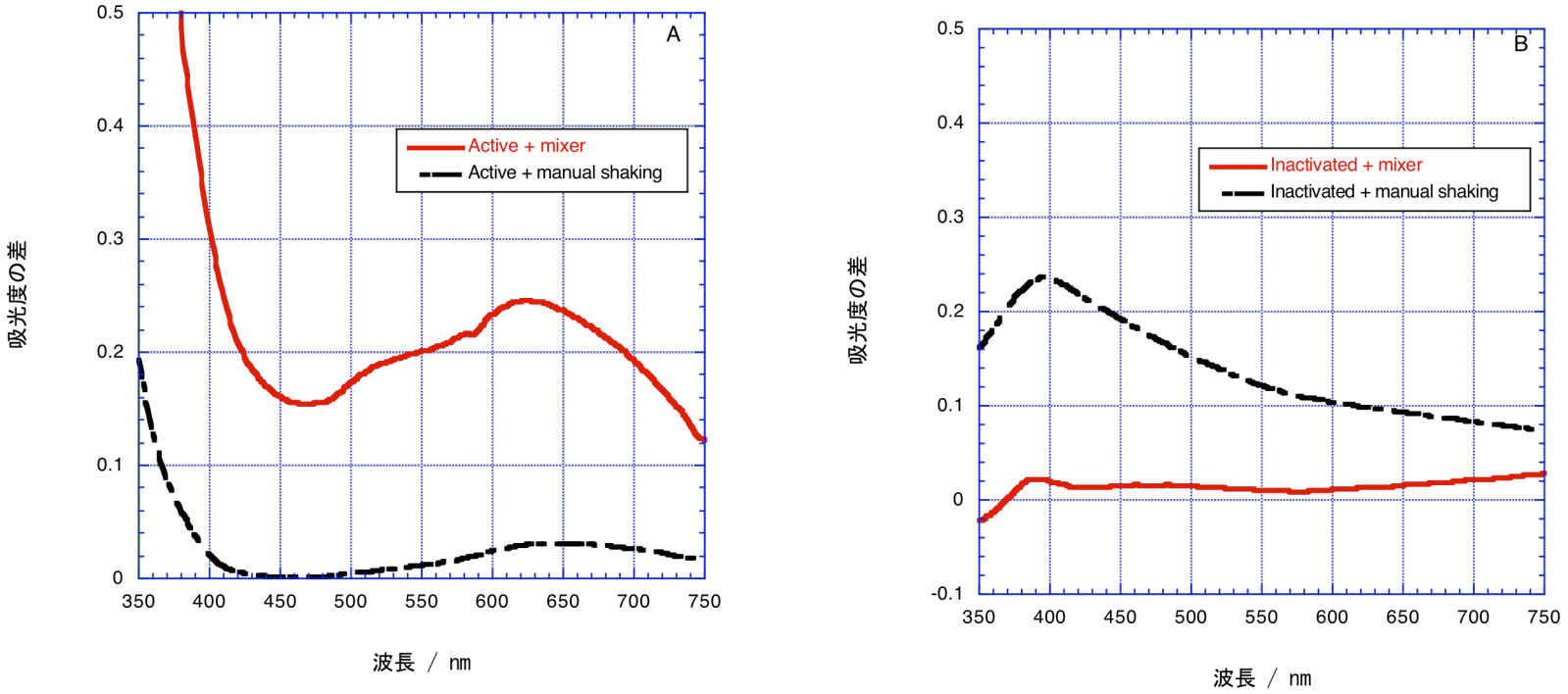


図 3.18　呈色反応での撹拌の方法の違いによる 24 時間反応させたものと 0 時間のものとの吸収差スペクトル（遠心分離機使用）

条件，ビオフェルミン健胃消化薬錠から調製した人工消化液（0.50%(W/V) リパーゼ AP6）1.0 mL；A，活性のあるサンプル；B，失活させたサンプル；ボルテックスミキサー使用（赤色，―）；手動撹拌（黒色，－ -）。

図 3.19A

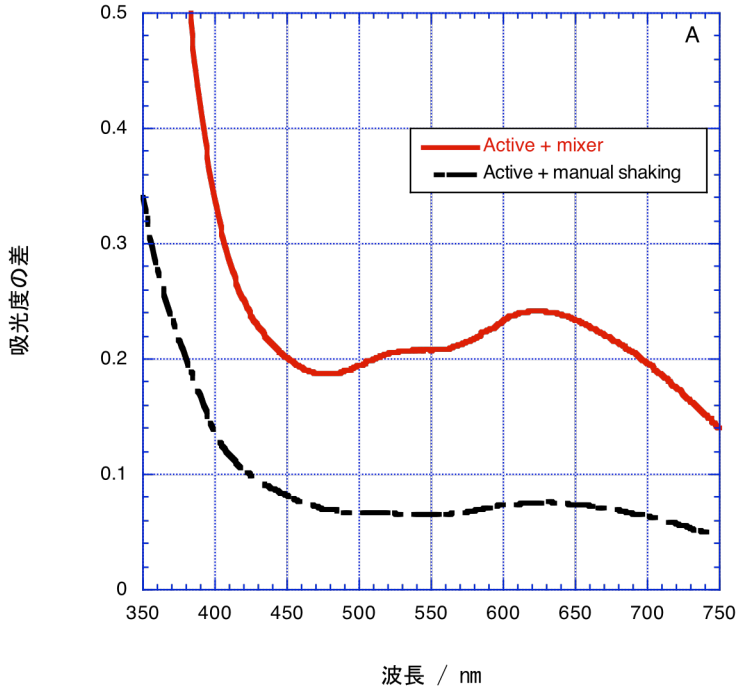

A
Active + mixer
Active + manual shaking
吸光度の差
波長 / nm
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
350
400
450
500
550
600
650
700
750

図 3.19B

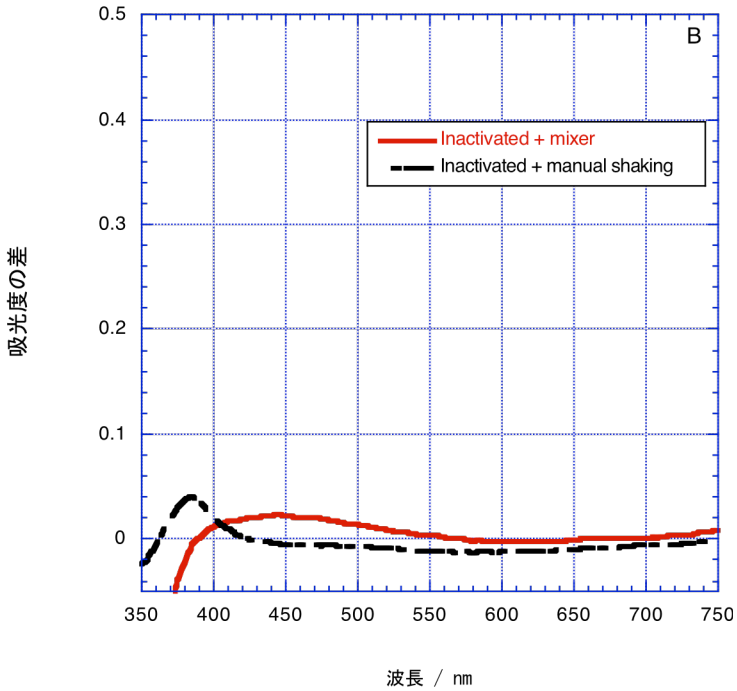

B
Inactivated + mixer
Inactivated + manual shaking
吸光度の差
波長 / nm
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
350
400
450
500
550
600
650
700
750

図 3.19C

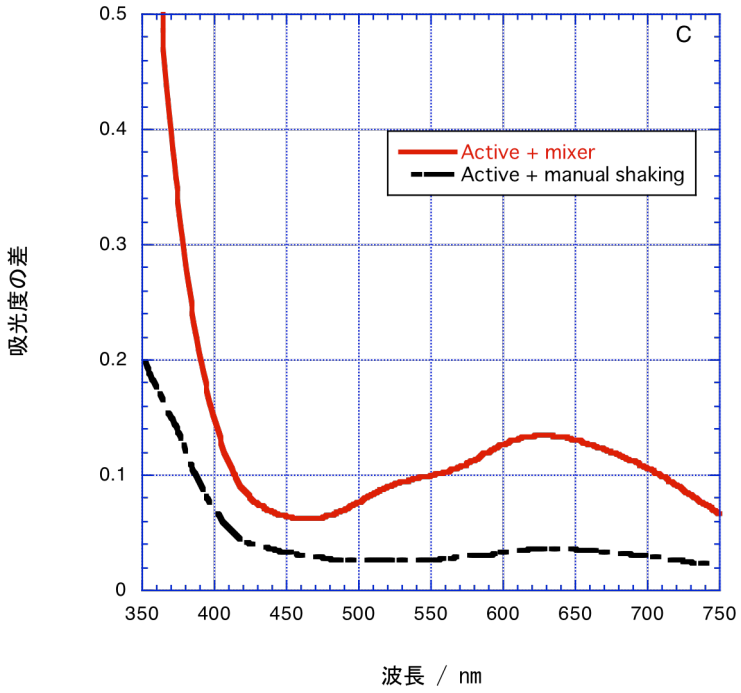


図 3.19D

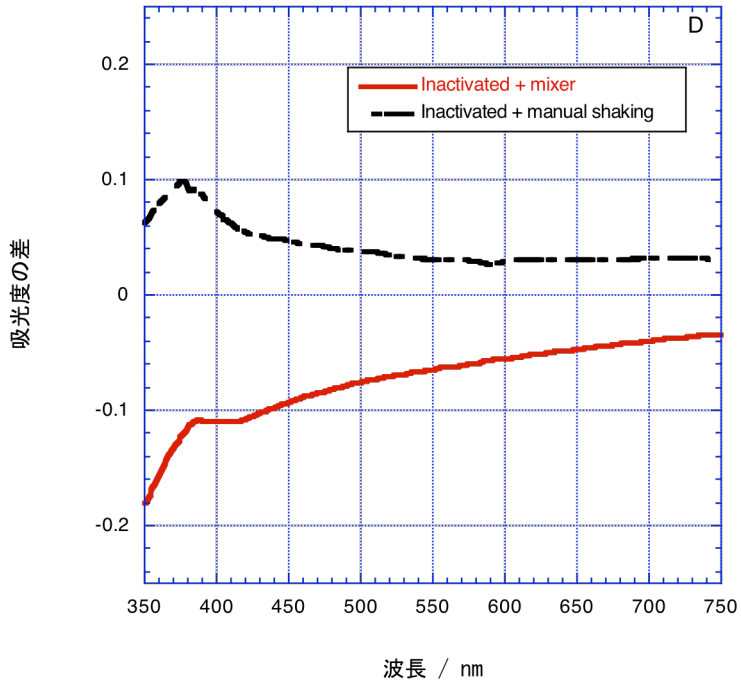


図 3.19 遠心分離以外の方法で呈色反応の沈殿物を分離した場合の吸収差スペクトル

条件,ビオフェルミン健胃消化薬錠から調製した人工消化液(0.50%(W/V) リパーゼ AP6)1.0 mL; A, ディスポーザブルシリンジフィルターユニット使用時・活性のあるサンプル; B, ディスポーザブルシリンジフィルターユニット使用時・失活させたサンプル; C, ろ紙使用時・活性のあるサンプル; D, ろ紙使用時・失活させたサンプル; ボルテックスミキサー使用 (赤色, ―); 手動撹拌 (黒色, ― ―)。

3.4 考察・実験方法の確定

3.4.1 タンパク質の消化に関する実験教材開発についての考察・結論

タンパク質の消化の実験教材は，第 2 章で述べたようにすでにいくつかの実験教材が報告されている[19-26]。しかし，タンパク質が消化されてアミノ酸になるということまでを，デンプンの消化と同様に呈色反応で定性的に理解できるような形での報告ではない。中学生程度の実験観察技能と中学校程度の施設・設備で行う理科の授業に導入するには費用や実験操作，授業時間の確保や単元全体の構成の面で工夫が必要であり，単純にそのまま利用するには困難が予想できた。そこで，タンパク質が消化されてアミノ酸が生じることを，反応開始の段階ではタンパク質の呈色反応のみが現れ，消化されるとその反応が消失し代わりにアミノ酸の存在を示す呈色が現れるような実験教材を開発することとした。具体的には，中学生程度の実験観察技能ならびに中学校の施設設備で実践可能な，酵素源として「消化酵素」が含まれていることが明示されており安価で入手しやすい市販の消化薬を用いた，簡便なタンパク質の消化の実験教材を開発した。

人工消化液の酵素源となる消化薬は，含有成分表からタンパク質消化酵素が多く含まれ，他の成分の含有量が少ないものを選び，バランサー胃腸薬（大正製薬株式会社製)，ハイウルソ顆粒（佐藤製薬株式会社製)，ワカモト消化薬（わかもと製薬株式会社製)，新ビオヂアス（天野商事株式会社製)，新タカヂア錠（第一三共ヘルスケア株式会社製）を用いた。基質となるタンパク質は，安価で身近なものとして，かつおぶし（けずり節)，卵白，木綿豆腐，製菓用ゼラチンを選定した。かつおぶしはそのままの状態のものの他に粉末状にしたものと一度煮出したものも用いた。タンパク質とアミノ酸の検出は，ビウレット反応[27-28]ならびにニンヒドリン反応[29]を用いた。さらに水酸化ナトリウム水溶液を加えアルカリ性にした後に硫酸銅(Ⅱ)水溶液を加えて行うビウレット反応の簡易な方法とニンヒドリンをエタノールに溶解させた後，水で希釈して調製した簡易ニンヒドリン溶液を用いるニンヒドリン反応の簡易な方法[30]とアルブミンと色素との反応を利用する[31]尿タンパク試験紙新ウリエース BT(テルモ株式会社製）でも実験した。

活性の有無に関係なくどの消化薬から調製した人工消化液も，人工消化液のみではニンヒドリン反応の呈色は確認できたがビウレット反応では目視で確認できる程の呈色の変化を示さなかった。これは酵素自体がタンパク質であるもののビウレット反応の検出限界を下回る量しか存在していないことを意味するとともに，ビウレット反応が陽性になった場合には，基質であるタンパク質が反応した結果だと解釈できることを示している。

基質として最適なタンパク質はゼラチンであった。豆腐は 24 時間反応後にはもとの大きさの 1/2〜2/3 程度の大きさに変化したものの,卵白やかつおぶしでは目視確認できるような基質の変化を実験の前後で確認できなかった（図 3.1, p.62)。特に卵白では，消化液を注ぎ入れた段階で卵白自身が圧縮されてしまった。圧縮の程度が一定ではないため実験サンプル自体に個体差が生じるため比較対照用のサンプルを別に用意することが難しい。比較対照を簡単に用意できない状況では，何が影響して基質が変化したかを実験サンプルの比較から考察することが困難になる。表 3.4（p.61）に示すようにそのままのものと煮出したかつおぶし，卵白，豆腐では，24 時間経過後のニンヒドリンの呈色が濃くなり，消化によってアミノ酸が生じていることが確認できたが，上澄みのビウレット反応が終始陰性だった（図 3.2, p.63)。それに加えて豆腐以外では，基質自身の消化による見た目の変化を観察できなかった。つまり，タンパク質が分解してアミノ酸が生じたという結論を得る実験教材としてはふさわしくない。かつおぶしについては，そのままの方が製造段階で生じるアミノ酸の影響を受けると思われたが，煮出したものと比較してニンヒドリン反応の呈色には肉眼で区別できるほどの差が生じなかった。一方，粉末にしたかつおぶしの場合，その粉末が混入することがあり呈色反応で消化の定性的な結果を得ることができなかった。特にニンヒドリン反応では他のかつおぶしのサンプルより 0 時間の段階で濃い呈色となった。そのため，30 分後，24 時間後の方が 0 時間の時に比べ薄い色（表 3.4（p.61）の吸光度 ＜ 0）となり，タンパク質が消化されアミノ酸が増加したという考察をすることがこの結果からは不可能である。表面積を広くして消化されやすくしても，見た目の変化が乏しく，呈色反応のサンプル採取の際に基質であるかつおぶし粉末の混入を防ぐなど作業手順が複雑になることも含めて考慮すると，粉末状にしたものでは実験の再現性や得られる結果と学習内容との整合性で問題が生じるため基質の形状としては不適切である。

ゼラチンの場合，実験開始 30 分後ではゾル状態となっており基質に変化が見られ，ビウレット反応，ニンヒドリン反応とも陽性となった（図 3.3, p.64)。この結果からゼラチンがタンパク質であることと，アミノ酸がタンパク質を構成する物質だと確認できる。この 30 分のサンプルをすぐに冷却すると，実験開始時と同程度のゲルが観察できたことから 30 分ではタンパクの状態変化だけが確認でき，まだ消化があまり進行していないと判断できる。反対に，30 分では消化できないことからゼラチンを用いたとしても，1 単位時間（50 分）の中学校の授業では準備，実験，考察，後始末までを行うことは困難である。酵素濃度を高くした人工消化液を用いれば，反応時間が短縮できるかもしれない。

しかし，ゼラチンを使用した場合には，基質の変化が消化による変化かゾル-ゲル転移による変化かを確認するために反応後の冷却が必要不可欠となる。この冷却時間まで含めると 1 単位時間内で実施可能な実験教材にするには相当な工夫が必要であり，実用的ではないと判断した。そのため，人工消化液の酵素濃度を変えて実験することで時間を短縮することは目指さなかった。

ゼラチンを基質にした場合，人工消化液の活性の有無にかかわらず反応時間が 0 時間段階では，すべてのサンプルでニンヒドリン反応だけが少し見られた（図 3.5, p.65)。この状態ではゼラチンはまだゲルの状態であり，人工消化液だけのサンプルでも同程度の呈色が確認できることからこのニンヒドリン反応は消化薬に含まれている成分の影響であると推察できる。活性のあるサンプル（図 3.5A, p.65）では 15 分後ですでにゾル状態であり，この時点ではビウレット反応，ニンヒドリン反応とも陽性であった。24 時間反応後のサンプルを冷却してもゼラチンは凝固しなかった（図 3.4A, p.64)。この冷却後のサンプルのビウレット反応は陰性で，ニンヒドリン反応のみが陽性という結果から，タンパク質がアミノ酸に分解されたと判断できる。一方失活したサンプル（図 3.5C, p.65）では，15 分後のゾル状態では活性のあるサンプルと同様にビウレット反応，ニンヒドリン反応とも陽性の反応を示したが，24 時間反応後に冷却すると実験開始時と同量の凝固したゼラチンを確認できた（図 3.4B, p.64)。この状態ではビウレット反応，ニンヒドリン反応とも 0 時間の時と同様の結果となり，凝固したゼラチンを再度温めて溶解した後に呈色反応を行うと，15 分後と同様にビウレット反応，ニンヒドリン反応とも陽性を示した。この実験結果から消化液中の消化酵素の働きによって消化が起こり，それが熱によって能力を失うことが理解可能である。

反応条件を 25℃にした場合ではゼラチンはゾル化せずに消化された。24 時間反応後のゼラチン量は冷却しなくても 0 時間のものに比べて見た目が減少し，ニンヒドリン反応は 24 時間反応後には目視確認できるまで呈色した。ゼラチンの減少は消化によるもので，消化されアミノ酸の生成が確認できる。しかし，タンパク質が溶液状になっていないことからビウレット反応が終始陰性であったため，25℃での実験ではタンパク質の存在を呈色反応で確認できないという問題がある。これではゼラチンがタンパク質であることを，実験の結果から考察を促し理解させることが難しい。40℃で実験するとゼラチンはゲルからゾルに変化するので，人工消化液と反応しやすい状態になっていると考えられる。25℃での実験結果と比較することで「口から取り入れられた食物は，まず歯によって細かくかみ砕かれる」という物理的消化の意味や流動食の意味，さらには至適温度の意味を考えるのに効果的であると考えられる。

表 3.4（p.61）の結果からは，緩衝液の有無が実験結果に影響しないこともわかる。消化実験用のサンプルの調製に緩衝液は不要であり，人工消化液と基質だけで実験教材となる。バランサー胃腸薬から調製した消化液自身の pH は未調整段階では 9.35 とニンヒドリン反応に適しておらず，含有酵素ビオヂアスターゼ 2000（*Aspergillus oryzae*）やプロザイム 6（*Aspergillus melleus*）の至適 pH[注2]に調整する必要があった。しかし表 3.5（p.67）の結果とあわせて考えると，消化酵素ビオヂアスターゼ 2000 を含む消化薬からその至適 pH である pH6.0 の人工消化液を調製し，ゼラチンを基質に用いればタンパク質の消化を理解する実験教材となることがわかる。消化酵素ビオヂアスターゼ 2000 を含んではいない新タカヂア錠から調製した人工消化液も使用可能である。さらに今回用いたバランサー胃腸薬以外の消化薬から調製した人工消化液は pH が未調整でも 6 前後の値を示し，厳密な調整をせずにそのまま用いることが可能であることもわかった。これは，実験教材の準備の簡便化につながる。ただしハイウルソ顆粒から調製した人工消化液を用いると，他の消化液と異なり 24 時間反応後に冷却すると実験開始時の 1/3 程度の量の凝固したゼラチンが確認できるなど，基質の見た目の変化に差が生じた。市販の消化薬は消化酵素以外の健胃成分を含むなどそれぞれ特徴をもっており，その影響で消化薬によって消化力の異なる人工消化液が調製されたと考えられる。どの消化薬から調製した人工消化液を用いたサンプルでも実験開始時ではニンヒドリン反応が少し見られたが，これは消化液のみの場合と同じ結果であり，消化酵素をはじめとする消化薬内に含まれている成分の影響であると推察できる。

かつおぶし，卵白，豆腐，ゼラチンの全てのタンパク質において尿タンパク試験紙での変化も確認したが，教師用指導書の記述[32)]と同様に終始陰性の結果を得た。消化実験開始段階の，まだタンパク質が存在している段階で陰性の結果が得られるのでは生徒の学習を妨げてしまう。尿タンパク試験紙はアルブミンと色素との反応を利用しており[33)]，グロブリンなど他のタンパク質はアルブミンの 1/5〜1/10 程度の感度である。そのため卵白のようにアルブミンの含有量の多いタンパク質以外では適切な結果が得られにくいと考えられる。今回は固体の卵白を使用したため水に溶けた状態のアルブミンがほとんどない状態であり，卵白でも終始陰性の結果を得たとも考えられる。しかし，卵白溶液で実験した場合には基質の見た目の変化が観察しにくいであろう。本実験教材のような消化の理解を深める実験では，尿タンパク試験紙をタンパク質検出方法として用いるためにはさらなる工夫が必要である。その一方で，ゼラチンを基質として実験を行った場合，水酸化ナトリウム水溶液を加えアルカリ性にした後に硫酸銅(Ⅱ)水溶液を加えて行うビウレット反応の簡易な方法とニンヒドリン

をエタノールに溶解させた後，水で希釈して調製した簡易ニンヒドリン溶液を用いるニンヒドリン反応の簡易な方法[34)]でも十分な結果が得られた（図 3.6, p.68)。つまり硫酸銅（Ⅱ）5 水和物，水酸化ナトリウム，ニンヒドリン，エタノールさえあれば呈色反応を確認することができる。ニンヒドリンこそ中学校の理科室の薬品庫に常在している試薬ではないが入手は簡単であり，他の試薬は全て一般的なものであり中学校の理科室の薬品庫に常在している。つまり，中学校で授業実践するための準備は容易であると考えられる。

以上のタンパク質の見た目の変化ならびに呈色反応を用いた生化学的な定性実験の結果から，市販の消化薬を酵素源とした人工消化液とゼラチンを基質とした消化実験を 40 ℃で行うとタンパク質が酵素の働きによって消化されてアミノ酸になることを確認できる。このタンパク質が消化されアミノ酸になることを理解できる実験教材の方法をまとめると以下の①～⑥のようになる。この方法は，身近な医薬品であり入手が容易な消化薬を用いている。また，デンプンの消化と同様に呈色反応でその化学変化を確認しており簡単である。ただし，1 単位時間の授業ではその実践は難しく，2 日に分けて行う必要がある。

① 市販のタンパク質消化酵素含有消化薬 1 回処方量を用いて，pH が 6 程度の人工消化液 100 mL を調製する。
② ゼラチン 2.0 mL を凝固させた試験管に 10.0 mL の人工消化液を加え，40 ℃で 24 時間反応させる。
③ 24 時間反応後，冷蔵庫で 1 時間以上冷却する。
④ 反応開始 15～30 分後のサンプルと 24 時間反応させた後に冷却したサンプルを観察し，0 時間のものと比較しながらゼラチンの形状の変化を観察する。反応開始 15～30 分後では，ゾルになっており固体のゼラチンは観察できない。活性がある場合，24 時間反応後に冷却したサンプルでは凝固したゼラチンは観察できないか 0 時間の時よりも少なくなっている。
⑤ 反応開始 15～30 分後のサンプルと 24 時間反応させた後に冷却したサンプルの上澄みを採取し，ビウレット反応とニンヒドリン反応を行うと，15～30 分後のサンプルでは酵素活性の有無にかかわらずビウレット反応とニンヒドリン反応の両方とも陽性の反応が得られる。24 時間反応後のものでは活性があるサンプルでニンヒドリン反応のみ陽性となる。ビウレット溶液とニンヒドリン溶液は簡易なものでも同様の結果を得られる。
⑥ 加熱により失活させた消化液ではゼラチンが消化されないことも確認できる。

3.4.2 脂肪の消化に関する実験教材開発についての考察・結論

脂肪はヒトの体内で消化されるとその大部分は脂肪酸とモノグリセリド（2-モノアシルグリセロール）に分解された後，吸収される。しかし，第 2 章で述べたように最近の教科書までは「脂肪酸とグリセリン」に分解されると記されていた。また，脂肪酸やモノグリセリドを検出するよりも水溶性のグリセリンを検出するほうが簡単であり，水に溶けない脂肪から水に溶けるグリセリンが生じるということは，消化が化学変化であり，性質が異なる物質に変化することを理解させやすい。これらのことを考慮し，タンパク質の消化実験教材開発と同様に，市販の消化薬を用いた人工消化液で脂肪を分解し，分解生成物であるグリセリンを検出する実験教材を開発することにした。

市販の消化薬に含まれるリパーゼは *Aspergillus niger* を供給源としたものである。このリパーゼは，脊椎動物のリパーゼと同様に，長鎖トリグリセリドの 1 位と 3 位に高い特異性を示す[35-36]。しかし，30 分以上の長時間反応させると非酵素的なアシル基の転移がおこり，図 3.20 に示すように最終的にグリセリンを生成する[37-38]。さらにこのリパーゼは，分解反応が長時間に及んでも遊離脂肪酸のエステル化という逆反応が起こりにくい[39]。脂肪に対する位置特異性がヒトの体内での反応と類似しており，反応時間が経過するとグリセリンが生成することから，適当な補足をすることで授業での実践が可能だと思われる。

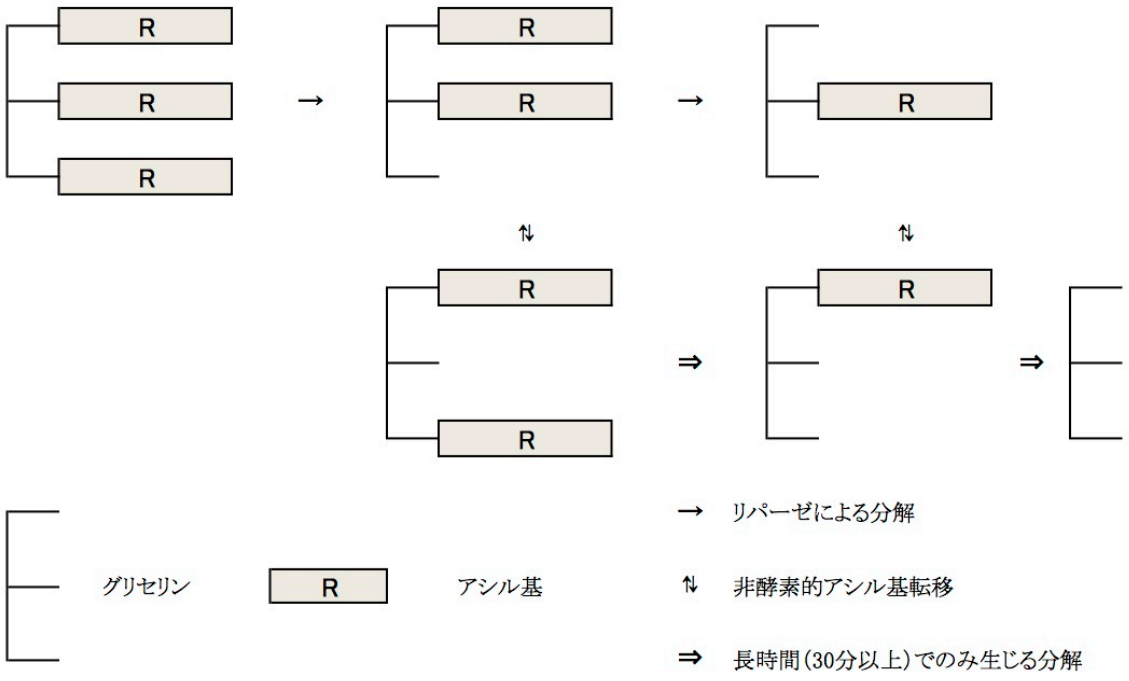


図 3.20　*Aspergillus niger* リパーゼのトリグリセリドの分解機構[40]

グリセリンの確認は，グリセリンを青色のナトリウム-銅(Ⅱ)-グリセリン錯体（λ_{max} 630-635 nm）として検出する方法[41-43]を利用した。この方法は，エチレングリコール（Ethane-1,2-diol）や 1,2-プロピレングリコール（Propane-1,2-diol）とも錯体を形成するが，トリメチレングリコール（Propane-1,3-diol）とは反応しない。そのため，2-モノアシルグリセロールと反応する可能性は低いことが予想できる反面，1-モノアシルグリセロールと反応する可能性がある。しかし，1-モノアシルグリセロールの１つであるモノオレイン酸グリセリンは水に溶けにくいため，消化液の水溶液に溶ける分解生成物の大部分はグリセリンであると考えられる。つまり，呈色したということはグリセリンが分解によって生成され錯体を形成したことを意味する。仮に 1-モノアシルグリセロールで呈色したとしても，分解生成物を検出したことには変わらないため，実験教材として利用するには問題はない。基質は「第十四改正日本薬局方」の消化力試験法[44]に倣いオリーブ油を，酵素源となる消化薬は，消化酵素が多く含まれ他の成分の含有量が少ないものを外装の有効成分表で判断し選定した。今回は，「ビオフェルミン健胃消化薬錠（ビオフェルミン製薬株式会社製)」を基礎的な実験条件を確定するのに用いた。これに含有されている脂肪分解酵素はリパーゼ AP6(*Aspergillus niger*)とニューラーゼ（*Rhizopus niveus*）であった。また，タンパク質の消化実験と同様に，有効成分が「ビオフェルミン健胃消化薬錠」と似ている他の消化薬（バランサー胃腸薬（大正製薬株式会社製)，ハイウルソ顆粒（佐藤製薬株式会社製)，ワカモト消化薬（わかもと製薬株式会社製)，新ビオヂアス(天野商事株式会社製))でも実験した。さらに，脂肪分解酵素が含まれていない新タカヂア錠（第一三共ヘルスケア株式会社製）でも実験した。

第２章でも述べたように，脂肪の消化に関してはパンクレアチンによる脂肪を多く含む食品の消化の実験教材があった[45]。これはパンクレアチンによる鶏皮の変性の観察やバターを塗ったペトリ皿が透明になることの観察と，オリーブ油や鶏卵と反応させると生じる遊離脂肪酸によって pH が低下することを pH メーターで測定するものである。しかしこれらの実験は脂肪が何らかの変化をしたことや生成物がどのような性質をもっているものなのかを確認することはできるが，何が生成したのかを確認するものではない。つまり，本研究の参考となるような分解生成物を検出するような実験教材は紹介されていない。また，ナトリウム-銅(Ⅱ)-グリセリン錯体の生成と他の物質との関係についても調べる必要がある。そこで基質となるオリーブ油，消化による分解生成物であるオレイン酸や人工消化液自体がナトリウム-銅(Ⅱ)-グリセリン錯体にどのように

影響するのかを調べた。オレイン酸と水との混合溶液に呈色反応をすると最終的には黄色になるが青色にはならかった。黄色の強度はオレイン酸の濃度増加に伴って強くなっており，オレイン酸の存在を示していると推察できる。吸収スペクトル（図 3.7, p.69）は， 635 nm 付近に吸収ピークを示さないことからオレイン酸はナトリウム-銅(Ⅱ)-グリセリンの青色の錯体形成に影響せず，オレイン酸の存在はグリセリンの有無の確認に影響しないことが確認できた。一方，オリーブ油の存在は青色の錯体形成を引き起こすことがわかった。5%(V/V)以上オリーブ油が混入していると，水層と黄色の油層と境目がはっきりと目視で確認できる。表 3.6（p.70）は各混合溶液の 635 nm での吸光度と青色の呈色やオリーブ油の混入状況が目視で確認できたかどうかを示したものである。10%(V/V)以上オリーブ油が混入した場合，呈色反応後の溶液は 635 nm 付近に吸収ピークが確認された（図 3.8, p.71)。遠心分離後の上澄みにも油滴が確認でき，15%(V/V)以上オリーブ油が混入していると目視でも青色の溶液を確認できる（表 3.6, p.70)。すなわちオリーブ油によってナトリウム-銅(Ⅱ)-グリセリン錯体が形成したと判断できる。これは，混入したオリーブ油の一部が 21%(W/V)水酸化ナトリウム水溶液を加えた際にケン化されて検出可能な分量のグリセリンが生成されたことが原因だと推察できる。この結果から，グリセリン検出の際には，オリーブ油が混入しないように注意しなければならない。少なくとも目視で混入が確認できるような状況では呈色の原因が消化によるものかどうかが判断できない。そのためには基質であるオリーブ油と人工消化液との界面をはっきりとさせ，目視で混入していないことを確認する必要がある。消化液に比べて基質となるオリーブ油が少ないと，オリーブ油を混入させずに呈色試料を採取することが困難であった。そのためオリーブ油は消化液と同量程度用いた方が良いと判断した。

ビオフェルミン健胃消化薬錠から調製した人工消化液のみでは，グリセリンの検出反応を行っても青色を示すことはなく，吸収スペクトルは全て長波長側で減少する曲線を描き，635 nm 付近に吸収のピークは見られなかった（図 3.9, p.73)。24 時間インキュベートしたサンプルと 0 時間のサンプルとの間の 635 nm における吸収の差は青色の検出に影響を及ぼすことがない程度の小さな値であり（表 3.7, p.72)，ビオフェルミン健胃消化薬錠から調製した人工消化液はグリセリンの有無の確認に影響しないことが確認できた。

図 3.10 (p.74)，表 3.8 (p.75) から 1.0 mL のオリーブ油を基質とした場合，ビオフェルミン健胃消化薬錠から調製した人工消化液のリパーゼ AP6 濃度は 0.50%(W/V)から 1.0%(W/V)程度が適切だと判断できる。0.10%(W/V)，0.50%(W/V)，1.0%(W/V)，2.5%(W/V)，5.0%(W/V)リパーゼ AP6 人工消化液と反応させた結果，

0 時間の段階では，どのサンプルも呈色反応後に青色は示さず 635 nm 付近に吸収ピークを示さなかったことからグリセリンは検出されていない。24 時間インキュベートしたものは青色を示し，635 nm 付近にグリセリンの存在を示す吸収ピークがあった。各濃度の人工消化液の pH はリパーゼ AP6 の至適 pH[注 2]の範囲内（5.0～7.0）であった。すなわち 1.0 mL のオリーブ油と同量の人工消化液を反応させるだけで実験教材となる。しかし，12 本のサンプルのうち，2.5%(W/V)の 3 つ，5.0%(W/V)の 4 つのサンプルでは青色を示さなかった。失敗した時は，エタノールを添加した時に生成した沈殿が，塩化銅(Ⅱ)エタノール溶液を加えた際にそれを吸着するかのような振る舞いを観察しており，錯体形成を阻害したと考えられる。人工消化液中の酵素濃度を高くすると酵素以外の成分が呈色反応を失敗させる原因となるだけでなく，酵素濃度を高くしても反応時間の短縮もあまり期待できないことが予想された。1.0%(W/V)の方がより濃く青色を呈するが，低濃度の人工消化液を調製するほうが簡単であり安価になるため，リパーゼ AP6 の最適な濃度は 0.50%(W/V)であると判断した。

中学校での授業実践を考えるためには，失活した消化液では青色を示さないことと脂肪の消化の進行度を示す呈色の反応時間依存性を確認しなければならない。図 3.13（p.79）が示す通り，635 nm 付近に吸収ピークはなく，青色にならないため失活させた 0.50%(W/V)リパーゼ AP6 消化液自身はグリセリンの検出に影響しないと判断できる。表 3.9（p.80）と図 3.14（p.80），3.15（p.81）が示すように，活性のある人工消化液を用いてオリーブ油と反応させると，6 時間経過後から目視で青色の錯体の形成が確認できた。12 時間経過後からは，遠心分離前の段階で青色になっていることが確認できた。しかし失活したものは最後まで青色にはならなかった。この結果からこの実験教材を取り扱う際には，1.0 mL のオリーブ油とビオフェルミン健胃消化薬錠から調製した 1.0 mL の 0.50%(W/V)リパーゼ AP6 人工消化液との反応混液を最低 6 時間インキュベートする必要がある。12 時間以上インキュベートさせることで遠心分離をしなくても青色の錯体の存在を確認できることから，2 日にわけて実験を取り入れた授業をすべきである。

市販の消化薬にはいろいろなものがあり，入手可能な消化薬は購入先の薬店で異なる。そこで，他のいくつかの消化薬からも，ビオフェルミン健胃消化薬錠を用いた時と同様の条件-0.50%(W/V)リパーゼ AP6 か 1.2%(W/V)ニューラーゼ溶液-の消化液を調製した。消化薬によっては 635 nm 以外に吸収ピークを示すものや青色以外の色を呈するサンプルもあったが，活性の有無に関わらずどの消化薬から調製した消化液でもそれのみでは青色を呈色することなく 635 nm 付近に吸収ピークを示さなかった（図 3.16，pp.82-83）。つまり他の消化薬か

ら調製した人工消化液自身はグリセリンの検出に影響しないと判断できる。

活性の有無にかかわらず他の消化薬から調製した人工消化液とオリーブ油を反応させても，ビオフェルミン健胃消化薬錠を用いた時と同様，0 時間の段階では全て青色を呈さず 635 nm 付近に吸収ピークを示さないことから，グリセリンは存在していなかった。24 時間反応後の吸収差スペクトルの結果（図 3.17, p.86）から，新ビオヂアスとワカモト消化薬から調製した活性のあるサンプルだけ 635 nm 付近に吸収ピークが見られ，青色を呈した。この結果はグリセリンが存在していることを示している。特に新ビオヂアスのサンプルは遠心分離をする前から，はっきりと青色になったことを示した。この原因は酵素の規格の違いが影響していると考えられる。ワカモト消化薬に脂肪分解酵素はニューラーゼ 1 種しか含まれていない。ビオフェルミン健胃消化薬錠と新ビオヂアスは 2 種類（ニューラーゼとリパーゼ AP6 か AP12）が含まれている。ニューラーゼの脂肪分解酵素としての規格（3,000-4,000 U/g（pH 7.0））はリパーゼ AP6（6,000-7,500 U/g（pH 6.5））や AP12（12,000-15,000 U/g（pH 6.5））より低い[注 2]。この規格の違いや各種成分の含有量の差が，新ビオヂアスとワカモト消化薬のサンプルとの間に青色の濃さの差を生じさせている原因だと推察できる。つまり，この実験条件ではワカモト消化薬より新ビオヂアスの方が，消化液の材料としてよりふさわしい。しかし，リパーゼ AP6 が含まれているにもかかわらず，バランサー胃腸薬とハイウルソ顆粒から調製した人工消化液を用いたサンプルからはグリセリンが検出されなかった。バランサー胃腸薬から調製した人工消化液の pH はリパーゼ AP6 の至適 pH を逸脱している 9.33 であったため，このズレが消化と青色の呈色を阻害したと推察される。ハイウルソ顆粒は，今回選択した消化薬の中では 1 回の服用量あたりのリパーゼ AP6 の含有量が一番少なかった。そのため，0.50%(W/V)リパーゼ AP6 消化液を調製するために，たくさんのハイウルソ顆粒を溶かす必要があった。ハイウルソ顆粒から調製した消化液には，他の成分もたくさん含まれていることになる。その結果，エタノールを添加した際，他の消化薬の時よりも沈殿がたくさん生じた。この生じた沈殿が青色の錯体の形成を阻害したと推察される。この結果はビオフェルミン健胃消化薬錠から調製した高濃度の消化液の時の結果と類似している。一方，失活させた全てのサンプルと活性はあるが脂肪分解酵素が含まれていない新タカヂア錠から調製したサンプルは，635 nm 付近に吸収ピークは見られず，グリセリンは存在していないことも確認できた。この結果を利用すれば酵素の能力と酵素の基質特異性に関する理解を育むことが可能であると考えられる。この結果から，高規格の脂肪分解酵素を多く含み，他の成分の含有量が少なく，脂肪分解酵素の至適 pH で実験できる数種類の消化薬でこの実験は可能であると

いえる。この条件下では，ビオフェルミン健胃消化薬錠から調製した 0.50%(W/V)リパーゼ AP6 溶液か，新ビオヂアスから調製した 0.50%(W/V)リパーゼ AP12 溶液を用いるのが最適な選択である。

普通の中学校には遠心分離機やボルテックスミキサーはない。この実験教材を実際に学校現場で利用するためには，ろ紙やディスポーザブルシリンジフィルターユニットや手動で試験管を振ることで代替できるかどうかを確かめる必要がある。表 3.11（p.87），図 3.18（p.88），3.19（pp.89-90）が示すように，活性があるサンプルでは，手動で撹拌すると 635 nm 付近に吸収ピークこそ示すものの青色の呈色を得ることはできない。しかし撹拌をボルテックスミキサーで行えば，遠心分離機を用いなくてもろ紙やディスポーザブルシリンジフィルターユニットで十分代用できる。一方，失活させたサンプルは全て青色を呈さず，635 nm 付近に吸収のピークを示さなかった。これらの結果から，この実験教材にはボルテックスミキサーは必要不可欠であるが，遠心分離機は必須ではなく学校の理科室に常備されているろ紙やディスポーザブルシリンジフィルターユニットで代用可能である。

以上の結果から，市販の消化薬を酵素源とした人工消化液とオリーブ油を基質とした消化実験を 40 ℃で行うと脂肪が酵素の働きによって消化されてグリセリンが生じることを確認できるといえる。この実験教材の方法をまとめると以下の①～⑦のようになる。ただし，1 単位時間の授業ではその実践は難しく，タンパク質の消化実験と同様に 2 日に分けて行う必要がある。

① 人工消化液はビオフェルミン健胃消化薬錠から調製した 0.50%(W/V)リパーゼ AP6 溶液か，新ビオヂアスから調製した 0.50%(W/V)リパーゼ AP12 溶液を用いる。
② 試験管に 1.0 mL のオリーブ油と 1.0 mL の人工消化液を加え，ボルテックスミキサーを用いてよく撹拌する。これを 40 ℃で最低 6 時間以上（可能であれば 12 時間以上）反応させる。
③ 反応終了前にボルテックスミキサーを用いて再度よく撹拌し，二層に分離していることを確認した後，上層のオリーブ油を混入させないように下層である人工消化液 0.50 mL を別な試験管に取り分ける。
④ 試験管に取り分けられた 0.50 mL の試料溶液に，0.50 mL の 21%(W/V)水酸化ナトリウム水溶液を注ぎよく撹拌する。そこに 3.0 mL のエタノールと 0.30 mL の 10%(W/V)塩化銅(Ⅱ)エタノール溶液を加える。すぐに約 2 分間ボルテックスミキサーを用いてよく撹拌する。
⑤ その後，エタノールを溶液全体が 5.0 mL になるまで加え，遠心分離もし

くはろ過などで沈殿を除去する。

⑥ 上澄みの色がグリセリンの存在を示す青色になっていることを確認する。

⑦ 加熱により失活させた人工消化液や脂肪分解酵素を含まない消化薬から調製した人工消化液で同様の実験を行った場合には青色を示さないことから，オリーブ油が消化されないことも確認できる。

分解生成物であるグリセリンの存在は，ナトリウム-銅(Ⅱ)-グリセリン錯体による青色の呈色を目視や 635 nm における吸光度測定で確認できる。この方法はとても簡単で，中学校でも行うことができる。グリセリン検出に必要な人工消化液の採取の際には，基質であるオリーブ油と人工消化液との界面を分かりやすくさせる必要があり，オリーブ油の混入を避けなければならない。そのため，消化の前後でオリーブ油の量が見た目には変化しない程度の量を用いることから，オリーブ油が消化されているように見た目には見えない。撹拌にボルテックスミキサーが必要不可欠なため，消化によって生成した脂肪酸の存在を示す泡立ちを目視で見極めるのも難しい。このように反応前後での見た目の変化の差が乏しいため，基質の見た目の変化から反応の進行度を見極めることができないことがこの実験教材の難点である。

オリーブ油と反応させた人工消化液であるリパーゼ水溶液にナトリウム-銅(Ⅱ)-グリセリン錯体法[46-48]を用いると，ナトリウム-銅(Ⅱ)-グリセリンの錯体の青色を示す。このことから，この実験教材を用いることで中学生は水に溶けにくい脂肪が酵素によって消化され，その結果水溶性のグリセリンが生じ，人工消化液であるリパーゼ水溶液に溶け込むことを定性的に理解できる。消化薬に含まれる *Aspergillus niger* からつくられたリパーゼはトリアシルグリセロールの 2 位のエステル結合を切断することができない[49-50]。またヒトの体内での脂肪の消化とは異なり，この人工消化液による消化実験でおこる加水分解反応は最終的にはグリセリンが生じるため，授業では補足説明が必要になる。それでも反応前後の溶液の色を比較することで，中学生はリパーゼによる加水分解で水に可溶なグリセリンが生成することが確認できる。この色の変化によって，消化が水に溶けにくい脂肪が水に溶けやすい小さな分子の物質へ変化する化学変化であることが提示できる。この実験教材は，脂肪が消化されるとグリセリン（モノグリセリド）が生じることを学んだ後に，確認実験や発展的内容の１つとして用いると効果があるように思われる。

【注解】

注1 実験に用いた純水は，蒸留水でも，イオン交換水でもミリ Q 水のようなもっと高

純度の水でも良い。

注2 ビオヂアスターゼ 2000（*Aspergillus oryzae*）はアミラーゼ，プロテアーゼ，セルラーゼとして機能する複合消化酵素であり，プロテアーゼとしての至適 pH は 6.0，安定 pH は 4.0-8.0 である。タンパク質消化酵素であるプロザイム 6（*Aspergillus melleus*）の至適 pH は 8.0，安定 pH は 5.0-8.0 である。ニューラーゼ（*Rhizopus niveus*）はプロテアーゼとリパーゼとして機能する複合消化酵素であり,プロテアーゼとしての至適 pH は 2.5-4.0,安定 pH は 3.0-6.0 である。タンパク質と脂肪の消化酵素に関する一連の情報は天野エンザイム製品情報: http://www.amano-enzyme.co.jp/jp/product/product01.html で確認した（URL は 2007 年 12 月時点のものであり，現在は該当するページまたはファイルが移動または削除されて見つからないため閲覧不能)。

酵素の規格の単位 U/g は,至適条件下で毎分 1 μmol の基質を変化させる(U = μmol min^{-1}）ことができる単位酵素量（g）を示している。

注3 目視による呈色の変化の確認では顕著な差が確認できなかったこともあり，12 時間経過後のニンヒドリン反応の吸光度が他の結果に比べてやや高いのは誤差の範囲内だと判断し，追試験をするなどさらなる追求はしなかった。

【文献】

1) 金子武夫，桂博二「第 2 章　アミノ酸の一般化学」，赤堀四郎ほか編著: 『タンパク質化学 1　アミノ酸・ペプチド』，pp.25-28，1969，東京: 共立出版.

2) 金田信ほか: 「タンパク質の加水分解の進行にともなうビウレット反応とニンヒドリン反応の呈色の変化」，化学と教育，**45**(5)，pp.276-277，1997，日本化学会.

3) Chromy, V.; Fischer, J. ; Kulhanek, V. :“Re-evaluation of EDTA-Chelated Biuret Reagent”, *Clin. Chem.*, **20**(10), pp.1362-1363, 1974.

4) Pelley, J. W. ; Garner, C. W. ; Little, G. H.: “A Simple Rapid Biuret Method for the Estimation of Protein in Samples Containing Thiols”, *Anal. Biochem.*, **86**, pp.341-343, 1978.

5) Clark, J. M. Jr.:“Experimental Biochemistry”, p.217, 1964, San Francisco: W.H. Freeman and Company.

6) 太田隆文: 「アミノ酸・タンパク質の定性分析」，化学と教育，**47**(10)，pp.688-690，1999，日本化学会.

7) 武田一美: 『おもしろい化学の実験』，pp.29-32，1992，東京: 東洋館出版社.

8) 「新　観察・実験大事典」編集委員会 :『新　観察・実験大事典　［生物編］② 動物』，pp.54-55，2002，東京: 東京書籍.

9) 前掲論文 3)に同じ.

10) 前掲論文 4)に同じ.
11) 前掲書 8), pp.54-55.
12) 前掲書 5), p.217.
13) 厚生労働省: 「27. 消化力試験法」, 『第十四改正 日本薬局方』, pp.39-40, http://jpdb.nihs.go.jp/jp14/pdf/0037-1.pdf, (2014 年 11 月現在).
14) Spagnolo, F.: “Spectrophotometric Determination of Glycerol as Sodium-Cupri-Glycerol Complex”, *Anal. Chem.*, **25**(10), pp.1566-1568, 1953.
15) Sarda, L.; Desnuelle, P.: “Action de la Lipase Pancréatique sur les Esters en Émulsion”, *Biochem. Biophys. Acta*, **30**, pp.513-521, 1958.
16) 遠藤純夫ほか: 『教師用指導書 新版中学校理科 2 分野上』, pp.335-336, 2006, 東京: 大日本図書.
17) 金井正光: 『臨床検査法提要改訂 32 版』, pp.167-172, 2005, 東京: 金原出版.
18) 前掲書 8), pp.54-55.
19) 河淵計明, 上向井利之: 「食品の加水分解生成物の検出に対する薄層クロマトグラフィーの教材的応用」, 化学教育, **33**(4), pp.334-337, 1985, 日本化学会.
20) 前掲論文 2)に同じ.
21) 伊藤敏幸ほか: 「ミミズの酵素液によるタンパク質の加水分解実験」, 化学と教育, **42**(12), pp.841-843, 1994, 日本化学会.
22) 山根平太郎: 「酵素入り洗剤の中の酵素のはたらきを調べる」, 化学と教育, **46**(6), p.380, 1998, 日本化学会.
23) 河淵計明, 池田明美: 「タンパク質 (卵白) およびデンプンの酵素による加水分解と分解生成物の透析膜による分離」,化学と教育, **35**(5), pp.445-447, 1987, 日本化学会.
24) 前掲書 7), pp.29-32.
25) 西村善久仁: 「タンパク質消化酵素-失敗から学ぶ実験 -ちょっと前の教材の検討 (2) -」, 遺伝, **48**(1), pp.84-87, 1994, 遺伝学普及会.
26) 大鹿聖公, 池田秀雄:「タンパク質の消化に関する実験の開発」, 生物教育, **34**(3), pp.221-226, 1994, 日本生物教育学会.
27) 前掲論文 3)に同じ.
28) 前掲論文 4)に同じ.
29) 前掲書 5), p.217.
30) 前掲書 8), pp.54-55.
31) 前掲書 17), pp.167-172.
32) 前掲書 16), pp.335-336.
33) 前掲書 17), pp.167-172.

34) 前掲書 8), pp.54-55.
35) Okumura, S.; Iwai, M.; Tsujisaka, Y.: “Positional Specificities of Four Kinds of Microbial Lipases”, *Agric. Biol. Chem.*, **40**(4), pp.655-660, 1976.
36) 岩井美枝子: 『リパーゼ-その基礎と応用』, pp.19-28, 1991, 東京: 幸書房.
37) 前掲論文 35)に同じ.
38) 岩井美枝子ほか: 「微生物リパーゼの油脂分析への利用」, 油化学, **29**(8), pp.587-591, 1980, 日本油脂化学協会.
39) Okumura, S.; Iwai, M.; Tsujisaka, Y.: “The Effect of Reverse Action on Triglyceride Hydrolysis by Lipase”, *Agric. Biol. Chem.*, **45**(1), pp.185-189, 1981.
40) 前掲論文 39)に同じ.
41) Bertram, S. H.; Rutgers, R.: “The Estimation of Glycerol and Some Other Hydroxylated Compounds”, *Rec. Trav. Chim.*, **57**, pp.681-687, 1938.
42) Whyte, L. K.: “The Spectrophotometric Determination of Glycerol”, *Oil & Soap*, **23**, pp.323-326, 1946.
43) 前掲論文 14)に同じ.
44) 前掲書 13), pp.39-40.
45) 田幡憲一, マリルー M. ウビーニャ: 「探究の過程としての脂肪の消化 -ちょっと前の教材の検討 (3) -」, 遺伝, **48**(2), pp.63-67, 1994, 遺伝学普及会.
46) 前掲論文 41)に同じ.
47) 前掲論文 42)に同じ.
48) 前掲論文 14)に同じ.
49) 前掲論文 35)に同じ.
50) 前掲論文 38)に同じ.

4. 開発した実験教材の中学生への適用と評価

第 3 章で述べたように，市販の消化薬を酵素源にした人工消化液を用いてタンパク質がアミノ酸に分解されることや脂肪が分解されグリセリンが生じることを，呈色反応で定性的に確認する実験教材は開発できた。しかし実験教材として評価するには，教科書教材としてよく用いられているだ液によるデンプンの消化と糖の生成を確認する実験教材と同程度の難易度の実験であるかどうかを確認しなければならない。だ液によるデンプンの消化実験は，中学校理科の 1 回の授業時間程度（1 単位時間 50 分）で準備から後始末までを含めた一連の実験とそれに前後して付随する発問，実験結果の共有や考察といった学習活動を行うことが可能だが,開発したタンパク質と脂肪の消化に関する実験教材は,分解反応に時間がかかるため 1 回の授業時間内で全て終えることは困難である。さらに，中学校は大学と異なり，施設設備面や授業時数の確保といった面で制約がある。また，一般に学校での理科の授業は，理科に対する好感度や興味，関心，意欲，実験観察技能や知識理解面の学力に差がある子ども達が存在している中で行われる。

最近の中学校の学習指導要領[1-3]では，理科の指導計画作成に際し，各分野間及び各項目間の関連を十分考慮して，各分野の特徴的な見方や考え方が互いに補い合って育成されるようにすることへの配慮を求めている。さらに学習指導要領の解説では，生徒の主体的な学習となるような配慮や生徒の観察，実験及びこれらを基にした主体的で探究的な活動が十分行えるようにすることを求めている[4-5]。緒言でも述べたが，中学校第 2 学年で学ぶヒトのからだでおこる消化は，同一学年での学習内容で第 1 分野と第 2 分野の関連を考慮しながら授業実践できる題材の 1 つである。消化は化学変化の一例であり,「食べ物が消化されることでより小さな別の物質へ変化する」ことを化学変化の導入段階へ用いることは，上記の配慮事項に合致する授業実践となり得るだけでなく化学変化と生徒の日常とを意識させることにつなげる授業づくりへの可能性も広がる。

そこで，まず開発した実験教材そのものが中学生でも実験可能なものかどうかを見極め，生徒の興味・関心を誘い，生徒が意欲的に取り組める実験教材であるかどうかを確認した。具体的には，通常の学校教育での理科の授業とは異なり，時間配分や実験環境を自由に設定できる，参加者募集型企画「サイエンスサマーキャンプ」で理科に興味や関心の高い生徒を対象に試行した。

次に，より一般的な学校教育活動下を想定し，授業実践に適用しやすいように実験方法等を改善していきながら実際の中学校の理科の授業で 2 回実践した。

ヒトの消化について学習する単元の中では，

① だ液以外の消化液を用いた実験を行いながらデンプンとは異なる食物の分解生成物を確かめる。
② ①の結果をデンプンの実験結果と比較する。
③ ヒトの体内ではだ液を含めてさまざまな消化液が段階を追って特定の食物成分に働き，最終的にどのような物質に変化するのかを理解する。

というような段階を踏んで消化についての深い理解へ導くことを意識し，通常の中学校の理科の授業に導入することで教材としての価値を検証した。

また，開発した実験教材を用いた授業実践は，消化に関する学習だけに留まらず化学変化そのものへ興味や関心を誘ったり理解を促したりことも考えられる。先行実践の結果を踏まえて必要な改善を施した上で「動物の体のつくりと働き」の単元の復習を兼ねて，体内での消化という「生徒の体内で起こっている日常」が化学変化であることを生徒に認識させるために「化学変化と原子，分子」の導入としても実践した。

以下では，実施した 3 つの実践の概要と調査・研究方法について述べた後，4.2 で各実践における調査の結果について述べる。

4.1 実践の概要と調査・研究方法

4.1.1 理科に興味や関心の高い生徒を対象としたサイエンスサマーキャンプでの試行実践

まず,試行実践として通常の学校教育の中で行われる理科の授業とは異なり，時間配分や実験環境を自由に設定できる参加者募集型企画「サイエンスサマーキャンプ」で理科に興味や関心の高い生徒を対象に実践して確認した。

サイエンスサマーキャンプとは，独立行政法人科学技術振興機構が平成 18 年度に行った児童生徒の科学技術，理科・数学（算数）に対する興味・関心等を育成することを目的とする合宿形式の学習活動に対する支援[注1]の１つである。今回沖縄県で実施したサイエンスサマーキャンプの内容は，他の機会では行えないことを主な企画にすべきだと考え，中学校の理科の学習内容と密接に関連しており，かつキャンプに参加することでしか学べないものとして「タンパク質と脂肪の消化」,「沖縄島北部の自然観察（地層・マングローブ林観察)」,「夜間野外観察」及び「天体観測」の４つを選定した。消化の実験は琉球大学教育学部で，それ以外の活動は沖縄島北部国頭郡国頭村字与那にある琉球大学農学部附属亜熱帯フィールド科学教育センター与那フィールド周辺で行った。

表 4.1　サイエンスサマーキャンプ概要

1日目　2006年9月16日（土）		2日目　2006年9月17日（日）	
時間	内容	時間	内容
9:30–10:00	受付	7:00–8:30	起床・朝食・出発準備
10:00–10:30	開講式・ガイダンス・自己紹介	8:30–13:00	慶佐次湾のマングローブ林へ移動
10:30–13:00	タンパク質と脂肪の消化実験（前半：試薬調製～消化反応）		マングローブ林において主要な樹種の形態と分布・樹上棲貝類の生息状況の観察，オキナワアナジャコの巣塚・その他のカニ類の巣穴数の調査，シオマネキ類の行動の観察
13:00–14:00	昼食		琉球大学へ移動
14:30–17:00	沖縄島北部へ移動 途中，比地川の谷底に露出する古第三紀嘉陽層の砂岩・頁岩互層を，単層の境界に注目して観察する予定だったが，台風接近に伴う悪天候のため，比地川では川谷の入口を車窓から観察し，代替として環境省ヤンバル野生生物保護センターを見学。	13:00–14:00	昼食・休憩
		14:30–16:30	タンパク質と脂肪の消化の実験（後半：反応結果確認）
17:30–19:00	亜熱帯フィールド科学教育研究センター与那フィールド到着，夕食	16:30–17:30	閉講式・記念写真撮影
19:00–22:00	台風接近のため，予定していた夜間野外観察ならびに天体観測を中止。以下の講義・体験教室を講義室その他で行った。 ①ヤンバルの自然についてのスライド上映，講義 ②天体望遠鏡の赤道儀式架台の分解組み立て（体験学習），天球儀を用いた天体のみかけの運動のイメージ化 ③動物の分類学とからだのつくり，宿舎周辺の森林に生息する動物の観察，講義 （当日の悪天候の中，直前に捕獲した動物や各種剥製・骨格標本を使用）		
22:00–23:00	入浴・就寝		

実施時期は 2006 年 9 月 16 日（土）～17 日（日）の 1 泊 2 日で，沖縄本島中南部にある全中学校に開催要項を送付して参加者を募集した。その結果，沖縄本島中南部に居住する中学生 20 名（男子 16 名（中 1，4 名；中 2，10 名；中 3，2 名），女子 4 名（中 2，3 名：中 3，1 名））が参加した。2 日間の具体的スケジュールを表 4.1 に示す。合宿形式の場合，正規の教育課程の理科の授業と異なり，時間的な余裕があるため生理学や生化学の実験を伴う発展的な内容を検証することも可能である。今回前述の支援を受けて，理科に興味や関心がある生徒が時間的な制約を気にすることなく，学校で学ぶ内容と関連した実験や観察を体験する「中学生サイエンスサマーキャンプ」を実施する機会を得たことから，その内容の 1 つとして中学生の観察実験技能を考慮して開発したタンパク質・脂肪の消化によるアミノ酸とグリセリンの検出実験を実践した。付録 2（pp.213-216）はそのテキストである。この 2 日間という時間の長さを生かすことによって，実験結果を得るまでに丸一日必要なタンパク質と脂肪の消化実験が中学生程度の実験観察技能で実施可能かどうかを確認した。人工消化液の調製では，この実践の際に想定される必要量を確保できた消化薬を酵素源として用いた。タンパク質の消化では新ビオヂアス（天野商事株式会社製）を，脂肪の消化ではビオフェルミン健胃消化薬錠（ビオフェルミン製薬株式会社製）をそれぞれ用いて人工消化液を調製した。反応させるタンパク質（ゼラチン）は，ゼライス（マルハ株式会社製）2.0 g を 80 ℃の水道水 50 mL に溶かし，試験管に直接 2.0 mL 注いで冷却凝固したものを事前に準備した。反応させる脂肪は，市販のオリーブ油（味の素　オリーブオイルエクストラヴァージン（J-オイルミルズ社製））を用いた。

キャンプの全日程終了後に，参加した中学生全員に対して無記名のアンケートを実施した。アンケート（付録 3，pp.217-218）は，全員から回答を得てすべて有効回答として分析に用いた。アンケートの主な質問項目は 5 件法で問い，「良い・少し良い・普通・少し悪い・悪い」の順に 5 点から 1 点まで配点し，回答者の評価を点数化して集計した。本実験教材に関しては，「面白さ」と「わかりやすさ」を調査した。

4.1.2 ヒトの消化を学習する中学校第 2 学年の理科授業での実践

4.1.2.1 調査時期と授業の概要

開発した実験教材を用いた授業実践は，2006 年 9 月中旬から 10 月上旬にかけて R 大学 K 学部 F 中学校の 2 年生 4 クラスの内，常勤教諭が担当する 2 クラスを対象に行った。

この実験を導入したのは，第 2 分野「動物の生活と種類」の「動物の体のつくりと働き」の「消化と吸収」に関する小単元[注 2]である。実践したクラスの「消化と吸収」の小単元に関する学習は 5 時間で展開された（表 4.2)。F 中学校側の事情から実践期間が教育実習期間と重複したため，開発した実験教材と直接関係しない第 1，2 時の授業者は 2 人の実習生が 1 クラスずつ担当した。また，いずれのクラスでもそのうち 1 時間は教育実習の総括となる研究授業であった。第 3 時以降の授業は F 中学校の常勤教諭が全て行った。授業者には今回導入した実験教材について事前に一度だけ体験してもらった。第 3 時以降の授業の構成については全て授業者に一任した。消化酵素の働きでタンパク質や脂肪が別の物質になることを，授業者は実験を通して確かめる形で授業を構成した。実験を導入した授業は，器具と時間の都合上 1 学級を 10 班に分け，そのうち 5 班はタンパク質の実験を，他の 5 班は脂肪の実験をそれぞれ行い，全 10 班で結果を交流しながら考察し，第 3 時から第 5 時までの学習を展開していった。

表 4.2 授業の流れ

	概要
第1時	消化管の観察(魚の解剖実験)
第2時	デンプンの消化実験
第3時	タンパク質・脂肪の消化実験1/2
第4時	タンパク質・脂肪の消化実験2/2
第5時	消化と吸収のまとめ

4.1.2.2 調査の方法

授業実践そのものは理科室に設置した 1 台のビデオカメラで記録した。生徒が記入したワークシート，一連の実践後に行った実験と授業についての評価（4 件法）ならびに感想を自由記述させた質問紙調査も分析の対象とした。サイエンスサマーキャンプの実践と異なり 4 件法を用いた理由は，「普通」（あるいは「どちらでもない」）という回答を認めず，強制的に肯定・否定の判断をさせることを意図したためである。実施前後の各段階で生徒にコンセプトマップを作成させた。コンセプトマップの作成は Novak，J. D. らの方法[6)]を参考にしたが，生徒達にとっては初めての経験であった。本来なら準備期間が必要であるが，その方法の理解等に時間を十分にかけることができなかった。そのため，生徒に概念の階層化やリンクワードの記載までを強く求めることをせず，得点化の処理を行うこともしなかった。その代わり，概念同士のつながりの強弱や概念

の上下関係を推し量るために，概念ラベル同士をつなぐ線の本数で結びつきの強弱を表現させた。内容の分析は福岡の方法[7]を参考にして，一連の学習の前後での生徒の知識の変容を捉えるために次の 3 点について行った。

① ラベルの内容・数
② 消化とリンクしているラベルの内容やつながり方
③ リンクワードの内容

生徒が記入したワークシート記録状況の評価やコンセプトマップの記述内容の分類は研究補助員 2 名と共同で行い，客観性を担保するようにした。

一方，今回実践の対象としていない 2 クラスは非常勤講師が担当しているクラスである。そこで，実践の有無がこの単元（とりわけ知識理解に関して）の学習にどう影響するかを検証するために，実施前後の当該単元の既習事項と学習事項の確認テスト(小学校 6 年生と中学校 2 年生での学習内容,各 50 点満点)を行い，実験を取り入れた授業を経験していない生徒（非常勤講師が担当しているクラスの生徒）を統制群として比較した。テストの問題は教科書や市販の問題集等を参考に自作した（付録 4，5，pp.219-220)。また非常勤講師が担当しているクラスでの当該単元の授業実践も同様に参観・記録した。

4.1.2.3 実践で用いた実験教材について

実験では特に明示していない限り，溶液をはかりとる作業で駒込ピペットとメスシリンダーを用いた。対照実験として純水でも同様の操作を行った。酵素の有無以外にも反応の前後での呈色の比較を行うため，反応開始段階の試料の呈色反応は授業者が行い,生徒にその結果を提示した。人工消化液の調製では，この実践の際に想定される必要量を確保できた消化薬を酵素源として用いた。タンパク質の消化ではハイウルソ顆粒（佐藤製薬株式会社製）を，脂肪の消化ではビオフェルミン健胃消化薬錠（ビオフェルミン製薬株式会社製）をそれぞれ用いて人工消化液を調製した。生徒が授業で行った実験は以下の通りである。

タンパク質の消化に関する生徒実験

まず，ハイウルソ顆粒（佐藤製薬株式会社製）1 包を純水 約 90 mL に溶解し 15 分間ガラス棒で撹拌・抽出した後，不溶成分を東洋ろ紙 No. 2 でろ過し全量を 100 mL としたものを人工消化液とした。反応させるタンパク質（ゼラチン）は 80 ℃の水道水 50 mL にゼライス（マルハ株式会社製）2.0 g を溶かし，試験

管に直接 2.0 mL 注いだ後，冷却凝固したものを授業者があらかじめ準備した。調製した人工消化液をゼラチンの入っている試験管に 10 mL 注ぎ，40℃の恒温槽で 1 日反応させた。反応後の試料は,授業者が冷蔵庫で 1 時間以上冷却した。

次の授業では，生徒はまず冷却済みの試験管の中のゼラチンの様子を観察した。その後，上澄みを採取しタンパク質検出のためのビウレット反応，アミノ酸検出のためのニンヒドリン反応を行った。ビウレット反応は試料溶液 1.0 mL に Chromy 試薬[8-9]4.0 mL を加えて行った。ニンヒドリン反応は鋭敏でタンパク質の遊離アミノ酸にも反応するため[10],試料溶液を 10 倍に希釈したもの 2.0 mL にニンヒドリン溶液[11]2.0 mL を加えた後，沸騰湯浴中で 10 分間加熱した。授業者の判断で,ビウレット反応とニンヒドリン反応をそれぞれタンパク質反応，アミノ酸反応と名付けた。

脂肪の消化に関する生徒実験

まず，ビオフェルミン健胃消化薬錠（ビオフェルミン製薬株式会社製）3 錠を乳鉢で粉砕した。その粉末に水 9.0 mL を加えてマグネティックスターラーで 15 分間撹拌・抽出した後，不溶成分を東洋ろ紙 No. 2 でろ過したものを人工消化液とした。

反応させる脂肪は，市販のオリーブ油（味の素　オリーブオイルエクストラヴァージン（J-オイルミルズ社製））を用いた。オリーブ油 1.0 mL を試験管に注ぎ，同量の人工消化液を注いだ後，ボルテックスミキサーで 1～2 分間撹拌したものを 40℃の恒温槽で 1 日反応させた。反応終了 1 時間前に授業者が再度ボルテックスミキサーを用いて試験管内の溶液をよく撹拌した。

次の授業では，消化によって生成したグリセリンをナトリウム–銅（Ⅱ）–グリセリン錯体[12-14]として検出する実験を行った。反応後の試験管では消化液の層とオリーブ油の層が分離している。生徒は未反応のオリーブ油（上層）を混入させないようにパスツールピペットを用いて下層（消化液）のみを採取し，15 mL 遠沈管の側面の目盛りを参考に，遠沈管へ 0.50 mL 注いだ。溶液のはかりとりやすさを考慮し，そこに 0.50 mL の 21%(W/V)水酸化ナトリウム水溶液を注ぎ，よく撹拌した後エタノールを 3.5 mL 加えて再度撹拌し，最後に 10%(W/V)塩化銅（Ⅱ）エタノール溶液を 0.50 mL 加え，蓋を閉めて約 2 分間撹拌した。撹拌は全てボルテックスミキサーを使用した。撹拌後の溶液をろ過し，得られたろ液を純水での結果や反応開始直後の試料のものと比較した。

4.1.3 ヒトの消化の学習後の化学変化の導入として実験教材を用いた実践

開発した実験教材を用いた授業実践は，前述のように消化に関する学習だけ

にとらわれることなく，化学変化そのものへ興味や関心を誘ったり理解を促したりする効果を生じることも考えられる。そこで，2 回にわたる先行実践の結果を踏まえて操作を簡便にするためのいくつかの改善を施し,「動物の体のつくりと働き」の単元の復習を兼ねて，体内での消化という「生徒の体内で起こっている日常」が化学変化であることを生徒に認識させるために「化学変化と原子，分子」の導入として開発した実験教材を用いた授業を最後に実践した。

4.1.3.1 調査時期と授業の概要

授業実践は，この実験教材を効果的に導入した授業がどのようなものであるのかといった授業構成や授業展開についてさらに検討することも意識し，教育実習の影響を避けるために教育実習期間外である 2007 年 10 月下旬から 11 月上旬にかけて R 大学 K 学部 F 中学校の 2 年生 4 クラスを対象に 3 単位時間で行った。また，5 月中旬から 6 月下旬にかけて行われた第 2 分野「動物の生活と種類」の「動物の体のつくりと働き」の「消化と吸収」に関する小単元[注 3]の一連の授業を観察した。授業は F 中学校の常勤教諭が全て行った。授業の構成は授業者に一任した。表 4.3 に一連の授業実践の流れを示す。

表 4.3 授業の流れ

時数	内容
	5月中旬～6月下旬の「消化と吸収」単元
第1時	草食動物と肉食動物の違い
第2時	消化について
第3時	デンプンの消化実験
第4時	消化実験のまとめ
第5時	小腸のつくりとはたらき
10月下旬～11月上旬の「化学変化と原子，分子」の導入段階	
第1時	
第2時	タンパク・脂肪の消化実験
第3時	
それ以降	↓ 原子と分子 ↓ 物質どうしの化学変化 ↓ 物質の分解

実験を導入した授業は，設定時間内に 2 種類の実験を完了できるようにするため,1 つの学級をタンパク質と脂肪の実験をする 2 つのグループに大別した。今回は授業者の意向で男子生徒がタンパク質の実験，女子生徒が脂肪の実験を行った。4 人 1 班を標準とし，それぞれ 5 班ずつが一方の実験を行い，全 10 班で結果を交流しながら考察し，学習内容をまとめていった。

4.1.3.2 調査の方法

調査方法は 4.1.2.2 と同様である。まず，理科室に設置した 1 台のビデオカメラで授業を記録した。さらに，生徒が記入したワークシート，タンパク質と脂肪の消化実験の実践後に行った実験と授業についての評価（4 件法）と感想を自由記述させた質問紙調査も分析の対象とした。ここでもサイエンスサマーキャンプで用いた 5 件法ではなく 4 件法を用いた理由は,「普通」(あるいは「どちらでもない」）という回答を認めず，強制的に肯定・否定の判断をさせることを意図するとともに，2005 年度の授業実践の結果との比較を容易にするためである。さらに，今回の実践が生徒の学習内容の理解にどう影響したかを調べるために実践前後でコンセプトマップを作成させた。1 回目は「消化と吸収」に関する小単元の学習前の段階（5 月中旬）に，2 回目はタンパク質と脂肪の消化実験の学習後（10 月下旬～11 月上旬）に行った。4.1.2 での実践と同様にコンセプトマップの作成に関しては，生徒達に対してその方法の理解等に十分な時間をかけることができなかった。そのため，生徒に概念の階層化やリンクワードの記載までを強く求めず，得点化の処理を行わなかった。その代わり，概念同士のつながりの強弱や概念の上下関係を推し量るために，概念ラベル同士をつなぐ線の本数で結びつきの強弱を表現させる工夫を施した。概念ラベルについては，本来ならリンクワードとしての機能をもつものが見られても，全て概念ラベルとして処理した。内容の分析も 4.1.2 での実践の分析と同様に，一連の学習の前後での生徒の知識の変容を捉えるために次の 3 点について行った。

① ラベルの内容・数
② 消化とリンクしているラベルの内容やつながり方
③ リンクワードの内容

生徒が記入したワークシート記録状況の評価やコンセプトマップの記述内容の分類は研究補助員 1 名と共同で行い，客観性を担保するようにした。

4.1.3.3 実験方法と簡便化に向けた改良点

実験方法は，4.1.2.3 に準じた。ただし，人工消化液はこの実践の際に想定される必要量を確保できたものを用いた。今回は，タンパク質の実験では新タカヂア錠（第一三共ヘルスケア株式会社製）を，脂肪の実験ではビオフェルミン健胃消化薬錠（ビオフェルミン製薬株式会社製）を用いて調製した。いずれの実験も消化と呈色反応を生徒実験とした。前回同様，授業者の判断でビウレット反応とニンヒドリン反応をそれぞれタンパク質反応，アミノ酸反応と名付け，グリセリンの呈色反応は，グリセリン反応と名付けて指導した。全ての反応の呈色確認・比較は目視で行った。

先に実施した 2 回の実践の結果から明らかになってきた課題である,「実験方法の簡便化」として以下の改善を取り入れた。

① 実験方法や操作方法をわかりやすく提示するため，生徒には各人に配布したワークシート以外に，イラストや図，写真などで示した実験方法を記したプリント（実験マニュアル）をグループ毎に 1 枚ずつ配布した。これは，実験中に水がかかって破れたりすることを防ぐため，ラミネート加工して配布した（図 4.1)。
② 消化液の調製を授業者が事前に行い，実験方法の指導や生徒実験の時間を確保した。
③ 実験器具にはあらかじめビニルテープ等でタグや印をつけ，どの段階で用いるものかを明示した（図 4.2)。
④ 溶液の計量については，本実験が定性実験であり定量実験ではないことから,駒込ピペットで一定量はかりとるのではなく,「○滴入れる」や「目盛り付き試験管の● mL の目盛りの線のところまで加える」というような指示に変えた。ニンヒドリン反応での試料溶液の希釈では，原液 6〜7 滴（約 0.2 mL 相当）を水で希釈し全量を 2.0 mL とするように指示した。グリセリンの呈色反応では，21%(W/V)水酸化ナトリウム水溶液とエタノールをあらかじめ混合した溶液を使用した。また，反応試料溶液：21%(W/V)水酸化ナトリウム-エタノール混液：10%(W/V)塩化銅（Ⅱ）エタノール溶液の混合比を 0.5：3.5：0.5 とし，全量を 4.5 mL とした。

図 4.1A

タンパク質・脂肪の分解

目的　タンパク質・脂肪がからだの中で、どのように分解されているか実験で確認しよう。
[タンパク質編]

実験方法

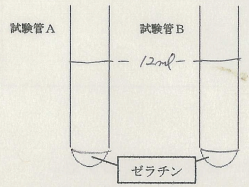
★(1 時間目)　A.タンパク質(ゼラチン)と人工消化液、対照実験として B.タンパク質(ゼラチン)と水を混ぜ合わせ、40℃の温水で温める。

1. タンパク質＋人工消化液　(試験管 A とする)

〔手順〕

① タンパク質の入った目盛つき試験管に、消化液をピペットで試験管の目盛 12ml の線まで入れる。

② 40℃の温水で温める。



2.タンパク質＋水　(試験管 B とする)

〔手順〕

① タンパク質の入った目盛つき試験管に、蒸留水を試験管の目盛 12ml の線まで入れる。

② 40℃の温水で温める。

※試験管 A,B とも 24 時間温めた後、冷蔵庫で冷やす。(この作業は教師がします。)



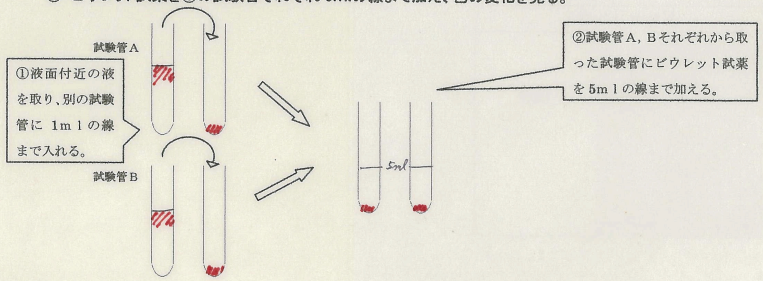
★(2 時間目)　試験薬を用いてタンパク質、アミノ酸の有無を調べる。

3.【タンパク質反応】 タンパク質があると青紫～赤紫に変化する。

〔手順〕

① 前回作成した試験管試料 A(タンパク質+消化液)と試料 B(タンパク質＋水)の上のほうの液(液面から 1cm 以内)をピペットでそれぞれ別の目盛つき試験管に 1ml の線まで取る。(＊残った試料はアミノ酸反応でも使うので混ぜないようにする。)

② ビウレット試薬を①の試験管それぞれ 5ml の線まで加え、色の変化を見る。



4.【アミノ酸反応】 アミノ酸があると青～青紫色に変化する。

〔手順〕

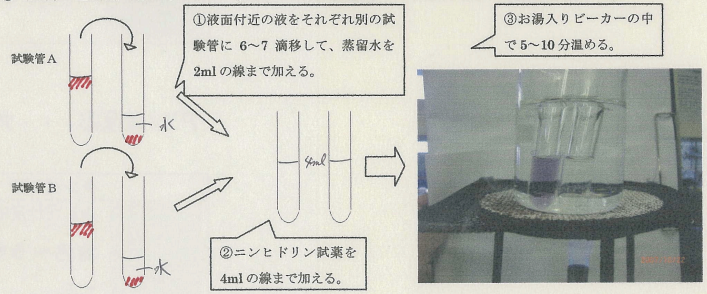
① 前回作成した試験管試料 A(タンパク質+消化液)と B(タンパク質＋水)の上のほうの液(液面から 1cm 以内)をピペットでそれぞれ別の目盛つき試験管に 6～7 滴取り、試験管の 2ml の線まで蒸留水を加える。

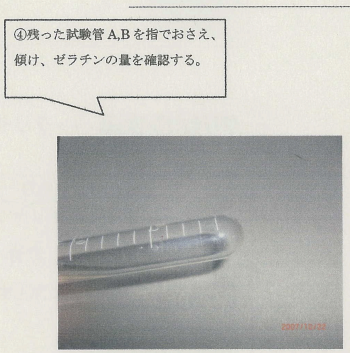
② ①の試験管にそれぞれニンヒドリン試薬を試験管の 4ml の線まで加える。

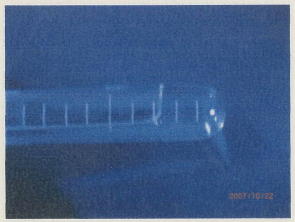
③ ニンヒドリン試薬を入れた 2 本の試験管をお湯入りビーカーのなかで 5～10 分ほど温めて、色の変化を観察する。※やけどに注意！

④ 残った試料 A,B の試験管を傾けてタンパク質(固まったゼラチン)の量を観察する。

⑤ 試料 B をお湯で温め、ゼラチンを溶かした後、試験管に 1ml とり、タンパク質反応を調べる。







⑤ ゼラチンの量を確認後、試験管 B をお湯で温めて、タンパク質反応を調べる。

図 4.1B

[脂肪編]

実験方法

☆(1 時間目) A 脂肪と人工消化液、対照実験として B.脂肪と水を混ぜ合わせ、40℃の温水で温める。

1. 脂肪＋人工消化液 (試験管 A とする)

〔手順〕

① ふたつきプラスチック試験管に脂肪(オリーブオイル)をピペットを使って 1mlの線まで入れる。(準備済)

② 消化液をピペットで試験管の 2mlの線まで入れ、ふたをして撹拌器で 1 分間混ぜる。

③ 試験管を 40℃の温水で 24 時間温める。

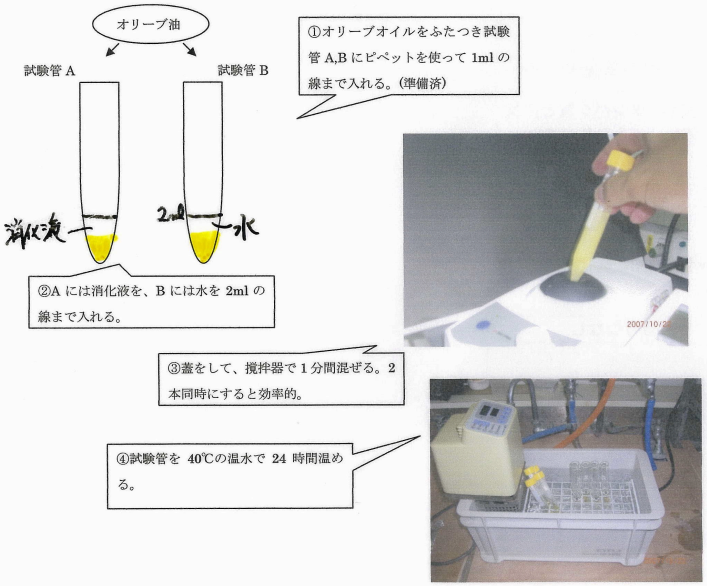
2. 脂肪＋水 (試験管 B とする)

〔手順〕

①.ふたつきプラスチック試験管に脂肪(オリーブオイル)をピペットを使って 1mlの線まで入れる。(準備済)

②蒸留水を試験管の 2mlの線まで入れ、ふたをして撹拌器で 1 分間混ぜる。

③試験管を 40℃の温水で 24 時間温める。



☆(2 時間目) 試験薬を用いて、グリセリンの有無を調べる。

3.【グリセリン反応】 グリセリンがあると、青～青紫色に変化する。

〔手順〕

① 前回作成した試験管試料 A(脂肪＋消化液)と試料 B(脂肪＋水)の二層に分かれた下の方の液をそれぞれピペットで取り、別々のプラスチック試験管に 0.5mlの線まで入れる。(※上の層が混ざらないようにピペットの最初の部分の液は取り除く。)

② はかり取った試験管それぞれにピペットで試薬1(水酸化ナトリウム＋エタノール)を試験管の目盛4.5mlまで加え、軽く振って混ぜる。

③ ②の試験管それぞれに、試薬2(塩化銅エタノール)をピペットで 0.5mlはかり取って入れ、ふたをして撹拌器で 1 分間混ぜる。

④ ③の試験管をそれぞれろ過して、ろ液の色を観察する。

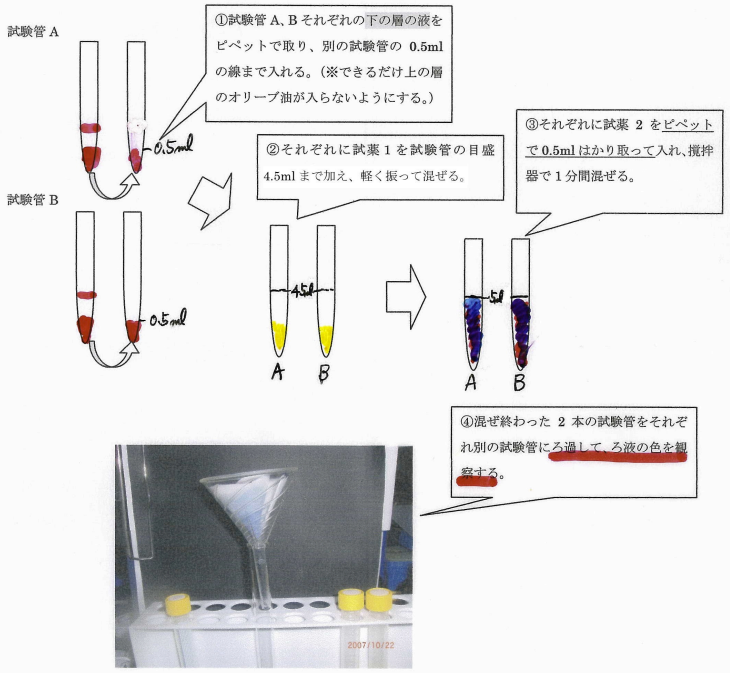
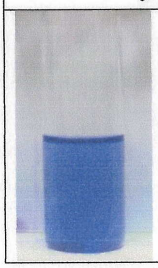
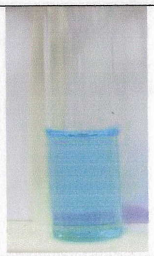


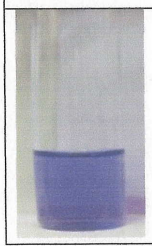
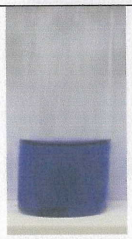
図 4.1C

タンパク質反応・・・タンパク質があると青紫～赤紫色に変化する。

タンパク質あり	タンパク質なし
 タンパク質に反応して、ビウレット液の色が**青紫**に変化する。	 ビウレット液の色のままで、**変化はない。**

アミノ酸反応・・・アミノ酸があると青～青紫色に変化する。

（※タンパク質にもわずかに反応する）

タンパク質	アミノ酸
 少しだけ反応して、**無色～うす紫**に変化する。	 アミノ酸に反応して、**うす紫～青紫色**に変化する。タンパク質との反応に比べると色が濃い。

グリセリン反応・・・グリセリンがあると青～青紫色に変化する。

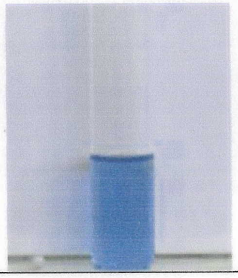
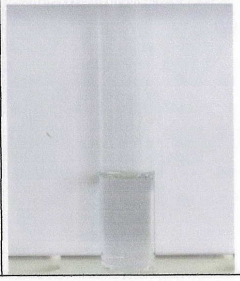
グリセリンあり	グリセリンなし
 グリセリンに反応して青～青紫色に変化する。	 **無色**

図 4.1　生徒に配布したラミネート加工した実験マニュアル

A，タンパク質の消化実験（A3 版）; B，脂肪の消化実験（A3 版）; C，呈色反応についての解説（A，B 両方の裏面(A4 版)）。

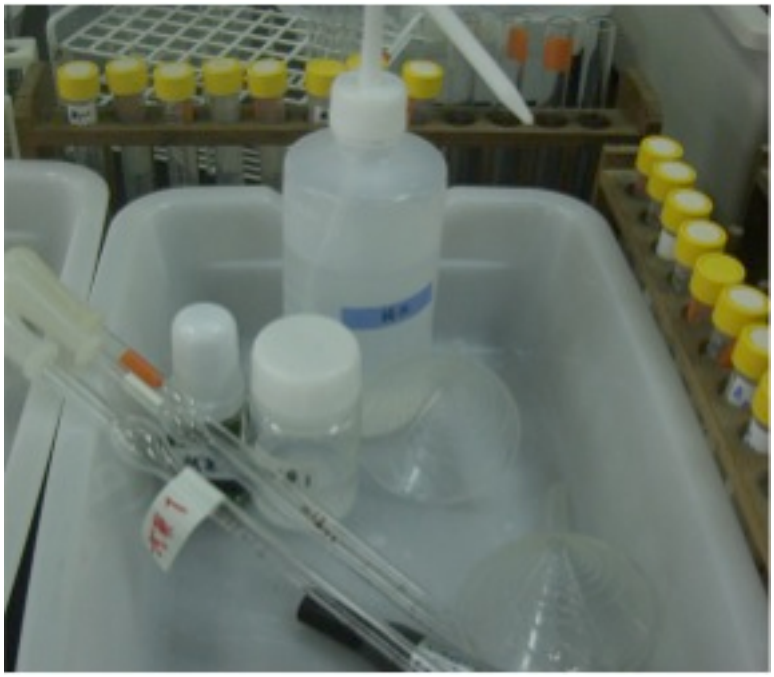


図 4.2 ラミネート加工した実験マニュアルと対応させて
タグや印をつけた脂肪の消化の実験器具

4.2 理科好きの中学生に対するサイエンスサマーキャンプでの実践

ここでは 4.1.1（pp.107-109）で説明した調査の結果について述べる。

4.2.1 中学生サイエンスサマーキャンプでの実施内容

タンパク質と脂肪の消化に関する実験は，テキスト（付録 2，pp.213-216）に沿って行われた。実験指導は筆者が行い，琉球大学教育学部の学生 3 名が助手[注4]としてサポートした。実験では脂肪の消化の呈色用試料採取でパスツールピペットを使用したが，それ以外の溶液をはかりとる作業は駒込ピペットやメスシリンダーを用いた。ゼラチンの準備と呈色反応用の試薬の調製は筆者らが事前に行ったが，それ以外の全ての実験作業は参加した中学生 20 名が 2〜3 人で 1 つの実験班を編成して行った。反応の前後での呈色を比較するため，反応開始段階の試料の呈色反応も生徒実験として行った。

1 日目（10 時 30 分〜13 時 00 分）は，人工消化液の調製と調製した人工消化液と基質と混ぜ合わせて反応を開始させるところまでを行った。様々な中学校から理科に興味がある生徒が参加していたが，同じ中学校から参加していても知人や友人を連れ立って参加した中学生はほとんどいなかった。キャンプの諸活動全体を考慮しつつも，参加した中学生の性格などを把握しないまま 7 つの実験班自体を運営側で事前に機械的に編成したため，全ての班が学校や学年の

異なる中学生を含む形で編成された。そのこともあり，あまり顔見知りがいない状況のためか静かな雰囲気で実験はスタートした。



図 4.3　1 日目の実験の様子

左，人工消化液の調製方法について助手学生の指示を聞く参加者；中，ゼラチンに人工消化液を注ぐために消化液をはかりとる参加者；右，オリーブ油と人工消化液を混合する参加者。

まず，テキストに沿って実験内容を確認した。その後，人工消化液の調製までは全員で協力し，それ以降は各人でサンプルを調製した。参加した生徒は，普段は自分一人だけで実験の全てを行う機会が少ないこともあってか，試験管やピペットといった実験器具の大半を一人で専有して実験できることに喜んでいることがその表情からうかがえた。最初は人見知りもあってかあまり積極的に会話しながら実験が進んでいったわけではないが，時間が経つにつれ班員相互で作業を協力したり，質問したり教えあったりしながら実験を進める様子も見受けられてきた。また，ボルテックスミキサーや遠心分離機など普段は使用する機会がない機器を使用できたことにも喜んでいることが歓声や表情から推察された。実験操作そのものが簡単なこともあってか，参加者から実験内容や操作面に関して質問されることはなかった。

2 日目（14 時 30 分～16 時 30 分）は，対照となる反応開始時のサンプルを再度調製し，タンパク質，脂肪とも分解生成物を確認するための呈色反応までを各人で行った。ビウレット反応やニンヒドリン反応など今回利用した呈色反応は高等学校以上で扱われる内容である。小中学校でもヨウ素デンプン反応やベネジクト液による還元糖の検出実験の詳細な反応原理は説明されずに用いている。そのため今回はデンプンの消化に関する実験教材の扱いと同様に「この実験で○○色になった時には●●が存在している」という程度の説明にとどめた。それに対して参加者から質問を受けることはなく，キャンプを通して新しくできた友達同士で実験の結果を比較するなどしながら考察していた。

実験操作全般において，「理科に興味があり観察・実験が好きな中学生」が参加していることもあってか，駒込ピペットを用いて溶液を一定量採取する場面

以外では作業は滞りなく進んだ。実験の授業にありがちな時間内に終了できないということはなく，予定通りのスケジュールで余裕をもって実施できた。



図 4.4　2 日目の実験の様子

左，全体の様子；中，タンパク質の消化の実験で反応後のサンプルから呈色反応に用いる試料を採取する参加者；右，グリセリン検出のため呈色反応（撹拌）をする参加者。

4.2.2 事後アンケートの結果から見る本実験教材の評価

キャンプの全日程終了後に，参加した中学生全員に対して無記名のアンケート（付録 3，pp. 217–218）を実施した。アンケートは，全員から回答を得てすべて有効回答として分析に用いた。アンケートの主な質問項目は 5 件法で問い，「良い・少し良い・普通・少し悪い・悪い」の順に 5 点から 1 点まで配点し，回答者の評価を点数化して集計した。本実験教材に関しては，実験内容の「面白さ」と「わかりやすさ」を調査した。表 4.4 はその結果である。

実験内容の「面白さ」と「わかりやすさ」に対する回答について平均点を算出したところ，男女別，全体とも全ての項目で 4 点以上となった。

さらに，「サイエンスキャンプ全体で一番印象に残った活動」を自由記述で回答してもらったところ，生物観察に関する記述が 9 名と最も多いものの，「消化に関する化学実験」と答えた生徒が 20 名中 7 名となり，個別具体的活動で整理した中では最も良い評価を得た。ホタルの観察に関する内容を答えた者が 4 名（第 2 位）で，他の活動を答えた生徒は 2 名以下であった[注 5]。

表 4.4 実験内容に対するアンケート調査の結果

質問項目	性別	良い(5点)	少し良い(4点)	普通(3点)	少し悪い(2点)	悪い(1点)	平均点	SD
実験内容の面白さ	男性	15	0	0	1	0	4.8	0.75
	女性	4	0	0	0	0	5.0	0.00
	全体	19	0	0	1	0	4.9	0.67
実験内容のわかりやすさ	男性	7	7	1	0	1	4.2	1.05
	女性	2	2	0	0	0	4.5	0.58
	全体	9	9	1	0	1	4.3	0.97

単位;人

4.3 中学 2 年　理科「動物の生活と種類-動物の体のつくりとはたらき」への適用

ここでは 4.1.2（pp.109-112）で説明した調査の結果について述べる。

4.3.1 実験を導入した授業の詳細

第 1 時：消化管の観察（魚の解剖）[実習生の授業]

魚の解剖に慣れないため時間がかかり，消化管を取り出して観察，スケッチするのが難しいようだった。また，どれがどの器官なのか判別できない生徒や，魚に対する嫌悪感やにおい，見た目などが耐えられなくなり，実験に参加できない生徒も数名見られた。

第 2 時：デンプンの消化実験（だ液によるデンプンの消化）[実習生の授業]

ここでは，デンプンの存在をヨウ素デンプン反応によって，糖の存在をベネジクト反応で確かめさせた。実験方法を理解できていないと思われる生徒が見られ，実験中に授業者に何度も質問する光景が見られた。ベネジクト反応の際，試験管に沸騰石を入れずに直火で加熱したため，突沸して溶液が吹き出した班も見られた。実験に時間がかかり，ヨウ素デンプン反応が消失しているのに糖の生成が確認できないなど結果も班によって少しずつ異なるものとなった。授業の最後で，だ液によりデンプンが消化され糖に分解されることをまとめた。

第 3，4 時：タンパク質・脂肪の消化実験

表 4.5 は第 3～5 時の学習指導案である。第 3 時と第 4 時で実験操作を行い，この実験そのものは連続する 2 日間にわたって行われた。この消化の実験教材では反応に 24 時間程度の時間が必要だが，第 4 時は第 3 時の 18～20 時間後に実施されており厳密な意味での 24 時間後ではない。人工消化液の調製では，撹拌を担当する生徒以外は時間を持て余していた。脂肪の実験では，マグネティックスターラーとボルテックスミキサーを用いた[注 6]。生徒は皆この機械に興味津々であった。これら見慣れない機械を使用した実験は，生徒には新鮮に感じられたようである。予算の都合からマグネティックスターラーを 10 台用意できなかったため人工消化液の抽出をタンパク質実験班は人力で行ったことやグリセリンの検出の呈色反応に強力な撹拌が必要なこともあり，タンパク質実験班は脂肪実験班をうらやましそうに見ていた。ろ過時間の短縮のためにひだ付きろ紙を用いたが，その作成で生徒には少し戸惑いが見られた。第 4 時は使用する薬品が多く作業工程がやや複雑であり，脂肪の呈色反応のように手早く作業をしなければならない場面で，生徒は作業手順を理解するのに少し苦労していた。また，呈色反応で試料を別の試験管にとる作業でも戸惑いが見られ，結果を記録し自分なりに考察をする段階になって呈色反応の意味（変色すると何が

あるのか）を授業者に確認してくる生徒もいた。

呈色反応の確認・比較は全て目視で行った。このとき，色の表現方法から「色がついていない」＝「透明」と誤った理解をしていたと判断できる生徒がほとんどであった。しかしながら，呈色結果がはっきりしていたため，結果からの推測は易しかったようであった。

全体的に作業を班で協力して積極的に取り組んでおり，どの班も実験を成功させていた。生徒達からは「実験が難しい」や「面倒だ」というような発言はなく，実験の様子からも生徒が実験に興味・関心を持って取り組んでいるように見られた。第 3, 4 時とも終了時間の 5 分前には後片付けまでを含めて実験が終わっており，授業展開に余裕があった。

表 4.5 タンパク質と脂肪の消化実験の学習指導案（第 3～5 時）

1. 本時の目標

タンパク質と脂肪の消化実験に意欲的に参加し，実験結果から，タンパク質や脂肪が体内でどのように変化するのかを理解する。

2. 本時の展開

	学習の流れ	生徒の活動	授業者の活動
第3時			
導入	前時の実験の復習	前時の内容を確認	前時にデンプンの消化実験をしたことを確認
	本時の内容発表	本時の内容を確認	
		タンパク質や脂肪は，からだの中でどのように分解されていくか？	本時では，タンパク質と脂肪の消化実験をすることを伝える
	実験の班分け	タンパク質の実験を行う班（5班）と脂肪の消化の実験を行う班（5班）に分かれる	二つの実験を同時に行うため，学級を二つに分ける
展開Ⅰ	実験の説明	教師の説明を聞く	実験方法を説明
		実験を始める（1班4人編成）	机間巡視しながら適宜指導
	実験操作	①消化薬からを消化液を調製 ②試料調製 ③教卓に用意した恒温槽に試験管を入れる（反応開始）	
		試験管を恒温槽に入れる前に，試験管の状態を確認（タンパク質の実験班はゼラチンの位置に印をつける）	教卓に置いてある恒温槽に入れる際に，今の状態を確認させておく
			第4時開始前にタンパク質試料は冷蔵庫で1時間以上冷却，脂肪の試料を再度撹拌する
第4時			
	実験の説明	教師の説明を聞く	本時の実験方法（呈色反応）を説明
	実験操作	前時の班で実験を始める	器具の取り扱い方を注意

展開Ⅱ		タンパク質の実験ではゼラチンの様子を比較する 両方の実験とも分解生成物を検出するための呈色反応を行い，その結果を純水の結果（対照実験）と比較する	冷却しておいたタンパク質消化の実験試料を生徒に配布 油の混入防止と水酸化ナトリウム水溶液の取り扱いを注意
	反応開始直後の試料での呈色実験の結果紹介	反応開始直後の試料の呈色の結果や変化の様子についての演示実験を観察し，説明を聞く	予め準備していた0時間（消化開始直後）試料，タンパク質ではさらに反応開始15分後の試料の様子と呈色の結果を生徒に提示
		各時間における試料の様子や呈色の違いを実験結果として記録し，各人で推察する	タンパク質が存在していればビウレット反応で青紫色，アミノ酸が存在していればニンヒドリン反応で紫色，グリセリンが存在していればナトリウム-銅（II）-グリセリン錯体の青色をそれぞれ示す
	後片付け	後片付けを行う	
第5時			
	実験結果の交流	デンプン，タンパク質，脂肪の消化の実験結果を発表する	デンプン，タンパク質，脂肪の消化実験の結果を発表させる
整理		24時間後の試料と，0時間の試料の結果・呈色の違いから，どのような変化が生じたかを考察・推察する	実験結果からどのようなことがいえるのかを考察・推察させ，体験していない実験の結果を共有させる
		タンパク質実験班は脂肪の結果とそこから考察された事項を，脂肪実験班はタンパク質の実験の結果とそこから考察された事項をそれぞれ学習する	
		体内の消化酵素によってタンパク質はアミノ酸，脂肪は脂肪酸とグリセリンに分解される	今回の実験では確認できないが，脂肪の消化では脂肪酸も生じることを補足
発展		分解された栄養分は小腸からどのように吸収されるかを学習	小腸における吸収について教科書を用いた調べ学習を行う
		一連の学習から消化酵素の性質をまとめる	消化酵素の性質を整理させる

3. 本時の評価

タンパク質と脂肪の消化実験に意欲的に参加し，実験結果から消化酵素のはたらきによりタンパク質がアミノ酸に，脂肪が脂肪酸とグリセリンに変化して体内に吸収されることを理解できたか。（行動観察及びワークシートの記述から判断）

第 5 時：消化と吸収のまとめ（実験のまとめ，消化酵素と栄養分の吸収についての学習）

デンプン，タンパク質，脂肪の消化実験のまとめを行った。ワークシートに前時までの結果をまとめさせた後，指名された生徒が黒板に板書して結果を発表した。その後，授業者と生徒との間の対話で，それぞれの試薬がどの物質の存在を示すものであるかを確認し，呈色反応の結果の差から消化液中の消化酵素によって，タンパク質が分解されてアミノ酸になること，脂肪が分解されてグリセリンが生じることを学習した。

脂肪については，使用していた教科書[15)]では「脂肪は脂肪酸とグリセリンに分解される」と記載されているが，この実験からは「グリセリン」の検出しかできないことに注意して授業を行った。また，栄養分の吸収については主に教科書を用いた調べ学習で行った。

4.3.2 非常勤講師が担当しているクラスでの同一内容部分の授業実践の概要

タンパク質と脂肪の消化に関する実験教材を導入しなかった非常勤講師が担当していたクラスでは 4 時間扱いで同一内容部分の授業が展開された。非常勤講師による授業では，魚の解剖とだ液によるデンプンの消化の実験が生徒実験として用いられ，タンパク質・脂肪の消化と吸収については教科書による調べ学習と授業者の説明でまとめられていた。以下にその概要を示す。

第 1 時：動物の食べ物と歯の形・食べ物の通り道

食べ物によって，動物の体の特徴(目の付き方や歯の形)に違いがあることをライオンや馬などの動物を例に説明した。生徒は食べ物が糞になるまでにどこを通って，どこで消化されるのか予想し，ワークシートに記述していた。

第 2 時：消化管の観察（魚の解剖）

授業者が近くの池で釣ってきた魚を用いて解剖しながら，その魚の特徴を説明することで，生徒がより興味・関心を持つように工夫していた。

解剖の際，生徒は内臓を傷付けないように切るのに苦戦していた。また，「汚い」，「臭い」などと騒ぐ場面や，気分が悪くなった生徒も見られたが，大多数の生徒は強く興味を持って実験に取り組んでいた。時間内に十分に観察できていなかった班がいくつか見られたが，「先生，心臓はどれ？」，「これ全部腸なの？」としっかりと観察している班もあり，「先生，1 m 80 cm あった」と腸の長さを測定した生徒もいた。教育実習生が行った授業と同様に，取り出した内臓を判別できる生徒は見られなかったが，授業者がスライドを使って消化管の説明をすると，それを参考にワークシートにまとめていた。

第 3 時：デンプンの消化実験（だ液によるデンプンの消化）

生徒はだ液の採取と試料を温める湯の温度調節，ベネジクト液を入れた後の加熱の作業に手間取っていた。実験は授業者の説明を理解できている班とできていない班で進度に差が見られ，時間内に終わらない班もあった。タンパク質と脂肪の消化の実験教材を導入したクラスの授業と同様に，ベネジクト反応で試験管を加熱する際に突沸させる班も見られた。

第 4 時：消化と吸収のまとめ（消化の仕組み（消化酵素の働きと場所），タンパク質・脂肪の消化）

前時の実験結果から,デンプンが無くなって糖ができたことを生徒と確認し，実験結果からデンプンが糖に変化したことを導き，それが消化酵素によることを教え，酵素には適した温度・特定のものにしか働かない・自身は変化しないという特徴を持っていることを授業者が説明した。図 4.5 はある生徒のワークシートである。授業の中で，生徒は授業者が板書した小腸の内部構造をワークシートの余白に記入したり，実験で確認したデンプンだけではなくタンパク質・脂肪の消化について授業者の説明や教科書で調べたりしながら消化酵素の特徴と消化による分解生成物，各消化器官の関係や栄養分の吸収についてワークシートにまとめていた。

消化と吸収のしくみ（9月28日）

キーワード：消化酵素，柔毛，吸収

組　番　名前　A

1．食物の三大栄養素の例を挙げてください。

	デンプン（炭水化物）	タンパク質	脂肪（脂質）
例	ご飯，パン，めん	魚，肉，牛乳，大豆	マーガリン，油

2．前回の実験でデンプンはだ液の働きで糖に変化しました。このような働きをするだ液に含まれる物質を何と言いますか？

酵素（こうそ）（だ液が酵素じゃなくて，だ液の中に酵素がある。）

洗剤などにも利用される。

アミラーゼ（だ液の酵素）

3．消化酵素の特性を３つ挙げてください。

・きまった物質だけにはたらく。
・主まった温度（35～40℃）ではたらく。
・はたらく相手を変化させるが，酵素自体は変化しない。

4．食物の三大栄養素は消化酵素によって分解され，それぞれ何になって吸収されますか？

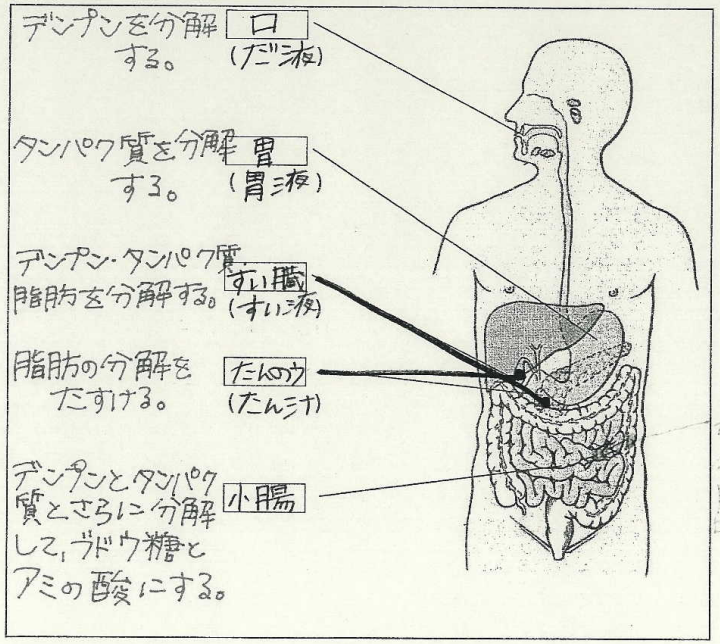
デンプン	→ブドウ糖。
タンパク質	→アミノ酸。
脂肪	→グリセリン・脂肪酸。

（ブドウ糖→不足すると，あたまがボーッとする。）

柔毛
- 小腸の内側のかべにある。
- 表面積が大きくなるので，吸収を助ける。

こんな。毛細血管　リンパ管　ほんとは黒くない。　⇒　ズームアウト。　柔毛

5．消化と栄養分の吸収のしくみをまとめてみましょう！□の中には消化器官の名前を、（　）の中には分泌される消化液の名前を書いてください。



吸収されなかった分などが腸などで吸収される。

6．消化酵素によって分解された栄養分はどこから吸収されますか？

ブドウ糖 →
アミノ酸 → 柔毛の毛細血管に吸収される。（肝臓に運ばれ，別の物質になって一時たくわえられる。）
グリセリン・脂肪酸 → 柔毛内で再び脂肪になってリンパ管に吸収される。

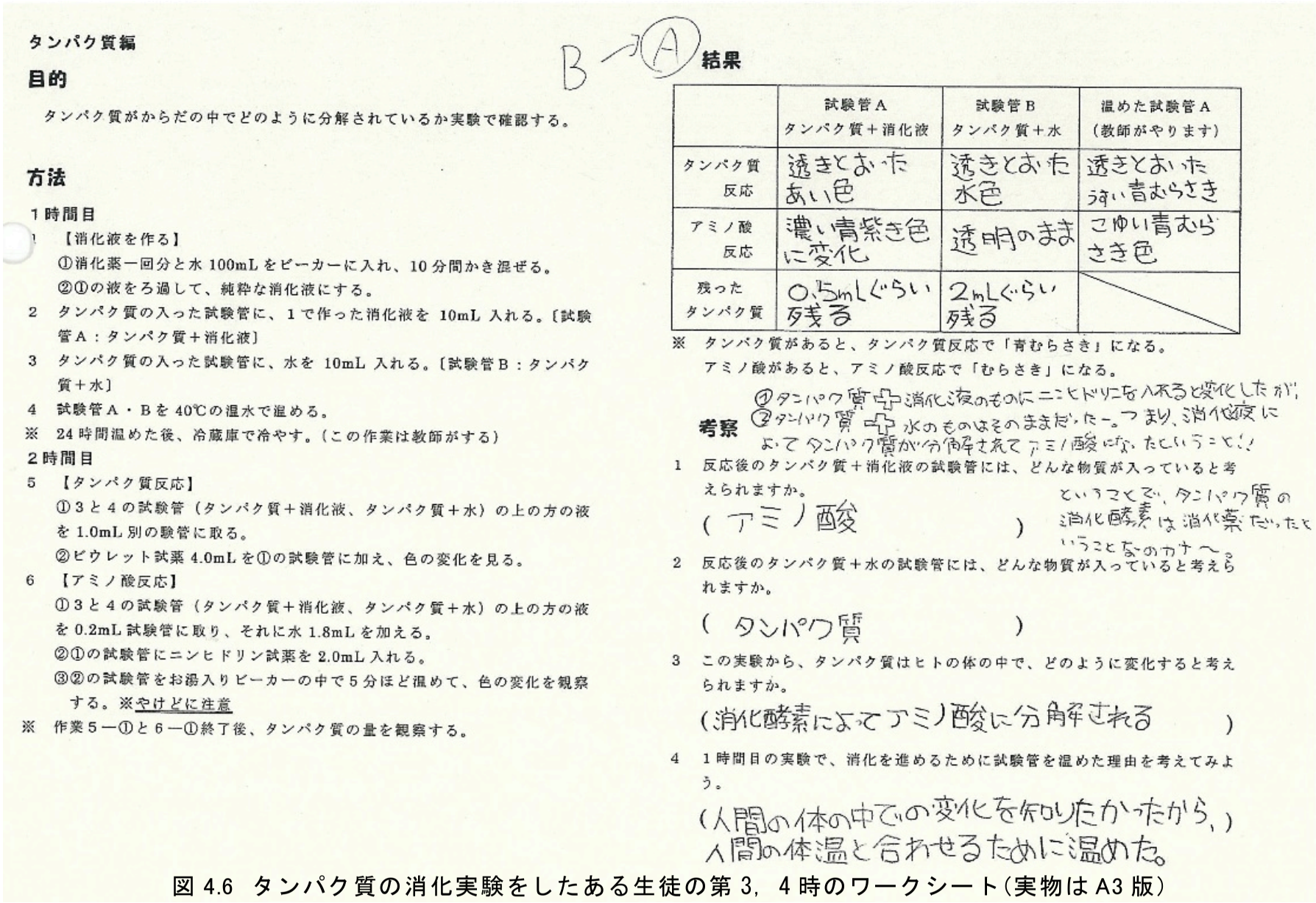
柔毛という小さな突起に吸収。

首のつけ根付近で血管に入り，全身に送られる。

図 4.5　非常勤講師が担当したクラスの生徒が記入した第 4 時のワークシートの一例（実物は A3 版）

4.3.3 生徒のワークシートならびにコンセプトマップの記述

図 4.6，4.7 は 3〜4 時間目の，図 4.8 は 5 時間目のタンパク質と脂肪の消化の実験をした生徒のワークシートの一例である。図 4.6 と 4.7 のタンパク質と脂肪の消化の実験のワークシートは両面印刷されて全員に配付され，生徒は担当する実験に関してのみ記入した。図 4.6 の生徒はタンパク質の実験を担当したが，考察記入欄の上の余白を利用して結果から判断できる事項を対照である水の結果と比較しながら文章で記入していた。図 4.7 の生徒は脂肪の消化実験をしたが，実験方法の部分に作業の内容を図で表現したり注意事項を補ったりしていた。消化酵素の抽出作業ではマグネティックスターラーの動作を描き，また白いスターラーバーが磁石であることを余白に記入していた。呈色反応の作業工程で注目する部分を図示したり塩化銅（Ⅱ）エタノール溶液や水酸化ナトリウム水溶液の取り扱いに関する注意事項など授業者が口頭で指導した内容とともに呈色反応の結果を素直な表現で余白に記入したりしていた。実験結果を記入する欄では，図 4.6 の生徒のように空欄を言葉や文章で埋めていった生徒だけではなく，図 4.7 の生徒のように言葉だけでなく図で記録した生徒が見られた。また，この 2 人の生徒のように授業者が用意した考察の欄には結果からわかることだけを正しく記載していたり，40℃という恒温で反応させる意味が人体での現象を再現するためのものであることを理解したり「温まると活動が早くなって消化が早くなる」との表現などから酵素の至適温度について言及したり理解したりしていることが分かる記述が他の生徒のワークシートにも見られた。4 時間目の授業後に提出された生徒のワークシート (N=53) を見ると，9 割の生徒は実験結果である呈色の変化を記録していた。11 名の生徒が「タンパク質が筋肉になる」や「脂肪が脂肪酸になる」のようにこの実験の結果からは推測できないことを書いたり,「脂肪が分解された」というように何に変化したのかを具体的に明示できなかったり,「タンパク質が糖に変化する」,「脂肪がアミノ酸に変化する」といった誤った考察を書いたりしていたが，約 7 割の生徒は図 4.6, 4.7 で示した生徒のように実験の結果から「タンパク質が分解されてアミノ酸が，脂肪が分解されてグリセリンが生成」したことを考察できていた（表 4.6)。



タンパク質編

目的

タンパク質がからだの中でどのように分解されているか実験で確認する。

方法

1時間目

1　【消化液を作る】
①消化薬一回分と水 100mL をビーカーに入れ、10 分間かき混ぜる。
②①の液をろ過して、純粋な消化液にする。

2　タンパク質の入った試験管に、1で作った消化液を 10mL 入れる。〔試験管A：タンパク質＋消化液〕

3　タンパク質の入った試験管に、水を 10mL 入れる。〔試験管B：タンパク質＋水〕

4　試験管A・Bを 40℃の温水で温める。

※　24 時間温めた後、冷蔵庫で冷やす。（この作業は教師がする）

2時間目

5　【タンパク質反応】
①3と4の試験管（タンパク質＋消化液、タンパク質＋水）の上の方の液を 1.0mL 別の験管に取る。
②ビウレット試薬 4.0mL を①の試験管に加え、色の変化を見る。

6　【アミノ酸反応】
①3と4の試験管（タンパク質＋消化液、タンパク質＋水）の上の方の液を 0.2mL 試験管に取り、それに水 1.8mL を加える。
②①の試験管にニンヒドリン試薬を 2.0mL 入れる。
③②の試験管をお湯入りビーカーの中で5分ほど温めて、色の変化を観察する。※やけどに注意

※　作業5－①と6－①終了後、タンパク質の量を観察する。

B → A

結果

	試験管A タンパク質＋消化液	試験管B タンパク質＋水	温めた試験管A （教師がやります）
タンパク質反応	透きとおった あい色	透きとおった 水色	透きとおった うすい青むらさき
アミノ酸反応	濃い青紫き色に変化	透明のまま	こゆい青むらさき色
残ったタンパク質	0.5mLぐらい残る	2mLぐらい残る	

※　タンパク質があると、タンパク質反応で「青むらさき」になる。
アミノ酸があると、アミノ酸反応で「むらさき」になる。

考察

①タンパク質＋消化液のものにニンヒドリンを入れると変化したが、②タンパク質＋水のものはそのままだった。つまり、消化液によってタンパク質が分解されてアミノ酸になったということだ！

1　反応後のタンパク質＋消化液の試験管には、どんな物質が入っていると考えられますか。
（アミノ酸）
ということで、タンパク質の消化酵素は消化薬だったということなのかナ～。

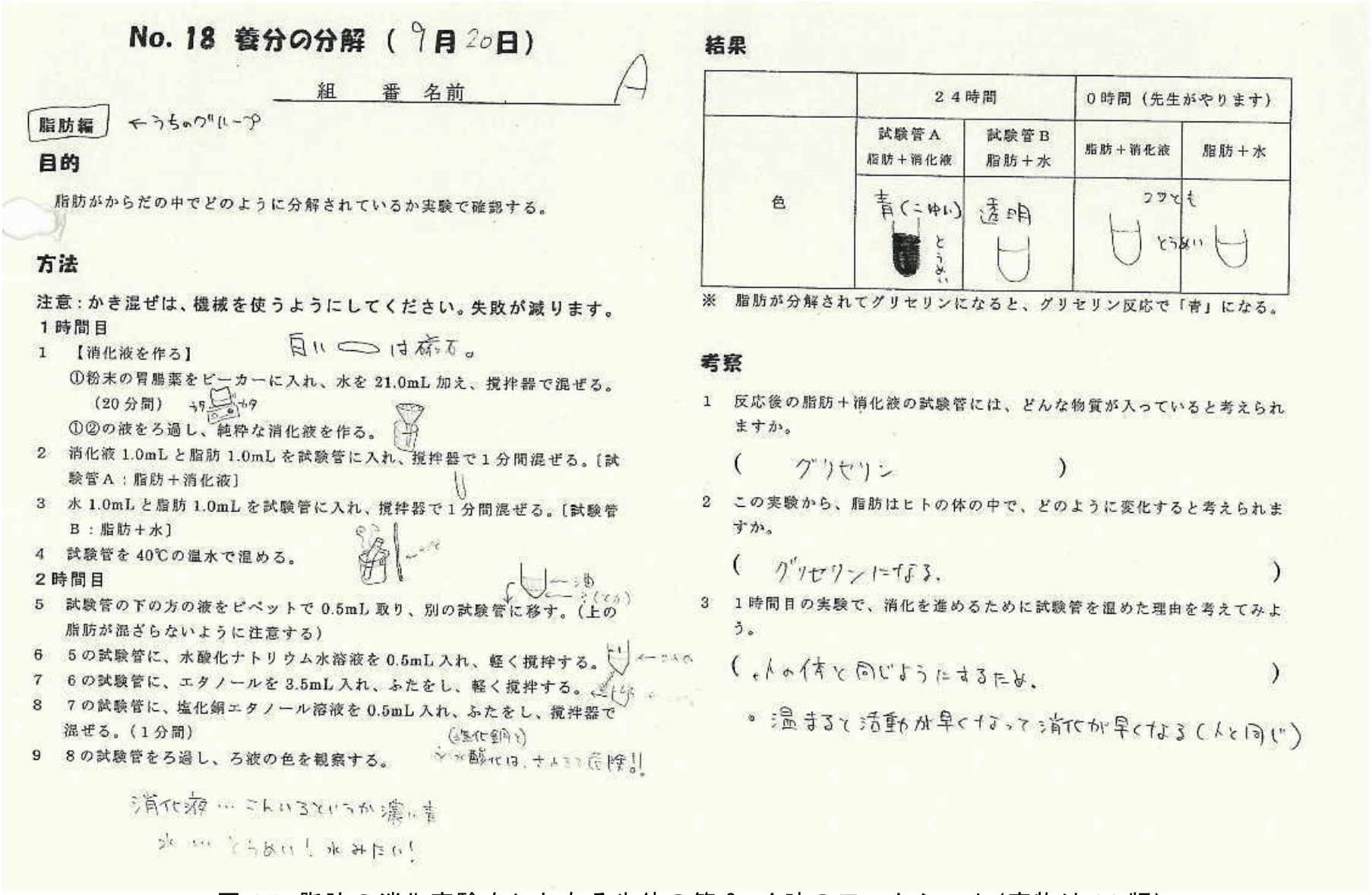
2　反応後のタンパク質＋水の試験管には、どんな物質が入っていると考えられますか。
（タンパク質）

3　この実験から、タンパク質はヒトの体の中で、どのように変化すると考えられますか。
（消化酵素によってアミノ酸に分解される）

4　1時間目の実験で、消化を進めるために試験管を温めた理由を考えてみよう。
（人間の体の中での変化を知りたかったから、）
人間の体温と合わせるために温めた。

図 4.6　タンパク質の消化実験をしたある生徒の第 3，4 時のワークシート（実物は A3 版）

図 4.6 と 4.7 のワークシートはタンパク質と脂肪の実験が両面印刷されて全員に配付され，担当する実験の方だけ記入した。



No. 18 養分の分解（9月20日）

組　番　名前　A

脂肪編　そうちのグループ

目的

脂肪がからだの中でどのように分解されているか実験で確認する。

方法

注意：かき混ぜは、機械を使うようにしてください。失敗が減ります。

1時間目

1　【消化液を作る】　白いのは胃液。

①粉末の胃腸薬をビーカーに入れ、水を 21.0mL 加え、撹拌器で混ぜる。（20 分間）

①②の液をろ過し、純粋な消化液を作る。

2　消化液 1.0mL と脂肪 1.0mL を試験管に入れ、撹拌器で 1 分間混ぜる。〔試験管 A：脂肪＋消化液〕

3　水 1.0mL と脂肪 1.0mL を試験管に入れ、撹拌器で 1 分間混ぜる。〔試験管 B：脂肪＋水〕

4　試験管を 40℃の温水で温める。

2時間目

5　試験管の下の方の液をピペットで 0.5mL 取り、別の試験管に移す。（上の脂肪が混ざらないように注意する）

6　5 の試験管に、水酸化ナトリウム水溶液を 0.5mL 入れ、軽く撹拌する。

7　6 の試験管に、エタノールを 3.5mL 入れ、ふたをし、軽く撹拌する。

8　7 の試験管に、塩化銅エタノール溶液を 0.5mL 入れ、ふたをし、撹拌器で混ぜる。（1 分間）

9　8 の試験管をろ過し、ろ液の色を観察する。

消化液…こんいろというか濃い青

水…とうめい！水みたい！

結果

	24時間		0時間（先生がやります）	
	試験管A 脂肪＋消化液	試験管B 脂肪＋水	脂肪＋消化液	脂肪＋水
色	青（こゆい）とうめい	透明	ううとう	とうめい

※　脂肪が分解されてグリセリンになると、グリセリン反応で「青」になる。

考察

1　反応後の脂肪＋消化液の試験管には、どんな物質が入っていると考えられますか。

（　グリセリン　）

2　この実験から、脂肪はヒトの体の中で、どのように変化すると考えられますか。

（　グリセリンになる。　）

3　1 時間目の実験で、消化を進めるために試験管を温めた理由を考えてみよう。

（人の体と同じようにするため。　）

・温まると活動が早くなって消化が早くなる（人と同じ）

図 4.7　脂肪の消化実験をしたある生徒の第 3，4 時のワークシート（実物は A3 版）

図 4.6 と 4.7 のワークシートはタンパク質と脂肪の実験が両面印刷されて全員に配付され，担当する実験の方だけ記入した。

No. 19 養分の分解まとめ（ 9 月 29 日）

A

組　番　名前

実験結果

すでなので消化してなくて、ヨウ素液○＝反応した ―＝変化なし

デンプン 色になってる。

	デンプン＋消化液（だ液）	デンプン＋水
ヨウ素液反応	赤むらさき色 ―	むらさき ○
ベネジクト液反応	にごった黄色 ○	水色 ―

どちらかというと赤かっ色

タンパク質

	タンパク質＋消化液	タンパク質＋水
タンパク質反応	水色 ―	水色 ―
アミノ酸反応	紫色 ○	黄色っぽい透明 ―

アミノ酸に反応した、ということ。

脂肪編

	脂肪＋消化液	脂肪＋水
グリセリン反応	こい青 ○	透明 ―

グリセリンに反応。

考察

① デンプンは、人の体のなかで、どのように変化すると考えられますか。
（ 糖 ）

② タンパク質は、人の体のなかで、どのように変化すると考えられますか。
（ アミノ酸に変化する ）

③ 脂肪は、人の体のなかで、どのように変化すると考えられますか。
（ グリセリンになる ）

まとめ

① 消化酵素 によって、デンプンやタンパク質、脂肪が分解される。

② 下の表の（　　）をうめてみよう。教科書 P.100－101

体にふるから小さくする。

取り込まれた物質	ブドウ糖がくっついてできてる。 デンプン	タンパク質	脂肪
分解された物質	（ ブドウ糖 ）	（ アミノ酸 ）	（ グリセリン ）（ 脂肪酸 ）
小腸内の吸収される場所	（ 毛細血管 ）	（ 毛細血管 ）	（ リンパ管 ）

消化酵素（分解）

きまった物質だけにはたらく。

③ 消化酵素は、デンプンやタンパク質を（ 変化 ）させるが、消化酵素自身は変化（ する・ない ）。

④ 消化酵素には色々な種類が（ あり・なく ）、消化酵素によって、分解する相手が（ 決まっている・決まっていない ）

⑤ 消化酵素は、よく働く温度があります。何度と思いますか。（ヒント：タンパク質と脂肪の実験で 24 時間の処理がありました、それは、消化酵素を働かせるためです）

人の体温でいっしょ
40℃くらい

⑥ 消化酵素は日用品にも利用されています。どのように利用されていますか。

- 胃腸薬（せいろがん？）
- せんざいとか、く分解したら汚れおちそう）

図 4.8 ある生徒の第 5 時のワークシート（実物は A3 版）

表 4.6 3～4 時間目のワークシートへの実験結果・考察の記録状況

	実験結果を記録し，科学的に正しい考察まで到達できている者	実験結果は記録できているが，考察の一部に誤りがあった者	全く考察できていない・未記入	提出者計
タンパク質実験	21	4	3	28
脂肪実験	17	7	1	25
合計	38	11	4	53

単位:人

注)「科学的に正しい考察」とはこの場合，タンパク質が分解されてアミノ酸が，脂肪が分解されてグリセリンが生成したことを明示できたことを指す。

図 4.8 の生徒のように，多くの生徒の 5 時間目のワークシートには自分自身が経験したデンプンの消化実験とタンパク質か脂肪の消化のいずれか一方の実験だけではなく，自分は実験していないが他の班が行った残りの実験の結果も記録されていた。また，実験結果や教科書を参考にしながら，まとめの欄には消化による粒子の大きさの変化を図示し，最終生成物と吸収先，酵素反応の基質特異性，至適条件など消化酵素の特徴についてだけでなく，日常生活での酵素の利用について記録されていた。5 時間目の授業後に提出されたワークシート（N=56）には，タンパク質と脂肪の消化に関する両方の実験結果，自分自身での考察とそれを基にした班内での討論や授業者の説明から，消化によってブドウ糖・アミノ酸・脂肪酸とグリセリンというより小さい分子に分解されることがまとめの欄に記述されていた。

図 4.9，4.10 はタンパク質の，図 4.11，4.12 は脂肪の実験を行ったある生徒が一連の学習前後（7 月と 10 月）で作成したコンセプトマップである。タンパク質の実験をしたこの生徒は，学習前段階では胃液以外の消化液を明記していなかったが（図 4.9），学習後には「アミラーゼ」といった具体的な酵素名や「だ液」,「胃液」といった具体的な消化液名が複数見られるようになった（図 4.10）。脂肪の実験をしたこの生徒は実践前段階では「胃」以外の消化器官を明記していないが（図 4.11），実践後には「小腸」や「大腸」といった他の消化器官名や「消化管」を記入しており，「だ液」，「胃液」といった具体的な消化液名とそれと特異的に反応する栄養分を関連づけて記入していた（図 4.12）。この 2 人のように学習前には，胃以外の消化器官の結びつきが弱かったり見られなかったりしたため，消化が胃のみで行われているように認識しているような記述をした生徒が全体の 50%を超えていた。しかし，学習後には「消化器官」，「消化

液」,「消化酵素」といったラベルが追加され，学習前からあったラベルとのつながりが見られるようになった。

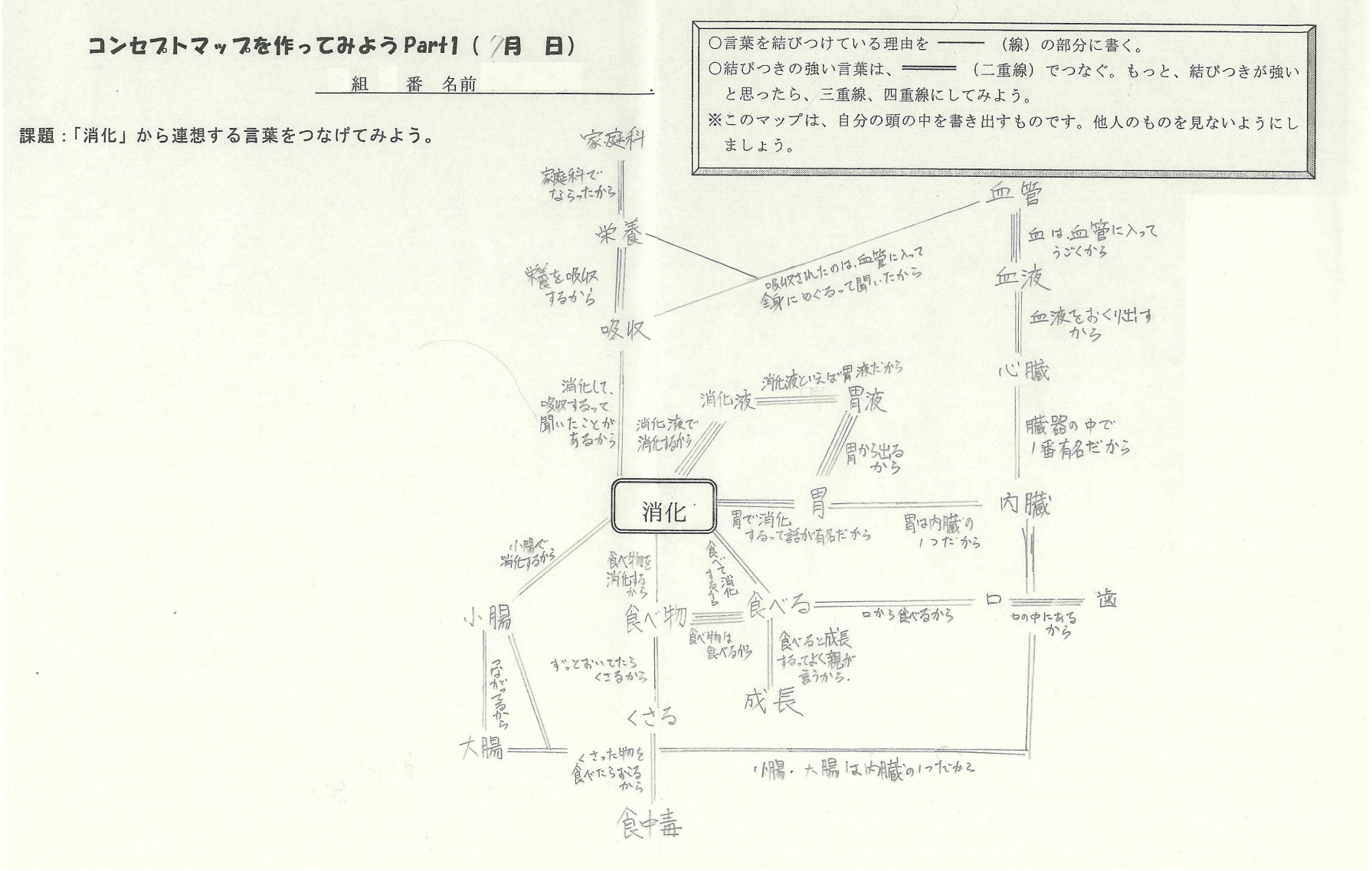


図 4.9 タンパク質の消化の実験をしたある生徒の学習前のコンセプトマップ（実物は B4 版）

コンセプトマップを作ってみようPart2（　月　日）

組　番　名前

課題：「消化」から連想する言葉をつなげてみよう。

○言葉を結びつけている理由を ——— （線）の部分に書く。
○結びつきの強い言葉は、═══ （二重線）でつなぐ。もっと、結びつきが強いと思ったら、三重線、四重線にしてみよう。
※このマップは、自分の頭の中を書き出すものです。他人のものを見ないようにしましょう。

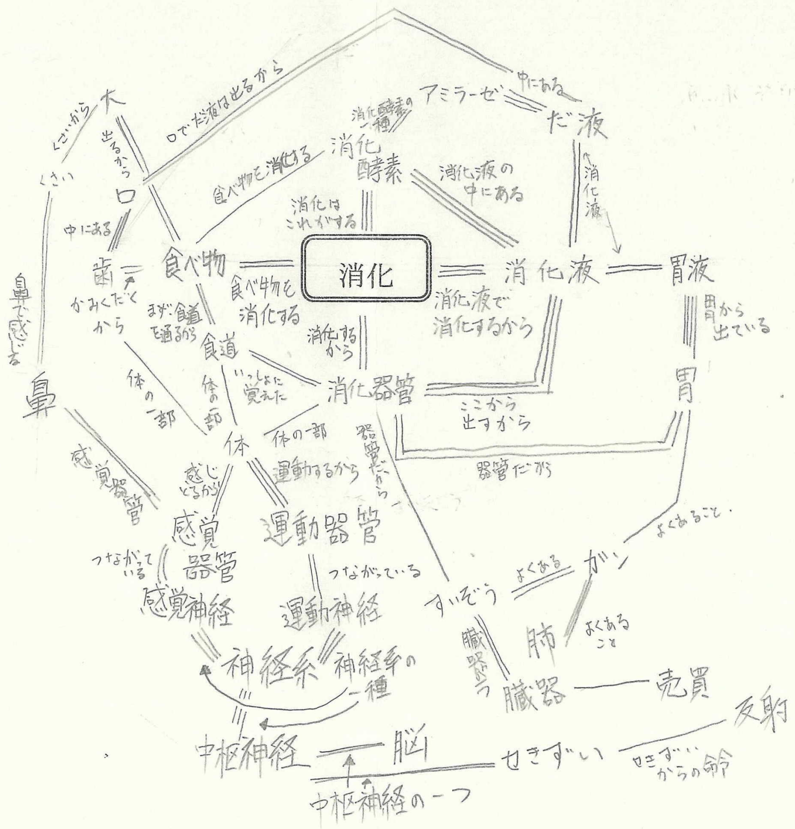


図 4.10　タンパク質の消化の実験をしたある生徒の学習後のコンセプトマップ（実物は B4 版）

コンセプトマップを作ってみよう Part1 （　月　日）

組　　番　名前　　.

課題：「消化」から連想する言葉をつなげてみよう。

○言葉を結びつけている理由を ——— （線）の部分に書く。
○結びつきの強い言葉は、═══ （二重線）でつなぐ。もっと、結びつきが強いと思ったら、三重線、四重線にしてみよう。
※このマップは、自分の頭の中を書き出すものです。他人のものを見ないようにしましょう。

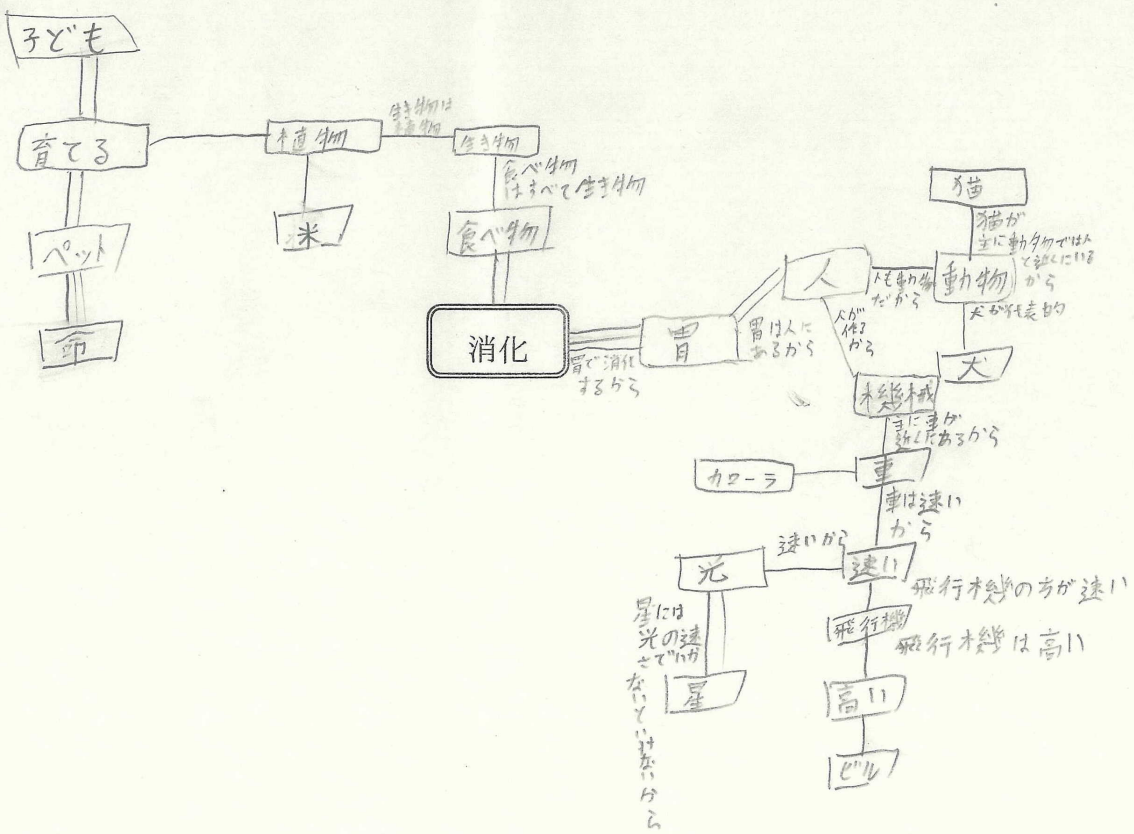


図 4.11　脂肪の消化の実験をしたある生徒の学習前のコンセプトマップ（実物は B4 版）

コンセプトマップを作ってみよう Part2（10月18日）

組　番　名前

課題：「消化」から連想する言葉をつなげてみよう。

○言葉を結びつけている理由を ——— （線）の部分に書く。
○結びつきの強い言葉は、═══ （二重線）でつなぐ。もっと、結びつきが強いと思ったら、三重線、四重線にしてみよう。
※このマップは、自分の頭の中を書き出すものです。他人のものを見ないようにしましょう。

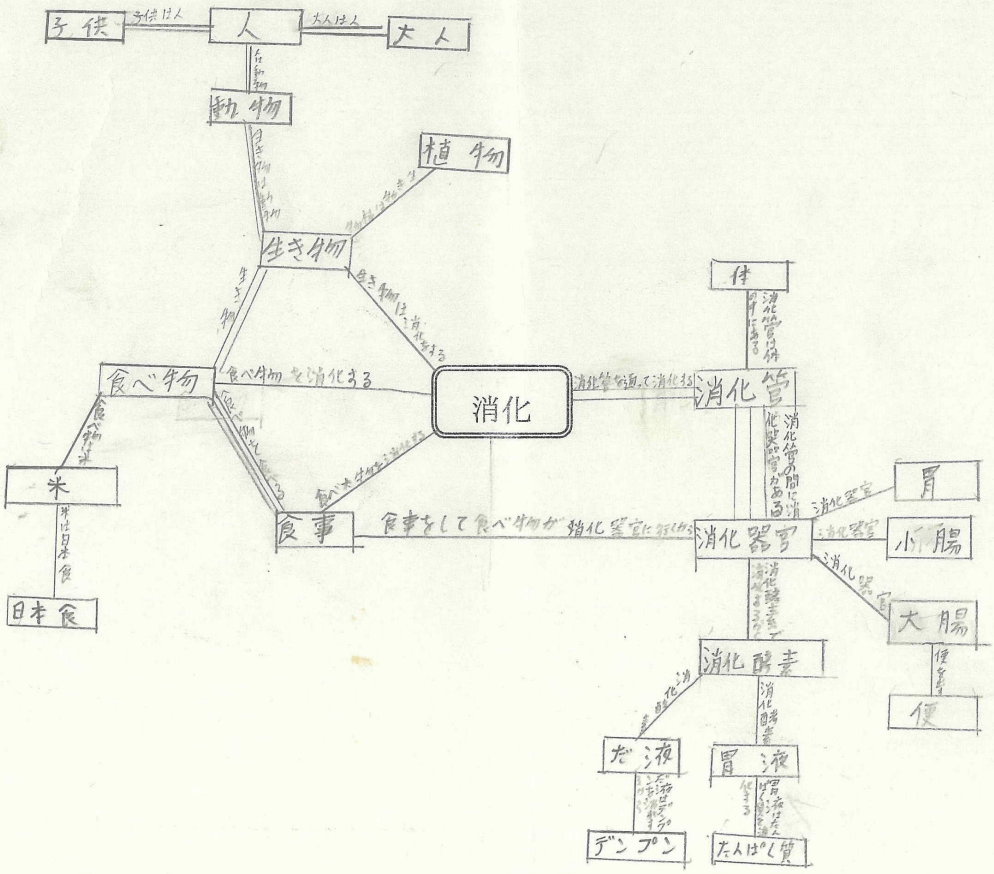


図 4.12　脂肪の消化の実験をしたある生徒の学習後のコンセプトマップ（実物は B4 版）

4.3.4 生徒による授業評価

表 4.7, 4.8 は，この実験教材とそれを取り入れた授業に対する生徒の評価結果と各設問での肯定的な回答と否定的な回答の合計人数を換算し 1×2 直接確率検定（両側検定）[注7]を行った結果である。各設問の回答について「かなりそう思う」を 4 点,「ややそう思う」を 3 点,「あまりそう思わない」を 2 点,「全くそう思わない」を 1 点として平均点を算出したところ，授業の評価の全ての設問で平均点が 3 点を超えた。

表 4.7 実験教材に対する生徒の評価

項目			かなりそう思う（4点）	そう思う（3点）	あまりそう思わない（2点）	全くそう思わない（1点）	無回答・誤記入	平均点	SD	1×2 直接確率検定A（両側検定）	1×2 直接確率検定B（両側検定）
①タンパク質・脂肪の消化実験に興味関心を持つことができた			9	53	13	0	0	2.9	0.54	p=0.0039**	p=0.0000**
内訳	タンパク質	男	3	15	2	0	0	3.1	0.50	p=0.2500	p=0.0004**
		女	2	12	5	0	0	2.8	0.59	p=0.5000	p=0.0635
		計	5	27	7	0	0	2.9	0.55	p=0.0625	p=0.0000**
	脂肪	男	2	12	3	0	0	2.9	0.54	p=0.5000	p=0.0127*
		女	2	14	3	0	0	2.9	0.51	p=0.5000	p=0.0044**
		計	4	26	6	0	0	2.9	0.52	p=0.1250	p=0.0000**
②タンパク質・脂肪の消化実験は意欲的に取り組めると思った			12	48	15	0	0	3.0	0.60	p=0.0004**	p=0.0000**
内訳	タンパク質	男	4	14	2	0	0	3.1	0.54	p=0.1250	p=0.0004**
		女	3	12	4	0	0	2.9	0.60	p=0.2500	p=0.0192*
		計	7	26	6	0	0	3.0	0.58	p=0.0156*	p=0.0000**
	脂肪	男	2	10	5	0	0	2.8	0.62	p=0.5000	p=0.1434
		女	3	12	4	0	0	2.9	0.60	p=0.2500	p=0.0192*
		計	5	22	9	0	0	2.9	0.61	p=0.0625	p=0.0039**
③方法・操作は簡単だと思う			13	33	28	1	0	2.8	0.74	p=0.0018**	p=0.0639
内訳	タンパク質	男	5	6	8	1	0	2.8	0.89	p=0.2187	p=0.8238
		女	1	9	9	0	0	2.6	0.59	p=1.0000	p=1.0000
		計	6	15	17	1	0	2.7	0.76	p=0.1250	p=0.7492
	脂肪	男	3	8	6	0	0	2.8	0.71	p=0.2500	p=0.3323
		女	4	10	5	0	0	2.9	0.69	p=0.1250	p=0.0635
		計	7	18	11	0	0	2.9	0.70	p=0.0156*	p=0.0288*
④この実験からタンパク質や脂肪も消化液によって消化されることが分かった			27	40	7	1	0	3.2	0.67	p=0.0000**	p=0.0000**
内訳	タンパク質	男	10	10	0	0	0	3.5	0.50	p=0.0019**	p=0.0000**
		女	9	7	3	0	0	3.3	0.73	p=0.0039**	p=0.0044**
		計	19	17	3	0	0	3.4	0.63	p=0.0000**	p=0.0000**
	脂肪	男	3	12	2	0	0	3.1	0.54	p=0.2500	p=0.0023**
		女	5	11	2	1	0	3.1	0.76	p=0.2187	p=0.0044**
		計	8	23	4	1	0	3.1	0.66	p=0.0390*	p=0.0000**

N=75; 単位：人; **p<0.01, *p<0.05

1×2直接確率検定（両側検定）Aは「かなりそう思う」と「全くそう思わない」との間の結果

1×2直接確率検定（両側検定）Bは「かなりそう思う」，「そう思う」と「あまりそう思わない」，「全くそう思わない」との間の結果

表 4.8 授業に対する生徒の評価

項目			かなりそう思う（4点）	そう思う（3点）	あまりそう思わない（2点）	全くそう思わない（1点）	無回答・誤記入	平均点	SD	1×2直接確率検定A（両側検定）	1×2直接確率検定B（両側検定）
①この授業に興味・関心を持って取り組むことができた			11	52	12	0	0	3.0	0.55	p=0.0009**	p=0.0000**
内訳	タンパク質	男	6	12	2	0	0	3.2	0.60	p=0.0312*	p=0.0004**
		女	0	15	4	0	0	2.8	0.41	p=2.0000	p=0.0192*
		計	6	27	6	0	0	3.0	0.55	p=0.0312*	p=0.0000**
	脂肪	男	2	12	3	0	0	2.9	0.54	p=0.5000	p=0.0127*
		女	3	13	3	0	0	3.0	0.56	p=0.2500	p=0.0044**
		計	5	25	6	0	0	3.0	0.55	p=0.0625	p=0.0000**
②この授業に意欲的に取り組むことができた			13	52	10	0	0	3.0	0.55	p=0.0002**	p=0.0000**
内訳	タンパク質	男	5	14	1	0	0	3.2	0.51	p=0.0625	p=0.0000**
		女	2	13	4	0	0	2.9	0.55	p=0.5000	p=0.0192*
		計	7	27	5	0	0	3.1	0.55	p=0.0156*	p=0.0000**
	脂肪	男	2	12	3	0	0	2.9	0.54	p=0.5000	p=0.0127*
		女	4	13	2	0	0	3.1	0.55	p=0.1250	p=0.0007**
		計	6	25	5	0	0	3.0	0.55	p=0.0312*	p=0.0000**
③みんなと協力して授業に取り組むことができた			23	47	5	0	0	3.2	0.56	p=0.0000**	p=0.0000**
内訳	タンパク質	男	6	14	0	0	0	3.3	0.46	p=0.0312*	p=0.0000**
		女	3	14	2	0	0	3.1	0.51	p=0.2500	p=0.0007**
		計	9	28	2	0	0	3.2	0.50	p=0.0039**	p=0.0000**
	脂肪	男	6	10	1	0	0	3.3	0.57	p=0.0312*	p=0.0002**
		女	8	9	2	0	0	3.3	0.65	p=0.0078**	p=0.0007**
		計	14	19	3	0	0	3.3	0.62	p=0.0001**	p=0.0000**
④消化液（消化酵素）の働きによって消化が行われることが分かった			26	38	9	1	1	3.2	0.70	p=0.0000**	p=0.0000**
内訳	タンパク質	男	10	10	0	0	0	3.5	0.50	p=0.0019**	p=0.0000**
		女	6	9	3	0	1	3.2	0.69	p=0.0312*	p=0.0075**
		計	16	19	3	0	1	3.3	0.62	p=0.0000**	p=0.0000**
	脂肪	男	4	8	5	0	0	2.9	0.73	p=0.1250	p=0.1434
		女	6	11	1	1	0	3.2	0.74	p=0.1250	p=0.0007**
		計	10	19	6	1	0	3.1	0.74	p=0.0117*	p=0.0003**

N=75;, 単位：人; **p<0.01, *p<0.05

1×2直接確率検定A（両側検定）は「かなりそう思う」と「全くそう思わない」との間の結果

1×2直接確率検定A（両側検定）は「かなりそう思う」，「そう思う」と「あまりそう思わない」，「全くそう思わない」との間の結果

以下に示すように生徒が自由に記述した感想には，実験教材や授業内容について評価する記述だけではなく，この実験教材が人体内を模したものであり，試験管内での現象と生体内での現象とを結びつけた生命科学的な認識の芽生えが確認できるものもあった。

- 消化液を作るのが楽しかった。実験結果を見て,「体の中でこんなはたらきがあって，こうなるのか」ということを初めて知って驚いた。教えてくれる先生も分かりやすく，失敗しないでできた。
- 普段，生活を送っている間に，自分の体の中ですごい化学反応が起こっていると知ってとても驚きました。今，生きていられるのも体の中で養分が分解されているからだと思い,自分の体に感謝しました。人間の体には色々な不思議があるんだな～と感じ，人間について調べてみたくなりました。
- 最初は何でこの実験をするのか分からなかったけど，実際にしたら，自分の体の仕組みが良く分かった。色々な器具を使いながらやってとても楽しかった。この実験はとても考えながらやったので良かった。
- 消化液を入れたものと入れてないもので結果が全然違っていてびっくりした。胃の中にも消化液があるので，もしかしたら，同じようなことが体の中でも起きているのかなと思った。
- この実験では，混ぜ方や温度により，結果が変わってくるなと思った。それを人の体に重ねてみると，同じことが言えるのではないか？と思った。この実験から色々考えることができた。実験では適量を移したりするのが大変だった。少しオーバーすると色が変化して大変だった。でも，機械で液体を混ぜたのは面白かった。
- 脂肪の実験をしました。実験をしてみて，養分を分解するのにたくさんのことをしているんだなと思いました。体の中で知らぬ間に色んなものを混ぜて分解しているのも驚きました。見たことない実験用具に驚きました。体の中がとても複雑に出来ているのはこういう仕組みがいっぱいあるからだと思います。これからもいろんな勉強をして，少しでも自分の体の中で何が起こっているのか知りたいです。
- デンプンとかはやったことあるけどタンパク質は初めてで結構難しかった。タンパク質がアミノ酸になるには消化液と人の体温が必要で，アミノ酸になるには時間が掛かるから食べてすぐにエネルギーにはならないということが分かった。
- 人間の体の中と同じ環境を外でもつくって実際にどのように分解されているか再現できるのはすごいと思いました。タンパク質＋消化薬の液の反応

はいつも藍色で，タンパク質＋水の反応は水色だったことから，消化薬によってタンパク質が分解されてこのような結果が出たのかなと思いました。

- タンパク質が体の中でどのように分解されているのかの実験をして，自分たちで消化液を作ったり，初めて見た液体と混ぜたりして難しかったです。けど，グループのみんなで協力しながら実験をしたのでスムーズにできました。タンパク質は体の中でアミノ酸に変わるということがわかった。機会があれば脂肪もしたいです。
- タンパク質の分解の実験は，名前の難しい薬品を使ったり，たくさんの試験管を使ったりで，いろいろ大変でした。ニンヒドリンとビウレットを間違っていれたりして，何回もやりなおしました。でも，結果が出て，人の体の中でどんなことが起こっているのかを知ったときは，スゴイ！！と思いました。脂肪の実験もやってみたい。

生命科学的な認識の芽生えを顕著に確認できた生徒 10 名の感想

下線部(筆者加筆)は認識の芽生えがあると判断した部分。

表 4.9 は生徒が自由に記述したこれらの感想から「楽しかった」・「難しかった」や「分かった」・「分からなかった」といった肯定的・否定的な表現や興味関心が出現したり消失したりしたことがわかる表現の出現頻度を中心に整理したものである。肯定的な意見としては,「実験が楽しかった」,「消化について興味がもてた(分からないことをもっと知りたくなった)」や「消化のはたらき(仕組み)が理解できた」が多く見られた。一方否定的な意見は,「実験工程の難しさ」が一番多く,「実験の内容や結果，意味が理解できない」がそれに続いた。また「呈色反応で色が変化した理由がよく分かった」という評価があった反面，ニンヒドリン反応やビウレット反応などの呈色反応の仕組みの説明を求める声も見られた。さらに今回の授業実践では時間と器具の都合で一方の実験しか経験しなかったことに対しても不満の声があがった。

表 4.9 自由記述(感想)の結果

◎肯定的意見	件数
・実験が楽しかった	38
・消化について興味がもてた(もっと知りたくなった)	33
・消化のはたらき(仕組み)が理解できた	31
・呈色反応で薬品の色が変化した理由が良くわかった	17
・複数教師による指導が良かった	14
・胃腸薬で消化液がつくれることがわかった	6

◎否定的意見	件数
・実験工程が難しかった	33
・実験の内容や結果，意味が理解できなかった	12
・両方の実験をやりたかった	8
・ニンヒドリン反応やビウレット反応などの仕組みの説明がもっとほしかった	5

N=73，複数回答，整理した回答件数が2以上となったものを提示

4.4 発展的な教材としての中学 2 年　理科「化学変化と原子，分子-物質の成り立ち」の導入教材への適用

ここでは 4.1.3（pp.112-119）で説明した調査の結果について述べる。

4.4.1 実験を導入した授業の詳細

4.4.1.1 「消化と吸収」に関わる学習について

表 4.3（p.113）でも示した通り，5 月中旬から 6 月下旬にかけての「消化と吸収」に関わる学習は 5 時間扱いで行われた。

第 1 時は，歯の形状や頭蓋骨，消化管の違いから，草食動物と肉食動物の違いを調べる学習が進められた。数名の生徒に手をつながせ，その長さから実際の人間の腸の長さを体感させていた。生徒からは「こんな長いものがどうやっておなかにおさまっているのか」，「なぜこんなに長い必要があるのか」という疑問の声があがった。

第 2 時は，「動物は生きていくために何を行っているか」という主発問に対して，「呼吸，食べる，寝る」，「心臓を動かす」，「血液を循環させる」，「病気にかからないようにする」，「運動する」，「消化する」というような解答が出た。その中で，「食べる・消化する」というキーワードに焦点化し，前時の学習内容である動物の歯や消化器官のつくりの違いから「食べる」という事象が動物の種類や生息環境の違いに応じて様々な形態を持っていることを学習した。「歯は何のためにあるのか」という問いかけに対して，「食べ物を小さく細かくすること

で，体の中を通しやすくする」という意見が多数を占めた。消化と吸収に関する詳細な学習をする前段階の時点で，生徒が消化に対して物理的な変化のイメージをもっていることがうかがえる。

また主な消化器官を列挙し,「消化をどこで行っているか」という問いに挙手を求めたところ,「胃」と答えた生徒がいずれのクラスでも約 9 割にのぼり，それ以外の「口」「腸」といったその他の消化器官については半数以下にとどまった。消化が胃で行われると答えた理由に「嘔吐したときに食べたものがドロドロになっていたのを見た」などの意見があった。つまり,「消化＝胃」というイメージが生徒個人の実体験に基づくものであることと推測される。

最後に，食パンをしばらく噛み続けるとどのような変化が起こるかという実験を生徒全員で行った。口当たりや味の違いの質問に対し，ほとんどの生徒が「最初はパサパサして味がないが噛んでいくうちにドロドロになり，甘く感じた」と答えた。

第 3 時は，だ液によるデンプンの消化実験が行われた。実験方法はそれほど複雑ではないものの，手順が理解できていない生徒も複数おり，実験中に授業者へ質問する場面が多く見られた。また,グループによって進み具合も異なり，糖の検出に失敗するグループもあった。さらに，実験で得られた呈色反応の結果が何を示しているのか理解できていない生徒もいた。

実験後，結果からだ液によってどのような変化が起こったのかを全体で確認した。

第 4 時は，前時の実験結果からデンプンの消化前後の変化についての考察ならびに実験における反応温度の意味の確認を行った。ここでは，だ液によってデンプンが糖という別の物質に変化したことを確認し，物理的消化（機械的消化）ではなく化学的消化に焦点化して学習を深めていった。さらに，水を用いての対照実験の意味を説明した。その際「なぜ，だ液との比較対照に水を用いたのか」という授業者の問いに対し,「水は純粋な液体だから」,「加熱しても変化しない液体だから」,「どちらも透明な液体だから」,「デンプン溶液の濃度を合わせるため」等の的外れな意見が多かったが,「だ液にも水分が含まれており，その水分がデンプンを変化させているのか，水分以外の別の成分が変化させているのかを調べるため」といった核心をついた意見も出た。

だ液以外の消化液の種類と働きについては使用していた教科書の模式図[16)]を用いて説明し，それぞれがどの栄養分に働くのか，どの消化器官で分泌されるのかを授業者は板書し，生徒はそれをノートにまとめた。

第 5 時は，牛の胃腸（食材用）の観察を行い，消化された栄養分を効率よく吸収するために消化器官にはどのような工夫がなされているかを学習した。生

徒からは「表面が他の肉に比べてざらざらしている」,「表面が毛みたい」などの意見が出された。それを受けて授業者は，表面積と栄養分の吸収効率についての考察や説明を進めた。

授業の最後では，歯で噛み砕き細かくする物理的消化から，消化酵素によりさらに細かく，吸収しやすくするという化学的な変化を経て，大きな表面積を持つ小腸で効率よく吸収されるという，食べ物が体に入ってから吸収される一連の過程をまとめた。

4.4.1.2 タンパク質と脂肪の消化の実験教材を用いた授業

タンパク質と脂肪の実験教材を取り入れた授業実践は，10 月下旬から 11 月上旬にかけて「化学変化と原子，分子」単元の導入として，3 時間扱いで行った（表 4.3, p.113)。これは，開発した消化の実験教材では反応に 24 時間程度の時間が必要であることと，化学変化の学習の導入として結果の考察の時間を十分にとる必要があると授業者が予想したためである。2 時間目の授業は 4 クラスとも 1 時間目の翌日以降の別な時間帯に実施しており厳密な意味での 24 時間後（同時刻）ではなくクラスによって間の空き方は異なる。2 時間目の呈色反応の実験の際,タンパク質の消化実験試料は 24 時間反応後に 1 時間以上冷却したものを用いた。脂肪の試料は 24 時間以上反応させても問題ないため授業の約 1 時間前に授業者が再撹拌した試料を恒温槽から直接取り出して実験した。3 時間目の授業はその翌週に行われた。表 4.10 はその授業記録である。

1 時間目は，消化の復習として各栄養分の消化後の物質の変化と消化液の種類の確認を行い，実験の目的を確認した。次に，タンパク質消化実験グループ（男子)，脂肪消化実験グループ（女子）に分かれ，実験ワークシートならびに実験手順を書いたラミネート紙（図 4.1A，B，pp.116-117）を見ながら各グループで 24 時間程度反応させる試料を調製した。タグや印をつけたこともあり，実験器具の取り違えによる混乱は生じなかった。ほとんどのグループが試料調製を予想よりも短時間で終え，呈色反応と実験結果を予想し，ワークシートに記入していた。この時，全員にタンパク質，脂肪の両消化実験についての実験結果を予想させることで，両実験における目的を共有できるように配慮した。

2 時間目は，始めに呈色反応で使用する実験器具を説明した。次に，事前に準備しておいたイラストを掲示し，採取する液層の確認とグループでの作業分担を指示するとともに本時の実験の流れを確認した。生徒はラミネート紙（図 4.1C; p.118）を活用し，呈色反応を互いに確認しながら実験した。ここでもあらかじめ実験器具にタグや印をつけたことが功を奏してどの段階でどの実験器具を使用するのかを確認しながら実験しており，大きなトラブルもなく授業は

進んだ。

3 時間目は予想と結果を比較し，これまでに行ってきた実験の内容を再確認した。ここでは，他方のグループが実験し自分たちが体験しなかった実験の結果から，そこで起きている事象を推察・考察し，その内容を発表することで，タンパク質，脂肪の両消化実験の内容を確認していった。即ち，男子が脂肪の実験結果から，女子がタンパク質の実験結果からそれぞれ考察を発表した。生徒は呈色反応の結果を発表し，対照実験の結果と比較し，検出試薬の特性やゼラチン自体を目視確認できないこと，水だけでは基質が消化していないことを根拠に消化液によってタンパク質がアミノ酸に，脂肪がグリセリンに消化されたことを確認していた。さらにこの実験では検出することができない脂肪酸も生成していることをこれまでの学習事項を想起して発言していた。最後に，ワークシートの模式図を用いて消化と分解（化学変化）との関係を確認した。

生徒が実験した１，2 時間目の授業を含めて，この実験教材を取り入れた 3 時間の授業実践は，全て時間延長する事無く予定した内容を各時間内で終了できた。

表 4.10 授業実践記録

学習の流れ	生徒の活動 [タンパク質実験]	生徒の活動 [脂肪実験]	教師の活動・備考
【実践1時間目】			
導入 ・単元の内容説明			
「物質のつくりについて」			身の回りの物質は何からできているか発問
	発問に対して「紙は木から・繊維から，プラスチックは石油から」等の意見を述べる		例 「紙は？プラスチックは？」
			一つの物質は細かく見ていくと二つ以上の物質に分けることができることを確認
展開1 ・消化の復習			
「デンプンは消化されると何に変化したか」	消化後の物質をグループで確認しながら発表「デンプンは糖に変化する」		前期で学習した「デンプンの消化実験で，デンプンは消化後何に変化したか」を発問
	「消化とは細かくして体に吸収しやすくすること」		消化の確認「消化とはどういうはたらきか？」
	グループで話し合い，「消化後はつながっていたものがバラバラになる」ことを確認		栄養素のモデルを用いて消化前と消化後のつくりの変化をグループで考えるよう指示
「三大栄養素の消化後の物質は」	それぞれの消化後の物質を発表		前期で学習した主要栄養素について，栄養素の種類とそれぞれの消化後の物質を質問
			・板書「デンプンは糖に，タンパ質はアミノ酸に，脂肪はグリセリンと脂肪酸にそれぞれ消化される」
実験テーマ発表			デンプンの消化実験における試薬と呈色反応を復習
「タンパク質・脂肪の消化実験」			タンパク質，脂肪の消化後の物質を実験で確認することを発表
・実験結果予想	呈色反応を示したラミネート紙を見ながら，グループで予想を立て，消化前後の物質名と呈色をワークシートに記入		タンパク質，脂肪の実験における呈色反応を示し，それぞれ消化後どのような色の変化が起こるか予想を立てさせる
			・机間指導
実験の班分け			タンパク質消化実験グループ(男子)と脂肪実験グループ(女子)に分かれるよう指示
実験の説明	各実験グループで実験方法の説明を聞く		実験方法を説明する
			ゼラチンがタンパク質であることを肉のスープを例に説明
	1. タンパク質＋人工消化液 （**試験管A**）の試料調製	1. 脂肪＋人工消化液 （**試験管A**）の試料調製	ピペットの使用法の注意
	〔手順〕	〔手順〕	・机間指導
	①2 mLのタンパク質(ゼラチン)が入った目盛り付き試験管に，消化液をピペットで試験管の12 mLの線まで入れる	① ふたつきプラスチック試験管(遠沈管)に脂肪(オリーブ油)をピペットを使って1 mLの線まで入れる	
	② 40℃の温水で温める	② 消化液をピペットで試験管の2 mLの線まで入れ，ふたをして撹拌機で1分間混ぜる	撹拌機に生徒は興味を示す
		③ 試験管を40 ℃の温水で24時間温める	
	2. タンパク質＋水 （**試験管B**）の試料調製	2. 脂肪＋水 （**試験管B**）の試料調製	
	〔手順〕	〔手順〕	
	① 2 mLのタンパク質(ゼラチン)が入った目盛り付き試験管に，純水を試験管の12 mLの線まで入れる	① ふたつきプラスチック試験管(遠沈管)に脂肪(オリーブ油)をピペットを使って1 mLの線まで入れる	
	② 40℃の温水で温める	② 純水を試験管の2 mLの線まで入れ，ふたをして撹拌機で1分間混ぜる	タンパク質の試料は，24時間後，冷蔵庫で冷却
		③ 試験管を40℃の温水で24時間温める	

【実践2時間目】			
展開2 前時の確認	前時のワークシートを見ながら実験目的を確認		前回までの実験で何をしたか実験目的の確認
	ワークシート，実験方法・呈色反応ラミネート紙を見ながら確認		実験工程を掲示し，実験操作の手順を確認
実験開始	試験薬を用いてタンパク質，アミノ酸の有無を調べる	試験薬を用いて，グリセリンの有無を調べる	前回の実験試料を受け取るよう指示
	3.【タンパク質反応】 タンパク質があると青紫～赤紫に変化する	**3.【グリセリン反応】 グリセリンがあると，青～青紫色に変化する**	各グループ，ラミネート紙を活用しながら色の変化を確認しながら進める
	① 前回作成した試験管A（タンパク質+消化液）とB（タンパク質＋水）の上の方の液（液面から1 cm以内）をピペットで取り，それぞれ別の目盛り付き試験管の1 mLの線まで入れる（＊残った試料はアミノ酸反応でも使うので混ぜないようにする）	① 前回作成した試験管A（脂肪＋消化液）とB（脂肪＋水）の二層に分かれた下の方の液をそれぞれパスツールピペットで取り，それぞれ別の遠沈管に0.5 mLの線まで入れる	脂肪の実験サンプルを採取する時に上の層（オリーブ油）が混ざらないようにピペットの最初の部分の液は取り除く
	② ①の試験管それぞれにピペットで ビウレット試薬を試験管の5 mLの線まで加え，色の変化を見る	② ①の遠沈管それぞれにピペットで試薬1（水酸化ナトリウム水溶液＋エタノール）を遠沈管の4 mLの線まで加え，軽く振って混ぜる	
		③ ②の遠沈管それぞれに，試薬2（塩化銅エタノール溶液）をピペットで，全量が4.5 mLになるように0.5 mLはかり取って入れ，ふたをして撹拌機で1～2分間混ぜる	
	4.【アミノ酸反応】 アミノ酸があると青～青紫色に変化する		
	①前回作成した試験管A（タンパク質+消化液）とB（タンパク質＋水）の上のほうの液（液面から1 cm以内）をピペットでそれぞれ別の目盛り付き試験管に6～7滴とり，試験管の2 mLの線まで純水を加える	④ ③の溶液をそれぞれろ過して，ろ液の色を観察する	
	② ①の試験管にそれぞれニンヒドリン試薬を試験管の4 mLの線まで加える		
	③ ニンヒドリン試薬を入れた2本の試験管を沸騰湯浴中で5～10分ほど温めて，色の変化を観察する		ニンヒドリン反応の加熱時のやけどに注意させる
	④ 残った試験管A，Bを傾けてタンパク質（固まったゼラチン）の量を観察する		
	⑤ 試験管Bを湯で1分温め，目盛り付き試験管に1 mLとり，試験管の5 mLの線までビウレット試薬を加え，タンパク質反応を見る		
実験結果記入	各実験グループで出た結果をワークシートに記入し，考察する		実験を終えたグループは結果を記入し，考察するよう指示
【実践3時間目】			
・実験のまとめ			実験ワークシートの結果記入欄を板書し，生徒に結果を発表させる
・実験結果発表，確認	各実験グループの実験結果を発表		
まとめ	他グループ実験の考察		両グループ実験結果から，体験しなかった実験の内容を考察
			・机間指導
	考察の発表		考察内容を確認
	脂肪の消化実験の結果から考えられることを発表	タンパク質の消化実験の結果から考えられることを発表	
	実験のまとめをする		まとめ

4.4.2 生徒のワークシートならびにコンセプトマップの記述

図 4.13, 4.14 は, 脂肪の実験を担当したある女子生徒が書いた授業実践前後（5 月と 10 月下旬～11 月上旬)でのコンセプトマップとそこから消化に関連するラベルだけを抽出して筆者が整理したものである。この生徒のように，学習前には「消化」と直接結びつく概念ラベルが「胃」であったり，他の消化器官と独立して「胃」ラベルを記載したりするケースが多く見られた。このように授業前には,「消化は胃のみで行われる」と理解していたと判断できる記述をした生徒が 74 人（52.9%）いた。

学習後にはこの生徒と同様にほとんどの生徒に「消化器官」というラベルが新たに加わった。学習前では,「消化」と直接的に結びついていた「胃」ラベルが「消化管」や「消化器官」ラベルに置き換わり,「胃」ラベルを書いた生徒でも，そのラベルは口，大腸，小腸と同様に消化器官や消化管とリンクされていった。また消化による各栄養分の分解生成物ラベルの付加も見られ，約 2 割の生徒が主な栄養分（デンプン，タンパク質，脂肪）の消化前後での変化を結び付けていた。

図 4.13 脂肪の実験をしたある女子生徒の授業実践前での
コンセプトマップと関連ラベルだけを書き出したもの（実物は A4 版）

図 4.14 脂肪の実験をしたある女子生徒の授業実践後での
コンセプトマップと関連ラベルだけを書き出したもの（実物は A4 版）

図 4.15, 4.16 は，タンパク質と脂肪の消化の実験をした生徒のワークシートの一例である。タンパク質と脂肪の消化を実験で確認した授業後に提出された生徒のワークシート（N=122）を見ると，全員が実験を通して正しい結果を書き記しており，得られた結果から考察していた。また，消化前後における分子の構造変化を模式的に表すとともに物質名を記載していた。至適温度や生体内での反応を模した実験であることを理解していることがわかる記述も見られた。

タンパク質・脂肪の分解

目的　タンパク質・脂肪がからだの中で、どのように分解されているか実験で確認しよう。
[タンパク質編]

実験方法

☆(1 時間目) A.タンパク質(ゼラチン)と人工消化液、対照実験として B.タンパク質(ゼラチン)と水を混ぜ合わせ、40℃の温水で温める。

1. タンパク質＋人工消化液 (試験管 A とする)
〔手順〕
① タンパク質の入った目盛つき試験管に、消化液をピペットで試験管の目盛 12ml の線まで入れる。
② 40℃の温水で温める。

2.タンパク質＋水 (試験管 B とする)
〔手順〕
① タンパク質の入った目盛つき試験管に、蒸留水を試験管の目盛 12ml の線まで入れる。
② 40℃の温水で温める。
※試験管 A,B とも 24 時間温めた後、冷蔵庫で冷やす。(この作業は教師がします。)

☆(2 時間目) 試験薬を用いてタンパク質、アミノ酸の有無を調べる。

3.【タンパク質反応】 タンパク質があると青紫～赤紫に変化する。
〔手順〕
① 前回作成した試験管試料 A(タンパク質+消化液)と試料 B(タンパク質＋水)の上のほうの液(液面から 1cm以内)をピペットでそれぞれ別の目盛つき試験管に 1mlの線まで取る。(＊残った試料はアミノ酸反応でも使うので混ぜないようにする。)
② ビウレット試薬を①の試験管それぞれ 5mlの線まで加え、色の変化を見る。

4.【アミノ酸反応】 アミノ酸があると青～青紫色に変化する。
〔手順〕
① 前回作成した試験管試料 A(タンパク質+消化液)と B(タンパク質＋水)の上のほうの液(液面から 1cm以内)をピペットでそれぞれ別の目盛つき試験管に 6～7 滴取り、試験管の 2ml の線まで蒸留水を加える。
② ①の試験管にそれぞれニンヒドリン試薬を試験管の 4ml の線まで加える。
③ ニンヒドリン試薬を入れた 2 本の試験管をお湯入りビーカーのなかで 5～10 分ほど温めて、色の変化を観察する。※やけどに注意！
④ 残った試料 A,B の試験管を傾けてタンパク質(固まったゼラチン)の量を観察する。
⑤ 試験管 B をお湯で 1 分温め、試験管に 1ml取り、ビウレット試薬を 5ml 加えタンパク質反応を見る。

実験結果予想　混ぜた直後と 24 時間後ではどのような物質の変化があるだろうか。また24時間後、それぞれの反応でどのような色の変化が起こるか予想を立てよう。

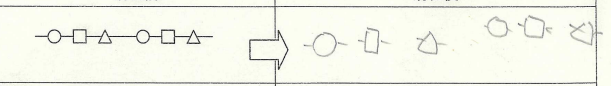
	直後	24 時間後		
			タンパク質反応	アミノ酸反応
試験管 A タンパク質＋消化液	タンパク質	アミノ酸	うす紫	青紫
試験管 B タンパク質＋水	タンパク質	タンパク質	青紫	

実験結果

	タンパク質反応	アミノ酸反応	残ったタンパク質の量
試験管 A タンパク質＋消化液	青	青紫	(ゼラチン) なし
試験管 B タンパク質＋水	青紫	無色	(ゼラチン) あり
お湯で温めた 試験管 B	〃		

考察

1. 反応後のタンパク質＋消化液の試験管 A にはどんな物質が入っていると考えられますか？
アミノ酸が入っている。　アミノ酸反応⇒青紫⇒アミノ酸あり。
理由　タンパク質反応⇒青⇒タンパク質なし。
2. 反応後のタンパク質+水の試験管 B にはどんな物質が入っていると考えられますか？
タンパク質
タンパク質反応で青紫になったから。消化されてない
3. この実験から、タンパク質はヒトの体のなかでどのように変化すると考えられますか？図を書いて表現しよう。

	消化前	消化後
模式図		
物質名	タンパク質	アミノ酸

4. 1 時間目の実験で、試験管を40℃に温めた理由を考えてみよう。
消化酵素が最も活発にはたらく温度が人間の体温に近い40℃なので、40℃に設定した。



図 4.15　タンパク質の消化の実験をしたある男子生徒が記入したワークシート(実物は A3 版)

[脂肪編]

実験方法

☆(1 時間目) A 脂肪と人工消化液、対照実験として B.脂肪と水を混ぜ合わせ、40℃の温水で温める。

1. 脂肪＋人工消化液 (試験管 A とする)

〔手順〕

① ふたつきプラスチック試験管に脂肪(オリーブオイル)をピペットを使って 1ml の線まで入れる。
② 消化液をピペットで試験管の 2ml の線まで入れ、ふたをして撹拌器で 1 分間混ぜる。
③ 試験管を 40℃の温水で 24 時間温める。

2. 脂肪＋水 (試験管 B とする)

〔手順〕

① ふたつきプラスチック試験管に脂肪(オリーブオイル)をピペットを使って 1ml の線まで入れる。
② 蒸留水を試験管の 2ml の線まで入れ、ふたをして撹拌器で 1 分間混ぜる。
③ 試験管を 40℃の温水で 24 時間温める。

☆(2 時間目) 試験薬を用いて、グリセリンの有無を調べる。

3.【グリセリン反応】 グリセリンがあると、青～青紫色に変化する。

〔手順〕

① 前回作成した試験管試料 A(脂肪＋消化液)と試料 B(脂肪＋水)の二層に分かれた下の方の液をそれぞれピペットで取り、別々のプラスチック試験管に 0.5ml の線まで入れる。(※上の層が混ざらないようにピペットの最初の部分の液は取り除く。)
② はかり取った試験管それぞれにピペットで試薬1(水酸化ナトリウム＋エタノール)を試験管の目盛4ml まで加え、軽く振って混ぜる。
③ ②の試験管それぞれに、試薬2(塩化銅エタノール)をピペットで 0.5ml はかり取って入れ、ふたをして撹拌器で 1 分間混ぜる。
④ ③の試験管をそれぞれろ過して、ろ液の色を観察する。

実験結果予想 混ぜた直後と 24 時間後ではどのような物質の変化があるだろうか。また24時間後、グリセリン反応でどのような色の変化が起こるか予想を立てよう。

	グリセリン反応		
	直後	24 時間後	色
試験管 A 脂肪＋消化液		脂肪酸＋グリセリン	青～青紫
試験管 B 脂肪＋水		脂肪	無色

実験結果

	ろ液の色
試験管 A 脂肪＋消化液	青 (理由:グリセリンが入ってるから!,青くなった!! (グリセリンは脂肪に消化液を入れた方が出た))
試験管 B 脂肪＋水	無色 (理由:グリセリンが入ってないから!無色!)

※脂肪が分解されてグリセリンになると、グリセリン反応で「青」になる。

考察

1. 反応後の脂肪＋消化液の試験管には、どんな物質が入っていると考えられますか？

(グリセリン反応→青)

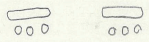
グリセリン! と脂肪酸。

2. この実験では観察することはできないが、脂肪が分解されてできる物質は何か？

脂肪酸!!

分解! 化学変化の1つ ある物質が2つ以上の異なる物質に変化すること

3. この実験から、脂肪はヒトの体の中でどのように変化すると考えられますか？図を用いて表現しよう。

	消化前	消化後
模式図		
物質名	脂肪	グリセリン と 脂肪酸

4. 1 時間目の実験で、試験管を 40℃に温めた理由を考えてみよう。

人の体温と同じくらいの温度を保つため!!



図 4.16 脂肪の消化の実験をしたある女子生徒が記入したワークシート(実物は A3 版)

4.4.3 生徒の評価から

表 4.11 はタンパク質と脂肪の消化に関する実験教材に対する生徒の評価と各設問における肯定的な回答と否定的な回答の合計人数を換算し 1×2 直接確率検定（両側検定）を行った結果，表 4.12 はこの実験教材を取り入れた授業についての生徒の評価の結果と各設問における肯定的な回答と否定的な回答の合計人数を換算し 1×2 直接確率検定（両側検定）を行った結果をそれぞれ示したものである。各設問の回答について「かなりそう思う」を 4 点,「ややそう思う」を 3 点,「あまりそう思わない」を 2 点,「全くそう思わない」を 1 点として平均点を算出したところ,「実験方法・操作の簡便さ」と,「消化単元でこの実験をやりたかった」の 2 項目以外では平均が 3 点を超えていた。

表 4.13 は，生徒の自由記述の結果を整理したものである。ラミネート加工した実験方法を記したプリントが役立ったという評価が最も多く寄せられた。ボルテックスミキサーのように生徒の普段の理科の実験では使用しない器具も用いた実験教材そのものが興味を喚起しており,「いろいろな実験器具が使えてよかった」と肯定的に評価していた。今回の実践そのものを総合的に判断した形での「面白かった，楽しかった」,「興味がもてた」という情意的側面の感想や個別具体的な指摘をしない総括的な形での「理解しやすかった」という感想も多かったが,「『消化』が化学変化のひとつだとわかった」と具体的に回答した者も 4 名いた。

表 4.11 実験教材に対する生徒の評価

	項目	かなりそう思う（4点）	そう思う（3点）	あまりそう思わない（2点）	全くそう思わない（1点）	無回答・誤記入	平均値	SD	1×2 直接確率検定（両側検定）
	タンパク質・脂肪の消化実験に興味・関心をもつことができた								
①	タンパク質	28	30	12	5	1	3.1	0.89	p=0.0000**
	脂肪	19	40	12	4	0	3.0	0.79	p=0.0000**
	計	47	70	24	9	1	3.0	0.84	p=0.0000**
	タンパク質・脂肪の消化実験に意欲的に取り組むことができた								
②	タンパク質	26	36	9	4	1	3.1	0.82	p=0.0000**
	脂肪	21	44	7	2	1	3.1	0.68	p=0.0000**
	計	47	80	16	6	2	3.1	0.75	p=0.0000**
	実験方法・操作は簡単だった								
③	タンパク質	20	35	13	8	0	2.9	0.92	p=0.0001**
	脂肪	16	30	25	4	0	2.8	0.84	p=0.0639
	計	36	65	38	12	0	2.8	0.88	p=0.0000**
	教師による実験方法の説明はわかりやすかった								
④	タンパク質	26	37	7	6	0	3.1	0.86	p=0.0000**
	脂肪	20	40	12	3	0	3.0	0.77	p=0.0000**
	計	46	77	19	9	0	3.1	0.82	p=0.0000**
	実験方法や反応の色を書いたラミネート紙は役に立った								
⑤	タンパク質	36	29	7	3	1	3.3	0.80	p=0.0000**
	脂肪	31	34	9	1	0	3.3	0.72	p=0.0000**
	計	67	63	16	4	1	3.3	0.76	p=0.0000**
	この実験からタンパク質や脂肪も消化液によって消化されることがわかった								
⑥	タンパク質	40	29	4	2	1	3.4	0.72	p=0.0000**
	脂肪	42	28	4	1	0	3.5	0.66	p=0.0000**
	計	82	57	8	3	1	3.5	0.69	p=0.0000**
	1学期の「消化」の単元でこの実験をやりたかった								
⑦	タンパク質	16	31	22	7	0	2.7	0.89	p=0.0504
	脂肪	15	37	18	5	0	2.8	0.82	p=0.0010**
	計	31	68	40	12	0	2.8	0.86	p=0.0001**
	タンパク質と脂肪の両方の消化の実験をやりたかった								
⑧	タンパク質	29	29	13	5	0	3.1	0.90	p=0.0000**
	脂肪	25	26	18	6	0	2.9	0.94	p=0.0024**
	計	54	55	31	11	0	3.0	0.92	p=0.0000**

N=151; 単位：人; **p<0.01, 1×2直接確率検定は「かなりそう思う」「そう思う」と「あまりそう思わない」「全くそう思わない」の合計人数を換算し算出

表 4.12 授業に対する生徒の評価

	項目	かなりそう思う（4点）	そう思う（3点）	あまりそう思わない（2点）	全くそう思わない（1点）	無回答・誤記入	平均値	SD	1×2 直接確率検定（両側検定）
	この授業に興味・関心をもって取り組むことができた								
①	タンパク質	21	39	11	5	0	3.0	0.83	p=0.0000**
	脂肪	15	46	10	4	0	3.0	0.74	p=0.0000**
	計	36	85	21	9	0	3.0	0.78	p=0.0000**
	この授業の意欲的に取り組むことができた								
②	タンパク質	25	39	7	5	0	3.1	0.82	p=0.0000**
	脂肪	16	47	10	2	0	3.0	0.67	p=0.0000**
	計	41	86	17	7	0	3.0	0.75	p=0.0000**
	みんなと協力して授業に取り組むことができた								
③	タンパク質	37	30	8	1	0	3.4	0.72	p=0.0000**
	脂肪	28	39	7	1	0	3.3	0.68	p=0.0000**
	計	65	69	15	2	0	3.3	0.70	p=0.0000**
	消化液（消化酵素）のはたらきによって消化が行われることがわかった								
④	タンパク質	35	37	2	2	0	3.4	0.67	p=0.0000**
	脂肪	38	31	4	1	1	3.4	0.66	p=0.0000**
	計	73	68	6	3	1	3.4	0.66	p=0.0000**
	「消化」単元の復習に役立った								
⑤	タンパク質	24	40	7	5	0	3.1	0.81	p=0.0000**
	脂肪	17	45	12	1	0	3.0	0.66	p=0.0000**
	計	41	85	19	6	0	3.1	0.74	p=0.0000**
	「消化」が化学変化のひとつであることを理解できた								
⑥	タンパク質	26	32	15	3	0	3.1	0.83	p=0.0000**
	脂肪	21	37	13	3	1	3.0	0.79	p=0.0000**
	計	47	69	28	6	1	3.0	0.81	p=0.0000**

N=151; 単位：人; **p<0.01, 1×2直接確率検定は「かなりそう思う」「そう思う」と「あまりそう思わない」「全くそう思わない」の合計人数を換算し算出

表 4.13 自由記述の結果

【肯定的意見】	件数
・ラミネート紙が役に立った	19
・「消化」についての理解が深まった	15
・「消化」を体験的に理解できた	14
・面白かった，楽しかった	13
・丁寧な指導が良かった	10
・実験がスムーズにできた	10
・「消化」の復習ができてよかった	7
・理解しやすかった	7
・みんなで協力して実験・考察できた	7
・いろんな実験器具が使えてよかった	7
・結果がちゃんと出た	6
・「消化」が化学変化のひとつだとわかった	4
・興味がもてた	4
・男女で分かれて実験できたのが良かった	3
・タンパク質実験と脂肪実験に分けてやったところが良かった	3
・実施時期が良かった	3

【否定的意見】	件数
・タンパク質消化実験，脂肪消化実験の両方をやりたかった	18
・実験が複雑で難しい	17
・理解するのが難しい	10
・実験の説明がわからなかった	7
・もう一方の消化実験の内容がわからない	4
・進む速さがはやい	3
・実験の時期が良くない（消化の単元でやりたかった）	3

N=151; 複数回答; 整理した回答件数が2以上となったものを提示

4.5 考察・結論

4.5.1 中学生サイエンスサマーキャンプの実践についての考察・結論

そもそも開発した実験教材を取り入れて教育活動を行うには約 1 日の反応時間を挟む 2 日日程で行う必要がある。中学生サイエンスサマーキャンプでの試行実践は，通常の中学校の理科の授業に換算して 2〜3 時間分に相当する時間を 2 日連続で設定する形で実施した。この企画は他の機会では行えないことを「理科に興味があり観察・実験が好きな中学生」が体験するものであるため，ゼラチンの準備と呈色反応用の 3 種類の試薬の調製以外の全ての実験作業を参加した中学生が行った。1 日目はあまり顔見知りがいない状況でのスタートとなり，

人工消化液の調製は全員で協力して実施したが，それ以降の消化用のサンプル調製までの一連の作業は全て参加者が独力で実験した。時間が経つにつれ班員相互で作業を協力したり，質問したり教えあったりしながら実験を進める様子も生まれてきた。反応開始までの調製作業時間として 2 時間 30 分を見積もっていたが，予定通りに終了した。2 日目は対照となる反応開始時のサンプルの調製から呈色反応までを 1 日目と同様に参加者が独力で行った。こちらも予定した時間内で終了し，自然発生的に新しくできた友達同士で実験の結果を比較しながら考察する姿が見られた。駒込ピペットを用いて溶液を一定量採取する場面で生徒達は手間取っていたものの，それ以外の実験操作は滞りなく進んだ。実験の授業にありがちな時間内に終了できないということはなく，予定通りのスケジュールで余裕をもって実施できた。このことから理科に興味があり観察・実験が好きな中学生に対する実践ではあったものの，十分な時間的余裕と一人に実験器具を一式与えれば，消化によるタンパク質と脂肪の分解生成物を確認する実験教材は，中学生程度の観察実験技能で実施可能なものだと判断できる。

また，実験中の参加者からの歓声や表情から，自分一人の力で実験できたことが理科好きな生徒や当該分野に関心のある生徒の興味をより一層喚起したと判断できる。実験内容の「面白さ」と「わかりやすさ」に対する回答の全体の平均点は「面白さ」が 4.9 点,「わかりやすさ」が 4.3 点であった(表 4.4, p.122)。この両方の項目で「少し悪い」「悪い」という否定的回答をした生徒はわずか 1 名だった。この 1 名の生徒は中学 1 年生であり，ヒトの消化についての学習が未履修であることが影響していると推察できる。言い換えれば，中学 2 年生以上の参加者全員がタンパク質と脂肪の消化に関する実験を「面白い」と判断し，95%に相当する 18 人は「わかりやすさ」にも肯定的な評価をした。また,「良い」「少し良い」を肯定的な回答,「少し悪い」「悪い」を否定的な回答としてまとめ，合計人数を換算し 1×2 直接確率検定（両側検定）で男女別に分析したところ，男子では面白さとわかりやすさの双方で有意に肯定的な結果が得られたが（$p<0.001$），女子では共に得られなかった（$p=0.125>0.1$）。しかしながら，女子に関しては明らかに人数が少ないために有意差が見られなかったのであり，男女合計した全体として分析すると，面白さとわかりやすさの双方で有意に肯定的な結果が得られた（$p<0.000$）。同じ中学校から参加していても知人や友人を連れ立って参加したわけでもなく，あまり顔見知りがいない状況で実験班が編成されたにもかかわらず，いつのまにか自然発生的に仲間ができ，作業を協力したり質問したり教えあったりしならが実験できたことや新しくできた友達同士で実験結果を比較していたことも,この実践が「おもしろくわかりやすい」

と評価されたことの傍証となる。特に中学 2 年生以上の生徒全員が「面白い」と判断し，その大多数が「わかりやすい」と評価したことは，「消化酵素を含む消化液のはたらきでタンパク質がアミノ酸に分解され，脂肪が分解されるとグリセリンが生じる」という学校で学んだことが「本当にそうなんだ」と実験で確認できたことが強く影響していると思われる。つまりこの実験教材は中学 2 年生がタンパク質や脂肪の消化に関する学習内容を理解する上で有効だと判断できる。「一番印象に残った活動」としてこの実践を答えた生徒が 7 名とサイエンスサマーキャンプで実施した他の個別具体的活動よりも多かったことからも，開発した実験教材を用いた実践は参加した生徒に印象深く残ったものであったと判断できる。

4.5.2 「動物の生活と種類-動物の体のつくりとはたらき」での実践についての考察・結論

中学生サイエンスサマーキャンプの中でのタンパク質・脂肪の消化によるアミノ酸とグリセリンの検出実験の実践や事後アンケートの結果から，消化によるタンパク質と脂肪の分解生成物を確認する実験教材は，理科好きな生徒や当該分野に関心のある生徒が，新しい友達と実験結果を比較し合ったりしながら実験していたことから興味をより一層喚起し，学習内容を理解する上で有効な実験教材になりうると判断できた。また，時間的余裕があれば中学生程度の観察実験技能で実験準備を含めて実施可能なものだと判断できる。しかしこの実践は参加者募集型事業であり，「理科が好きな子」や「理科に対して高い興味や関心を示す子」を対象にしたものである。また，実験そのものも比較的設備が整っている大学で行った。実際の中学校での授業（教師 1 人で最大 40 名を相手に理科室もしくは普通教室で行う理科の授業）は，今回のサイエンスキャンプと異なり授業時間や学習環境に制約があるだけでなく，学習者の意欲や能力にも差があることを意識しなければならない。ただ単に授業プランを提示するだけでなく，本実験教材を取り入れた実践を行い，その実践の検証を通して実践上の問題点を解決していくことも求められる。そこで，こうした制約がある実際の中学校第 2 学年の理科「動物の体のつくりと働き」単元で，タンパク質と脂肪の消化の実験教材を用いた授業実践を行い，その成果や課題・実践のために配慮すべき事項を検証した。

2006 年 9 月中旬から 10 月上旬にかけて R 大学 K 学部 F 中学校の 2 年生 4 クラスの内，常勤教諭が担当する 2 クラスを対象に行った第 2 分野「動物の生活と種類」の「動物の体のつくりと働き」の「消化と吸収」に関する小単元（5 時間扱い）で行った授業実践では，F 中学校の事情を配慮しデンプンの消化実

験を教育実習生が行い，その後のタンパク質と脂肪の消化実験に関する授業を正規の担当者であるＦ中学校の常勤教諭が行った。彼は，消化酵素の働きでタンパク質や脂肪が別な物質になることを，実験を通して確かめる形で授業を構成し，開発した実験教材を用いた授業を連続する 2 日間で行った（表 4.5, pp.125-126)。

実験は器具の都合もあり班で行うこととなったが，全体的に作業を協力して積極的に取り組んでおり，どの班も実験を成功させていた。遠心分離機ではなくろ紙を用いて一連の分離作業を行ったが，人工消化液の調製から反応生成物の検出と結果の整理を目指した 2 回の授業はいずれも終了時間の 5 分前には後片付けまでを含めて実験が終わっており,授業展開に余裕があった。実験では，マグネティックスターラーとボルテックスミキサーといった生徒にとって見慣れない機器を用いて実験したが，図 4.7（p.132）に示した生徒のワークシートにはその実験内容が記載されており,新鮮で印象的であったことが示唆された。授業中の呈色反応の確認では色の表現方法から「色がついていない」＝「透明」と誤った理解をしていたと判断できる生徒がほとんどであったが，表 4.6（p.134）が示すように 4 時間目の授業後に提出された生徒のワークシート（N=53）の 9 割には，実験結果である呈色の変化が記録されていた。約 7 割の生徒は「タンパク質がアミノ酸」に,「脂肪がグリセリン」に分解されたことを実験結果から導き出せていたが，残念ながら 11 名の生徒が「タンパク質が筋肉になる」や「脂肪が脂肪酸になる」のようにこの実験の結果からは推測できないことをワークシートに記入したり,「脂肪が分解された」というように何に変化したのかを具体的に明示できなかったり,「タンパク質が糖に変化する」,「脂肪がアミノ酸に変化する」といった誤った考察を導き出したりしていた。このような考察力に関する問題が今回の実験教材に起因するものなのか，それとも当該生徒の考察力や学力に起因するのかの判断はこの結果からはできない。さらに開発した実験教材を用いた授業では，生徒は「タンパク質と脂肪の消化実験に意欲的に参加し，実験結果から消化酵素のはたらきによりタンパク質がアミノ酸に，脂肪が脂肪酸とグリセリンに変化して体内に吸収されることを理解できたか」を行動観察やワークシートの記述から評価された。図 4.6 (p.131)，4.7 (p.132)，4.8 (p.133) で例示した生徒のワークシートには，授業者が評語を用いて評価を記入していた。この評価の意味を分析することで，生徒の実態をより客観性のある形で分析できる。しかし，非常勤講師が授業したクラスを含めて授業の構成を授業者に一任し，個々の生徒の評価も筆者が介入せず授業者が筆者と相談なく日常的に行っている形で実施した。そのため，各ワークシートに記載されている評語が示す到達度（評価基準）が不明で，今回はこれ以

上の分析ができなかった。

しかし，図 4.6（p.131），4.7（p.132）に示したワークシートの考察での試験管を 40℃という一定温度で温めた理由を解答する欄の記載内容から，この実験が「至適温度や生体内での反応を模した実験」であることが理解されていた。図 4.8（p.133）に示したワークシートのように 5 時間目の授業後に提出された全員のワークシートのまとめの欄には，消化によってブドウ糖・アミノ酸・脂肪酸とグリセリンというより小さい分子に分解されることが記述されていた。これらのことをあわせて一連の授業を通して 7 割の生徒が実験結果から科学的に正しい考察を導き出せていたことは学習者の意欲や能力にも差がある中での実践として概ね満足できる結果だったと評価できる。

そもそも図 4.9（p.136），4.11（p.138）が示すように約半数の生徒は，第 2 章で述べたように小学校段階でだ液によるデンプンの消化を学習しているにもかかわらず，この単元の学習前の段階では「消化」と「胃」が直結されていた。このように消化が「胃」で行われていると一連の学習前段階で認識していると思われることがコンセプトマップの記述から明らかである。しかし学習後には「消化器官」，「消化液」，「消化酵素」ラベルが追加され，学習前からあったラベルとのつながりが見られるようになり，消化器官から消化液が出され，食べ物を分解していくという消化のしくみを理解し，習得した知識をまとめていったことが推察できる。

表 4.14 は，より客観的に詳しく分析するために視点を定めて学習前後におけるコンセプトマップの記述状況の変化を整理したものである。学習後には胃や胃液以外の消化器官や消化液も消化に関与していることも書かれるようになり，胃以外の消化器官に関する記述が見られなかったり弱かったりした生徒の割合が実践前の約半分に減少した。記述の有無別の人数で $2\times2\chi^2$ 検定[注 8]を行った結果，全体，各実験別のいずれも「消化が胃のみで行われている」という認識が見られた者は，学習前より有意に減少した（全体 $\chi^2(1)=12.69$, $p=0.004<0.01$；タンパク質実験群 $\chi^2(1)=6.478$, $p=0.0109<0.05$；脂肪実験群 $\chi^2(1)=6.227$, $p=0.0126<0.05$）。これは，実践を通して「消化は胃だけで行われていない」という認識に変化しており，ここに学びが見られたことを意味する。学習後では，食べ物がただ細かくなることだけが消化ではなく，消化液中の消化酵素の作用で食べ物が別な物質へ分解される変化であるというように消化の意味のとらえ方に変化が見られたことが約 4 割の生徒で確認できた。消化酵素名を具体的に記載し，消化液中の消化酵素に基質特異性があり，特定の物質にだけ作用することなど消化液の働きについての理解が読み取れる記述も学習前では見られなかったが学習後には 6 割以上の生徒に見られた。しかし，デ

ンプンがブドウ糖に，タンパク質がアミノ酸に，脂肪が脂肪酸とグリセリンに分解されるというような消化の前後での各栄養分の変化を学習後に具体的に記述した人数は少なく,脂肪については全体でも 5 名しか記述が見られなかった。栄養分が小腸で吸収されることを授業後のコンセプトマップに明記した生徒は約 3 割であったが，吸収された栄養分が全身へ行き渡り使われていくという吸収後の行方については 5 割以上の生徒が書いていた。これは 5 時間目に行った調べ学習の成果が相乗的に作用した結果であると思われる。これら視点毎の記述の変化に関して記述の有無別の人数で $2\times2\chi^2$ 検定を行ったが，実験の種類の違いによる有意差は見られなかった（$p>0.1$）。

表 4.14 学習前後におけるコンセプトマップの記述の変化の傾向

		消化が胃のみで行われると理解している者		学習の前後で消化の意味のとらえ方に変化が見られた者	学習後に栄養分の消化前後のつながり(例 デンプン→ブドウ糖)を書いた者			学習後に		
		学習前	学習後		デンプン	タンパク質	脂肪	消化液のはたらきを理解した者	栄養分が吸収されることを書いた者	栄養分の吸収後の行方を書いた者
	回答者/人 (N=73)	39	18	28	10	10	5	46	23	43
	割合/%	53.4	24.7	38.4	13.7	13.7	6.85	63.0	31.5	58.9
内訳	タンパク質/人 (N=39)	21	10	16	6	6	3	24	13	23
内訳	割合/%	53.8	25.6	41.0	15.4	15.4	7.69	61.5	33.3	59.0
内訳	脂肪/人 (N=34)	18	8	12	4	4	2	22	10	20
内訳	割合/%	52.9	23.5	35.3	11.8	11.8	5.88	64.7	29.4	58.8
実験種類の違いによるχ^2検定の結果(該当者数と非該当者数との2×2χ2検定)										
	χ^2値	0.005	0.043	0.252	0.201	0.201	0.093	0.078	0.129	0.000
	p	0.9436	0.8357	0.6157	0.6539	0.6539	0.7604	0.7800	0.7195	1.0000

一方，今回実践の対象としていない２クラスは非常勤講師が担当しているクラスである。そこで，実践の有無がこの単元（とりわけ知識理解に関して）の学習にどう影響するかを検証するために，実施前後の当該単元の既習事項と学習事項の確認テスト（付録 4，5，pp.219-220）を行い，実験を取り入れた授業を経験していない生徒（非常勤講師が担当しているクラスの生徒）を統制群として比較した。表 4.15 は，既習事項から出題した事前確認テスト（小学校 6 年生での学習内容，50 点満点（付録 4，p.219)）の平均点の結果である。Mann-Whitney の U 検定[注 9]の結果から実験教材を取り入れた実践をした２クラス（実験群）と，非常勤講師が担当した２クラス（統制群）のとの間には，有意差は見られなかった（p=0.9172>0.05)。実験の有無・種類×性別の 2 要因被験者間分散分析[注 10]の結果からも実践前の段階では，前提となる学習内容の理解度について実験群と統制群の間には性差，実験の有無及び種類の差ならびにそれらの交互作用によるグループ間での有意差が見られなかった（性別の $F_{(1, 144)}$=1.05，p=0.3072>0.05，実験の有無や種類の差の $F_{(2, 144)}$=0.91，p=0.4048>0.05，性別×実験の有無・種類の差の交互作用の $F_{(2, 144)}$=0.04，p=0.9608>0.05)。すなわち常勤教諭が担当している今回の実験教材を取り入れた授業実践をしたクラスと非常勤講師が担当しているクラスには少なくとも小学校段階で学習した知識理解面での有意な差はないと判断できる。しかし，標準偏差(SD)が大きいことから生徒の得点のばらつきが大きく，このようなテストで測定できる学力格差が実験群，統制群の両方に存在していることが推察できる。

表 4.15 事前確認テストの平均点

	実験群（平均点±SD）			統制群（平均点±SD）
	タンパク質	脂肪	実験群全体	
全体	39.1±8.44 (N=37)	36.5±8.86 (N=36)	37.8±8.74 (N=73)	37.6±8.93 (N=77)
男性	39.7±8.63 (N=18)	37.6±9.84 (N=18)	38.6±9.31 (N＝36)	38.3±9.06 (N=37)
女性	38.5±8.22 (N=19)	35.4±7.59 (N=18)	37.0±8.07 (N=37)	37.0±8.75 (N=40)

表 4.16 は，一連の実践後に学習内容から出題した事後確認テスト（中学校 2 年生での学習内容，50 点満点（付録 5，p.220)）の平均点の結果である。この結果でも標準偏差(SD)が大きいことから生徒の得点のばらつきは今回の実践で

縮まることはなく，このようなテストで測定できる学力格差の存在が推察できる。Mann-Whitney の U 検定の結果，実験群のほうが統制群よりも平均点が有意に低い結果となった（p=0.0027<0.01)。実験の有無・種類×性別の 2 要因被験者間分散分析の結果でも，実験の有無及び種類の違いの主効果に有意差が見られた（$F_{(2,\ 150)}$=5.82，p=0.0037）が，性差ならびにそれらの交互作用による有意差は見られなかった（性別の $F_{(1,\ 150)}$=1.99，p=0.1604>0.05，実験の有無・種類の差×性差の交互作用 $F_{(2,\ 150)}$=0.96，p=0.3852>0.05)。特に，脂肪の消化実験を体験した生徒の平均点が統制群よりも有意に低い結果を示した（Mann-Whitney の U 検定の結果 p=0.0014<0.01)。今回は教育実習の期間中での実践ということもあり，タンパク質と脂肪の実験教材を導入した授業実践の有無だけでなく，実験群のこの単元における毎時間での授業者（常勤教諭と教育実習生）の指導法の差，さらには非常勤講師との差（どの教師がどのような子どもにどのような関係性を構築した上でどのような状態のクラスに実施したのか）を無視して議論することができない。すなわち平均点の差の要因が実験教材を導入した授業に起因するのかを簡単に判断できない。そこで，導入した実験教材による授業実践と直接的に関係する大問 1 の(5)「消化によるデンプン，タンパク質，脂肪の分解最終生成物」の記述解答状況に関してだけ詳しく比較した。その結果，デンプンがブドウ糖に変化する問題の正答者数では実験群が 39 名に対して統制群が 56 名となり，実験群と統制群の正解者と不正解者の人数に対して 2×2 直接確率検定（両側検定）[注 11] をした結果，有意差が認められた（表 4.17)。

表 4.16 事後確認テストの平均点

	実験群(平均点±SD)			統制群
	タンパク質	脂肪	実験群全体	(平均点±SD)
全体	26.3±10.7 (N=39)	21.6±12.7 (N=38)	24.0±12.0 (N=77)	29.7±11.0 (N=79)
男性	27.6±10.3 (N=21)	24.6±12.0 (N=19)	26.2±11.2 (N＝40)	29.4±12.5 (N=39)
女性	24.8±11.0 (N=18)	18.6±12.7 (N=19)	21.6±12.2 (N=37)	30.1±9.34 (N=40)

表 4.17 消化による分解生成物の記述問題の正答者数・正答率

		デンプン→ブドウ糖	タンパク質→アミノ酸	脂肪→脂肪酸＋グリセリン 脂肪酸	グリセリン	完全解答
実験群全体 (N=77)	正答者数/人	39	46	27	44	24
	正答率/%	50.6	59.7	35.1	57.1	31.2
	p	0.0136*	0.1283	0.1072	0.7450	0.0721
実験別内訳 タンパク質 (N=39)	正答者数/人	22	27	17	24	16
	正答率/%	56.4	69.2	43.6	61.5	41.0
	p	0.1486	0.8296	0.6976	1.0000	0.6962
実験別内訳 脂肪 (N=38)	正答者数/人	17	19	10	20	8
	正答率/%	44.7	50.0	26.3	52.6	21.1
	p	0.0082**	0.0235*	0.0285*	0.4294	0.0140*
統制群 (N=79)	正答者数/人	56	57	38	48	36
	正答率/%	70.9	72.2	48.1	60.8	45.6

**$p<0.01$, *$p<0.05$
*p*値は2×2直接確率検定(両側検定)の結果であり，全て統制群の正解者数，不正解者数と比較した結果である。

この設問で「糖」と誤答した生徒は，統制群が 2 名に対して実験群が 10 名（タンパク質実験群 7 名，脂肪実験群 3 名）と多いことがブドウ糖の正答率の差の原因の 1 つと考えられる。今回の実践では，タンパク質と脂肪の消化実験を取り入れたために相対的にデンプンの消化についての取り扱いが軽くなってしまったことが影響したとも考えられる。さらに脂肪実験群では，アミノ酸や脂肪酸の正答者数が統制群と比べて有意に少なかった（$p<0.05$）。この設問自体は，実験をせずに暗記的に正答を刷り込むだけでも解答可能であり，そのほうが学習直後の場合には正答率が高くなることも予想できる。そのためこの結果だけから断定することはできないが，グリセリンの検出実験を体験したためにその印象が強く残り，結果としてそれ以外の分解生成物を明確に覚えていないため答えることができなかった可能性も考えられる。開発した実験教材では検出できない脂肪酸の存在を含めて，学習後のコンセプトマップにデンプンがブドウ糖に，タンパク質がアミノ酸に，脂肪が脂肪酸とグリセリンに分解されるというような消化の前後での各栄養分の変化を学習後に具体的に記述した人数が少なかったこと（表 4.14，p.166）も合わせて考えると，実験で検出できない脂肪酸の存在や分解最終生成物をどのように学習させるについての検討が必要である。

表 4.7（p.141），4.8（p.142）に示したこの実験教材とそれを取り入れた授業に対する生徒の評価結果の各設問に対して，「かなりそう思う」を肯定的な回答，「全くそう思わない」を否定的な回答とし，合計人数を換算し 1×2 直接確

率検定（両側検定）を行った結果から，全体を通して有意に肯定的な評価を得たと判断できる（$p<0.01$）。これらは筆者らの観察結果と一致しており，特に，授業の評価の全ての設問で平均点が 3 点を超えたことと合わせると，生徒はこの実験教材を取り入れた授業に興味関心をもち，意欲的に協力して授業に参加していたと判断できる。全体を通して，89%の生徒が実験からタンパク質と脂肪が消化液によって消化されることを理解し，一連の授業から 85%の生徒が，消化が消化液（消化酵素）の働きによるものであると理解できたと評価した。「かなりそう思う」，「ややそう思う」を肯定的な回答，「あまりそう思わない」，「全くそう思わない」を否定的な回答とし，合計人数を換算し 1×2 直接確率検定（両側検定）を行った結果からは，実験方法・操作の簡便さを問う項目以外は全体として 8 割以上の生徒が有意に肯定的な評価をした（$p<0.01$）ものの，実験方法・操作が難しいと感じた生徒も多数いたと判断できる（$p>0.05$）。

授業中に生徒達からは「実験が難しい」や「面倒だ」というような否定的な声は出ず，生徒が実験に興味・関心を持って取り組んでいるように見られたにもかかわらず，実験方法・操作が簡単であったかどうかという評価の平均点は全ての項目の中で一番低い 2.8 点であった。これは，実験の最中に駒込ピペットをきちんと使いこなせる生徒が少なく，溶液をはかりとる作業に苦労している様子が見受けられたことや，今回導入した実験教材ではデンプンの消化実験に比べて使用した試薬や器具も多く，作業が複雑に思えてしまったことが関係していると推測される。さらに，各項目を実験種別や性別によって細かく見ると母集団が小さくなることもあり差があるように見える結果もあった。そこで，各項目別に実験種類×性別の 2 要因被験者間の分散分析を行った。その結果，実験教材の評価「④この実験からタンパク質や脂肪も消化液によって消化されることがわかった」で，タンパク質の実験を行った生徒の平均点（3.4 点）が脂肪の実験を行った生徒の平均点（3.1 点）より有意に高評価であった（$F_{(1,71)}=5.31$，$p=0.02413<0.05$）。この差が生じた原因は，脂肪の実験が界面反応であるため反応後でも見た目でオリーブ油の量が減少しているように見えなかったり，脂肪酸が検出できなかったりするのに対して，タンパク質の実験では，凝固したゼラチン量の差や反応後の試料がビウレット反応で陰性になりニンヒドリン反応が強い陽性を示すことからタンパク質がアミノ酸に変化したことが見た目でも分かりやすいということが関係していると思われる。それ以外の項目の平均点については，性別や実験の種類ならびにその交互作用に有意差は見られなかった。

生徒の感想（表 4.9，p.145）にも，4 件法による評価の結果と同様の傾向が見られた。生徒の感想には，実験操作の難しさを感じながらも見慣れない器具

や聞き慣れない試薬，たくさんの試験管を使用した実験教材を用いた授業が楽しく，試験管の中にある実験結果と消化をはじめとするヒトのからだの仕組みとを結びつけて考えるなど興味や関心を抱き，新たな疑問を解決しようとする欲求が生まれてきているのが読み取れた。肯定的な意見としては,「実験が楽しかった」,「消化について興味がもてた（もっと知りたくなった)」や「消化のはたらき（仕組み）が理解できた」が多く見られた。今回の実践が，生徒の興味や関心を引き出し，学習内容の理解の一助として機能したといえる。また教育実習の終盤ということもあり，授業を見学していた実習生らが実験器具の出し入れを手伝ったり，使い方を説明したりしてくれたことを,「複数教師による指導が良かった」と評価していた。一方否定的な意見は,「実験工程の難しさ」が一番多く,「実験の内容や結果，意味が理解できない」がそれに続いた。これは前述の 4 件法での「実験方法・操作が簡単だと思う」が相対的に低い評価となったことと一致している。4 件法での調査とほぼ同時に行ったため，4 件法で質問した実験教材と授業についての評価に関する感想を誘発した部分もあるが，この実験を導入した授業を肯定的に捉えていた生徒は多かったものの,「実験方法・操作が難しい」,「学習している内容が理解できない」と感じている生徒が少なくないことも事実である。また,「呈色反応で色が変化した理由がよく分かった」という評価があった反面，ビウレット反応やニンヒドリン反応などの呈色反応の仕組みの説明を求める声も見られた。さらに今回の授業実践では時間と器具の都合で一方の実験しか経験しなかったことに対しても不満の声があがった。これは,「体験しなかった実験も自らの手で確かめたい」という意欲の表れでもある。これを無駄にしないためには，希望者のみ放課後などの時間を利用して納得がいくまで追究させることも一つの解決策であろう。既に一度説明を受け，他の人が実験しているのを間近で見ており，実験操作面は生徒同士の教え合い活動で行うこともできることから，短時間で済ませられるだろう。

今回の授業実践の結果から,教科書教材を中心とした授業に加えて 2〜3 時間程度の予備時間を費やすことで，タンパク質と脂肪の消化実験を無理なく授業に導入することができるといえる。この実験教材は生徒の興味や関心を喚起するものとして有効であり，生徒はこの実験を導入した授業を肯定的に捉えているが,「実験方法・操作が難しい」と感じている生徒が少なくないことは事実である。今回の実験に限らず，糖の検出での突沸や駒込ピペットの操作に手間取っていた姿が見られたことから，駒込ピペットの使い方など基本的な操作をあらかじめ教えるなど実験技術の習得指導を強化する必要がある。今回のような定性的な理解を促すための実験であれば，試験管や容器に目安となる目盛りがついているものを用い，その目盛りのところまで注ぐという指示でも十分実験

可能である。実験器具を正しく使いこなす技能を身につけることも重要ではあるが，限りある授業時間内で実施するのであれば，はかりとる作業の正確さを犠牲にする代わりに，結果を得て考察や学習のまとめの時間を確保する方が良い。また，実験方法や操作の提示をワークシートに文章だけで記載するだけでなく，イラストや写真などを用いてわかりやすく提示することも実験操作を難しく感じさせないためには重要である。

図 4.6（p.131），4.7（p.132）に示したワークシートの考察から，実験群の生徒はこの実験が「至適温度や生体内での反応を模した実験」であることを自ら導き出して理解できている。図 4.5（p.129）の統制群のワークシートが教師主導の説明型授業の成果であることを踏まえて両方のワークシートを比較すると，実験群の生徒がこの実験の意味を自らの力で理解できたことは開発した実験教材を用いた授業実践の成果の 1 つだと判断できる。さらに図 4.8（p.133）に示したような 5 時間目の授業後に提出されたワークシートでは，全員がまとめの欄に消化によってブドウ糖・アミノ酸・脂肪酸とグリセリンというより小さい分子に分解されることを記述していた。図 4.8（p.133）の生徒は，消化酵素の至適温度が 40℃くらいであることを「人の体温といっしょ」という補足と合わせて記入していた。これに加えて一連の授業を通して 7 割の生徒が実験結果から科学的に正しい考察を導き出せていたと判断できる状況や実験で確認した試験管内での現象と生体内での現象とを結びつけた生徒の感想などから，開発したタンパク質と脂肪の消化を確認する実験教材を用いた今回の実践が，消化が物理的・化学的な変化であるという理解とあわせて,「ヒトのからだ」という最も身近な生物の体内で行われているという「生物的」「生命科学的」な理解へつながっていると評価できることを意味している。

しかしながら,消化による分解最終生成物に関する知識理解を促すためにも，本実験教材の導入ならびに単元全体の構成・展開には工夫が必要であることが今回の実践の結果は示している。教育実習の期間と重なり授業者が交代しながら授業が展開すると，単元での学習内容や知識の定着を十分に確認できない状況が生じる可能性もある。そのため，実験教材の適用可能性の検証の時期として今回の実践が適切だとはいえない。しかし，協力校の事情を考慮せずに教育課程（単元の学習順）の変更を願い出ることは困難であり，無理強いすることや他の協力校を見つけ出すことができなかった。さらに今回のように学習集団内での学力格差が比較的大きい状況下で，知識理解の定着の面から実験教材の有用性をみとることは難しい。表 4.17（p.169）に示されるように，デンプンがブドウ糖に変化する問題の正答者数では，実験群が 39 名に対して統制群が 56 名となり有意差が認められた。実験群では，デンプンの消化実験の授業を教

育実習生が実践した。今回の実践では，タンパク質と脂肪の消化実験を取り入れたために相対的にデンプンの消化についての取り扱いが軽くなってしまったことが影響したとも考えられるが，単元全体の構成（時間配分）だけではなく授業者（教育実習生）の指導力の影響も否定できない。また，脂肪実験群では，アミノ酸や脂肪酸の正答者数が統制群と比べて有意に少なかった（$p<0.05$）。グリセリンの検出実験を体験したためにその印象が強く残り，結果として実験で検出できなかった脂肪酸やそもそも実験しなかった消化によるタンパク質の分解生成物を明確に覚えていないため答えることができなかった可能性もある。分解生成物の名称をストレートに解答させる問題を出題する妥当性を十分吟味したわけでもなく，この設問自体が実験をせずに正答を暗記するだけでも解答可能であるため，この原因について深く考察することは難しい。それでも実験では検出できない脂肪酸の存在についての学習の進め方，生徒からも不満として出ていた自らの手で実験して検証することができなかった消化による栄養分の分解最終生成物をどのように学習させるかといったことやこの実験教材を効果的に導入した授業がどのようなものであるのかといった授業構成や授業展開についてさらに検討する必要があることをこの結果は示している。

4.5.3 「化学変化と原子，分子-物質の成り立ち」での実践についての考察・結論

2006 年度に R 大学 K 学部 F 中学校の 2 年生 2 クラスを対象に行った先の授業実践から，この実験教材は生徒の興味・関心を誘い，意欲的に取り組めるものだとの評価を得た。しかし，知識の定着不足，実験教材の手順や操作の複雑さや困難さが指摘できる。この実験教材はタンパク質や脂肪も教科書教材であるデンプンと同様に消化によってタンパク質や脂肪が別な物質へ変化することを確認するものである。生徒の感想から消化が物理的・化学的な変化であるという理解とあわせて,「ヒトのからだ」という最も身近な生物の体内で行われているという「生物的」「生命科学的」な理解へつながっていった。反対にこの実験教材を契機に化学変化そのものへ興味や関心を誘ったり理解を促したりする効果を生じることも考えられる。そこで，操作を簡便にするためのいくつかの改善を施し,「動物の体のつくりと働き」の単元の復習を兼ねて，体内での消化という「生徒の体内で起こっている日常」が化学変化であることを生徒に認識させることを目指して「化学変化と原子，分子」の導入として開発した実験教材を用いた授業を 2007 年度に実践した。

表 4.10（pp.149-150）に示したように，開発した実験教材を用いた授業は 3 時間扱いで実施した。生徒が実験した１，2 時間目の授業を含めて，この実験

教材を取り入れた3時間の授業実践は，全て時間延長する事無く予定した内容を各時間内で終了できた。

一連の実践前段階では，大部分の生徒のコンセプトマップは図4.13(p.152)の生徒のように「消化」と「胃」を直結させており，強く関連づけていた。「消化は胃のみで行われる」と理解していたと判断できる記述をした生徒が74人（52.9%）いた。学習前のコンセプトマップ作成時の生徒同士のやり取りの中でも，「消化は胃で行われているのだろう？」，「消化は胃で行われるんだよね」といった声が多数聞かれただけなく，実験を通して化学的消化を学習する前段階で行った「消化はどの臓器で行われるか？」の問いかけに対して，9割もの生徒が「胃」に挙手したことと合わせて，学習前の生徒には「消化が胃のみで行われる」というイメージが強いことが容易に推測できる。主なリンクラベルに「粉々になる」，「とける」といった概念が多数見られた。食生活の中における食べ物を噛む行動や嘔吐物などを観察したといった実体験に基づくものだと考えられる。「胃」以外のリンクでは「体の中」といったラベルが目立った。4.5.2でも触れた通り，小学校段階で消化について一定程度学習しているにもかかわらず，中学2年生は食物が体の中を通ることで消化されるといった漠然としたイメージをもっていることが推察された。

表4.18は，一連の学習の前後に行ったコンセプトマップ作成の結果から，ラベル数の変化についてまとめたものである。Wilcoxonの順位和検定[注12]の結果，実験の種類に関わらず学習前(5月中旬)よりも学習後(10月下旬～11月上旬)のほうが記載されたラベル数の平均値は有意に減少していたものの（$p<0.01$），消化器官や消化液，消化酵素，栄養分やその行方などの消化に関連するラベル数の平均値は授業後に有意に増加した（$p<0.01$）。表4.19は概念ラベルの内容や結びつきの変化について顕著な結果が見られたものを整理したものである。表4.19に示した視点毎に該当者数と非該当者数について2×2 χ^2検定を用いた結果，全ての視点で体験した実験の種類の違いによる有意差は見られなかった（$p>0.05$）。

表 4.18 学習前後における概念ラベル数の平均の変化

		学習前(5月中旬)				学習後(10月下旬～11月上旬)				Wilcoxonの順位和検定の p
		総ラベル数の平均	SD	関連ラベル数の平均	SD	総ラベル数の平均	SD	関連ラベル数の平均	SD	
全体(N=140)		20.7	12.7	6.38	2.90	13.8	10.2	9.88	5.51	総数 <0.0001** 関連 <0.0001**
内訳	タンパク質(N=73)	21.2	12.0	5.85	3.23	14.7	11.9	9.32	5.90	総数 <0.0001** 関連 <0.0001**
内訳	脂肪(N=67)	20.2	13.4	6.96	2.40	12.8	7.92	10.5	5.01	総数 0.0011** 関連 <0.0001**

**p<0.01

表 4.19 学習前後におけるコンセプトマップの記述の変化の傾向

		消化が胃のみで行われると理解している者		学習の前後で消化の意味のとらえ方に変化が見られた者	学習後に			
					消化液のはたらきを理解した者	栄養分の消化前後のつながりを書いた者		
		学習前	学習後			デンプン	タンパク質	脂肪
	全体/人(N=140)	74	3	94	90	23	30	28
	割合/%	52.9	2.1	67.1	64.3	16.4	21.4	20.0
	タンパク質/人(N=73)	38	2	44	44	10	14	14
内訳	割合/%	52.1	2.7	60.3	60.3	13.7	19.2	19.2
	脂肪/人(N=67)	36	1	50	46	13	16	14
	割合/%	53.7	1.5	74.6	68.7	19.4	23.9	20.9
実験種類の違いによる各項目別χ^2検定の結果(該当者数と非該当者数との2×2χ^2検定)								
	χ^2値	0.039	0.259	3.262	1.069	0.827	0.458	0.064
	p	0.8435	0.6108	0.0709	0.3012	0.3631	0.4986	0.8003

今回の実践でも，学習前では「消化が胃のみで行われる」という概念をもっている生徒が 52.9%を占めていたが，タンパク質や脂肪の消化を実験で確認する授業までを終えた学習後には 2%台にまで有意に減少した（学習前後での該当者数と非該当者数の変化に対する 2×2χ^2検定の結果は，全体：$\chi^2(1)=90.30$, $p=0.000<0.01$；タンパク質実験群：$\chi^2(1)=44.86$, $p=0.000<0.01$；脂肪実験群：$\chi^2(1)=45.74$, $p=0.000<0.01$）。学習後のほとんどの生徒に「消化器官」というラベルが新たに加わった。学習前段階で「消化」と直接的に結びついていた「胃」ラベルが「消化管」や「消化器官」ラベルに置き換わり，「胃」ラベルは口，大腸，小腸と同様に消化器官や消化管とリンクされ，消化は胃のみで

行われているわけでなく，消化が消化器官全体で行われているという仕組みを認識できたと推測される。これらは牛の胃腸を実際に観察したことも相乗効果となったと考えられる。学習前では，「噛む」ことや「とける」，「細かくする」といった消化が物理的な変化だけを意味するようなとらえ方が大多数の生徒に見られ，わずかに 2 名だけが「分解」ラベルを記載していた。しかし，学習後には消化液によって別の物質に変化するという新たな消化のイメージの構築がなされ，「消化が消化液（消化酵素）によって行われる」というような概念の変化がコンセプトマップから読み取れた生徒が 67.1%（94 名）を占めた。学習前にはほとんど見られなかった「分解」ラベルは，学習後には図 4.14（p.153）の生徒のように 81 名（57.9%）の生徒に確認でき，「化学変化」ラベルは 35 名（25.0%）に見られた。学習後に消化液の働きについて具体的に記述したり理解したりしていると思われる者も 90 名（64.3%）に見られた。消化による各栄養分の分解生成物ラベルの付加も見られ，約 2 割の生徒が主な栄養分（デンプン，タンパク質，脂肪）の消化前後での変化を結び付けていた。タンパク質と脂肪の消化を実験で確認した授業後に提出された生徒のワークシート(N=122)の記述から，全員が実験を通して正しい結果を得ることができており，得られた結果から考察することができていたことが確認できた。図 4.15（p.155）や 4.16（p.156）のように，ワークシートには消化前後における分子の構造変化が模式的に表わされ，対応する物質名も記載されていた。さらに酵素の至適温度やこの実験教材が生体内での反応を模した実験であることを理解していることがわかる記述も見られた。すなわち開発した実験教材を用いた授業実践が，消化がこれから学習する化学変化（分解）の一例であることと消化という現象を「生物学」と「化学」を結びつけた「生命科学的」な理解へと生徒を導くものになったと評価できる。一連の結果を踏まえると，教科書教材であるデンプンだけでなくタンパク質や脂肪の消化液による分解実験と分解生成物の検出，消化器官の観察など広い意味での一連の実践が相乗効果を生み，多くの生徒で「消化」が単に食物を小さくする物理的な変化という意味の捉え方から，消化液の働きによって化学変化が起こり，より小さな別の物質に変化するといった意味の捉え方に変化したと判断できる。

タンパク質と脂肪の消化に関する実験教材に対する生徒の評価（表 4.11，p.158)と，この実験教材を取り入れた一連の授業に対する生徒の評価の結果(表 4.12，p.159）の各設問の回答について「かなりそう思う」を 4 点，「ややそう思う」を 3 点，「あまりそう思わない」を 2 点，「全くそう思わない」を 1 点として平均点を算出したところ，「実験方法・操作の簡便さ」と，「消化単元でこの実験をやりたかった」の 2 項目以外では全体の平均が 3 点を超えた。各設問

別に実験種類間で 1 要因被験者間分散分析した結果，全ての設問に関して体験した実験の種類の違いによる平均点の有意差は見られなかった。そこで,「かなりそう思う」,「ややそう思う」を肯定的な回答,「あまりそう思わない」,「全くそう思わない」を否定的な回答とし，合計人数を換算し，1×2 直接確率検定（両側検定）を行った。平均点が 3 点を下回った「実験方法・操作の簡便さ」を問う項目では，脂肪実験群で有意に正に偏る結果とならなかったものの（p=0.0639>0.05），全体として「簡単」であるという評価であった（p=0.0000<0.01)。また,「消化単元でこの実験をやりたかった」では，脂肪実験群は 1 学期のヒトの消化の学習時での実施を求める声が有意に多かった（p=0.0010<0.01)。しかし，タンパク質実験群では「消化単元」での実施をそれほど強く求める結果にはならなった（p=0.0504>0.05)。それでも，全体を通して三分の二の生徒が消化の学習と連続して学習したかったという評価をした。上記 2 点以外の項目では実験の種類に関わらず，全体として有意に肯定的な評価を得た。即ち，可能であれば両方の実験を経験したかったという意見が 72.2%（109 名）と多かったものの，生徒はタンパク質や脂肪の消化実験やそれを取り入れた授業に興味や関心をもち，協力しながら実験を行うなど意欲的に取り組むことができたと自己評価した。

今回の実践では実験方法の簡便化を目的として，

① イラストや図，写真などで示した実験マニュアルをラミネート加工して配布する。
② 消化液の調製を授業者が行うことで生徒実験の時間を確保する。
③ 実験器具にタグや印をつけて手順と器具を対応させる。
④ 溶液をはかりとる作業をわかりやすくする。

という 4 つの改良を施した。86.1%（130 名）の生徒がラミネート加工された実験方法の指示参考資料を「役に立った」と肯定的に評価した。さらにタグや印をつけることで実験器具の取り違えによる混乱もなく予定された時間内でスムーズに実験を取り入れた授業が展開された。これに加えて，時間延長せずに予定した内容を各時間内で終了する形で生徒実験を取り入れた授業を展開できたことからも，実験指導や生徒実験の時間を十分確保できたと判断できる。この実験教材を取り入れた授業実践は予定された時間内で全て終えることができたこともあり，81.5%（123 名）の生徒は「教師による実験方法の説明はわかりやすかった」と評価した。「実験方法・操作の簡便さ」では脂肪の消化実験では呈色反応の際の試料採取で基質の混入を防ぐためにタンパク質の消化実験に比べ繊細な操作が要求されたこともあってか有意傾向を示す程度であったが，全体として「簡単」であるという評価を得た。このことから，実験方法や操作の簡

便化のために取り入れた①～④で示した 4 つの改良点は効果があったと評価できる。

また，92.1%（139 名）の生徒が実験の結果から「タンパク質や脂肪も消化液によって消化されることがわかった」と回答し，この実験を用いた授業によって，93.4%（141 名）の生徒が「消化液（消化酵素）のはたらきで消化が行われることがわかった」と回答した。さらに，消化単元の復習として意味があると肯定的に評価した生徒が 83.4%（126 名），消化が化学変化の 1 つであるとの認識をした生徒が 76.8%（116 名）を占めた。このことから，消化単元の発展的課題・復習兼化学変化の導入という本実験教材を用いた一連の実践の位置づけは，生徒に肯定的に評価されたといえる。今回は 8 月～9 月の教育実習の影響を避けるために間が空いた形での実施となり，その間には物理領域（「電流とその利用」単元）を学習した。今回使用されていた教科書の構成に準拠した授業を展開した場合，消化と吸収に関する小単元を学習した後に呼吸器・循環器系と排出系，さらに動物分類学に関する学習を進めることになり[17]，真の意味で連続した形での実践にはならない。それでも，教育実習による授業者変更の影響が無ければ，動物分類学の小単元の学習を化学領域の学習後にするなど生物領域の小単元の学習順序を入れ替えることだけで連続して学習させることが容易になる。このように今回の F 中学校の生徒の要望を反映させ，この実験自体を「消化と吸収」小単元での発展的な学習として取り扱い，「化学変化と原子，分子」単元の導入段階でその体験を想起させる（振り返る）形での実践は十分可能であると考えられる。生徒の評価を踏まえると，可能ならば実施時期・学習内容の順番として，この当時多くの学校で行われていた「生物→化学」の順[18-24]で連続して学習できるようにする配慮や，実験方法をさらに簡素化するための工夫が求められている。

表 4.20 は実験教材と授業という 2 つの観点から「消化液（消化酵素）のはたらきによって消化が行われることが分かった」という学習内容の理解について，表 4.7（p.141），4.8（p.142）に示した 2006 年度に行った 1 回目の理科の授業での実践の調査結果と，表 4.11（p.158），4.12（p.159）に示した今回の調査結果とを比較するために行った実践年度×実験種類の 2 要因被験者間分散分析の結果である。教材評価では，実践年度×実験種類の交互作用に有意差が見られ，授業評価では実施年度の違いの主効果に有意差が確認された。教材評価での実践年度×実験種類の交互作用について水準別誤差項を用いて分析した結果，2006 年度は実験の種類による差が生じており（$F_{(1,\ 221)}$=6.78，p=0.0098<0.01），脂肪実験群の方が低い評価となっていたが，2007 年度に行った今回の実践では脂肪実験群の平均点が 2006 年度より有意に上昇しており（$F_{(1,\ 221)}$=9.71，

p=0.0021<0.01)，実験の種類による差は見られなかった。いずれの観点でも，2006 年度より今回の 2007 年度実践の方が有意に高い結果を示し（p<0.05)，特に脂肪の消化の実験群では顕著な差として現れた。この結果は前述の実験方法や操作の簡便化の影響もあろう。つまり今回の実践のほうが教材としても授業としても「消化液（消化酵素）のはたらきによって消化が行われることが分かった」という学習内容が理解できるものであったと判断できる。一方で，他の同一質問項目についても同様に分散分析を行ったが有意差は見られなかった（p>0.05)。これは表 4.8（p.142)，4.12（p.159）で示された授業の評価の平均（全体）が両方の実践とも全ての項目で 3 点を超えており，2 回の授業実践とも肯定的な評価をする生徒が多かったことが関係していると考えられる。また，今回の実践では実験教材について強い肯定的な評価をする者の割合が増えているが否定的な評価をした者の割合も増えており，結果として評価の平均に有意差が生じなかったと考えられる。すなわち今回の授業実践が肯定的に評価され，多数の生徒の意欲や興味・関心を誘う実験教材ではあったが，一部の生徒にとってこの実験教材は意欲や興味・関心を誘うものには必ずしもなっていなかったことが示唆される。一連の学習のどの段階でこの実験教材を扱うべきかという部分や実験方法や操作のさらなる簡便化などと合わせて，開発した実験教材にはこれらの点で検討の余地がある。

表 4.20 実験教材と授業の評価に関する実践年度×実験種類の
2 要因被験者間分散分析表

教材評価:この実験からタンパク質や脂肪も消化液によって消化されることが分かった

要因	平方和	自由度	平方平均	*F*	*p*
実践年度	2.4268	1	2.4268	5.24	0.0230<0.05
(タンパク質	0.0067	1	0.0067	0.01	0.9204)
(脂肪	4.4990	1	4.4990	9.71	0.0021<0.01)
実験種類	1.1341	1	1.1341	2.45	0.1190
(2006年度	3.1420	1	3.1420	6.78	0.0098<0.01)
(2007年度	0.0710	1	0.0710	0.15	0.6989)
年度×実験	2.0789	1	2.0789	4.49	0.0352<0.05
誤差	102.3915	221	0.4633		
全体	103.0313	224			

授業評価:消化液(消化酵素)の働きによって消化が行われることが分かった

要因	平方和	自由度	平方平均	*F*	*p*
実践年度	2.1463	1	2.1463	4.70	0.0312<0.05
(タンパク質	0.0385	1	0.0385	0.08	0.7776)
(脂肪	3.5173	1	3.5173	7.70	0.0060<0.01)
実験種類	0.6878	1	0.6878	1.51	0.2205
(2006年度	2.0333	1	2.0333	4.45	0.0360<0.05)
(2007年度	0.0640	1	0.0640	0.14	0.7086)
年度×実験	1.4095	1	1.4095	3.08	0.0807<0.1
誤差	100.5379	220	0.4569		
全体	104.7816	223			

2007 年度の調査も教材と授業に関する 4 件法での評価調査と同時に行ったため，4 件法での質問項目が感想を誘発した部分もあるが，生徒の自由記述の結果（表 4.13, p.160）も表 4.11（p.158），4.12（p.159）が示す結果を裏付けるものであった。ラミネート加工した実験方法を記したプリントが役立ったという評価が最も多く寄せられた。また，「いろいろな実験器具が使えてよかった」と評価されるとともに今回の実践そのものを総合的に見た形での「面白かった，楽しかった」や「興味がもてた」という情意的側面の抽象的な感想も多かった。さらに，「『消化』が化学変化のひとつだとわかった」と具体的に回答した者も 4 名いた。これと「『消化』についての理解が深まった」や「『消化』を体験的に理解できた」「『消化』の復習ができて良かった」に，総括的な形の感想としての「理解しやすかった」を合わせると学習内容の理解について 31.1%の生徒が肯定的な評価を記載したことになる。実施時期についての意見の記述は少な

く，その結果も賛否両論であった。しかし表 4.11（p.158），4.13（p.160）の結果と合わせて両者の意見を汲めば，化学変化の導入時期でかつ消化単元の最後の発展的な学習に位置づける方が望ましい。その一方で,「両方の実験をしたかった」,「もう一方の（体験しなかった）実験内容がわからない」が否定的な評価の大部分を占め,「実験が複雑で難しい」という声がそれに続いた。否定的評価で一番多かった「両方の実験をしたかった」,「もう一方の（体験しなかった）実験内容がわからない」という意見は，興味や関心の高さの裏返し，すなわち「やりたかったのにできなかった」ことに対する不満の現れと解釈することができる。「実験が複雑で難しい」と実験方法の難易度に言及した生徒は全体の約一割と少数であり,全体の三分の二の生徒は簡単だったと評価している(表4.11③，p.158)。この実験より先に行った，だ液によるデンプンの消化の実験でも操作に戸惑ったり結果から考察を導き出せなかったりする生徒がいたことからも，この実験教材がデンプンの消化の実験に比べて特に難しいものであったとは授業実践を観察している限りでは感じられなかった。つまり，今回の実践で取り扱った実験教材の実験方法は，多くの生徒にとって「簡単」で「難しくない」ものであり，だ液によるデンプンの消化実験と同程度の難易度だと判断できる。しかし,「実験が複雑で難しい」という意見を放置するようなことになれば，理科嫌いを助長するようなことにもつながりかねないので，生徒の実態に応じて実験方法をより簡便な方法に改善したり，時間の確保・配分の仕方を工夫したりする必要がある。さらに「丁寧な指導が良かった」という評価がある反面,「実験の説明がわからなかった」,「進む速さがはやい」というような否定的な意見も同程度見られたことから，生徒の実態に応じた指導法や教材提示のあり方の検討については引き続き不断の努力が必要であるといえる。

今回の一連の実践は，先に学習した「動物の体のつくりとはたらき」の単元の復習を兼ねて，体内での消化が化学変化であることを認識させるためにタンパク質や脂肪の消化による分解生成物を検出する実験教材を「化学変化と原子,分子」単元の導入で実践したものである。消化単元の発展的課題・復習兼化学変化の導入という本実験教材を用いた実践の位置づけは，生徒による実験教材や授業の評価結果から肯定的に評価され,生徒が興味･関心をもって取り組み,学習内容の理解を深める効果があったと判断できる。生徒の自由記述の結果からも，今回の授業実践が興味・関心を誘い，また理解を深めるために効果的であったと判断できる。一連の学習を通して「消化」が単に食物を小さくする物理的な変化という意味の捉え方から，消化が分解反応であるということや，化学変化そのものであるという認識が生まれ，消化液の働きによって化学変化が起こり，より小さな別の物質に変化するといった化学的な変化という意味の捉

え方へ変化していったことが生徒の評価からだけでなくコンセプトマップからも読み取れた。とりわけ，76.8%（116 人）の生徒が「『消化』が化学変化の一つであることを理解できた」と回答していることから（表 4.12⑥，p.159），「食べ物が消化されることでより小さな別の物質へ変化する」という「生徒の体内」という日常で起こっている「消化」が化学変化であることを概ね理解させたり意識させたりすることができたといえる。つまり，消化消化という現象を「生物学」と「化学」を結びつけた「生命科学的」な理解へと生徒を導けたと判断できる。

【注解】

注1 サイエンスサマーキャンプの実施に際して，内閣府松田岩夫科学技術政策担当大臣（当時）から社団法人日本理科教育振興協会（理振協会）へ協力要請があった。理振協会の理事の 1 人が日本理科教育学会の会長であったことから，日本理科教育学会と連携して理振協会が主催する形で，福井，岐阜，愛知，和歌山，鹿児島，沖縄の 6 県でサイエンスサマーキャンプが実施された。

注2 F 中学校で当時使用されていた教科書は，学校図書発行の教科書（霜田光一，日高敏隆ほか：『中学校理科　2 分野上』，2004，東京：学校図書）で，教科書での単元名は「第 3 単元　動物たちの世界」の「第 2 章　生命を維持するしくみ」の「2　消化とはどのようなはたらきか」である。

注3 F 中学校で当時使用されていた教科書は，大日本図書発行の教科書（戸田盛和ほか：『新版　中学校理科　2 分野上』，2006，東京：大日本図書）で，教科書での単元名は「3 章　動物の生活と種類」の「3 節　生命を維持するはたらき」の「1 養分はどのように取り入れられるか」である。

注4 ティーチングアシスタントとして 2 名の学生が，筆者の補助役として 1 名の学生が実践をサポートした。

注5 サイエンスサマーキャンプそのものの具体的内容とその評価については，杉尾幸司ほか「中学生を対象とした宿泊型理科体験学習-実践の成果と課題-」，理科教育学研究，**49**(2)，pp.115-122，2008，日本理科教育学会にその詳細が示されている。

注6 実際にはマグネティックスターラーとしてもボルテックスミキサーとしても使用できるアズワン株式会社製試験管ミキサーTRIO TM-1F を使用した。

注7 1×2 直接確率検定は，2 つのカテゴリに分類されたデータの分析に用いる統計学的検定法である。1×2 直接確率検定は二項検定であり，例えばコイントスなど結果が 2 つのうちのいずれかであるデータの比率が理論的に期待される分布（2 カテゴリが同じ確率で起こる（確率母数=0.5）ことを帰無仮説とする）から有意に

偏っているかどうかを調べるものである。この場合，偏りは一方向ではなく両方向にずれる確率を考慮しなければならないので両側検定を採用した。

注8 2×2χ^2検定は，χ^2分布を用いて2つの集団で2つのカテゴリに分類されたデータに有意な偏りがあるかどうかを調べたものである。

注9 Mann-WhitneyのU検定は,独立な2組の標本に対して母集団に正規分布を仮定できない場合に，2つの条件の平均の差が偶然による差であるかどうかを判定するものである。偶然による差ではないと判断された場合に，その差は有意差と認められる。

注10 分散分析は平均の差が偶然による差であるかどうかを判断するものである。分散分析の場合にはデータを変化させる原因（要因）が2つ以上でも用いることができる。また1つの要因の中に3つ以上の条件がある場合でもその平均の差が偶然による差であるかどうかも判定できる。2要因の場合には要因ごとの判断だけではなく,2つの要因が組み合わさって生じる効果(交互作用)の有無も判断する。

注11 2×2直接確率検定は，2×2χ^2検定と同様に2つの集団で2つのカテゴリに分類されたデータに有意な偏りがあるかどうかを調べるものである。2×2表中の数値の偏りが大きいように感じたため，χ^2検定ではなく直接確率検定を用いた。

注12 Wilcoxonの順位和検定は，1組の対になっている標本に対して母集団に正規分布を仮定できない場合に，2つの条件の平均の差が偶然による差であるかどうかを判定するものである。

【文献】

1) 文部省：『中学校学習指導要領（平成10年12月)』，pp.57-58，1998，東京：大蔵省印刷局.

2) 文部科学省：『中学校学習指導要領（平成10年12月）改訂版』，p.58-59，2004，東京：国立印刷局.

3) 文部科学省：『中学校学習指導要領』，pp.72-73，2008，京都：東山書房.

4) 文部省:『中学校学習指導要領（平成10年12月）解説－理科編－』，pp.98-100，1999，東京：大日本図書.

5) 文部科学省:『中学校学習指導要領解説　理科編』，pp.97-98，2008，東京：大日本図書.

6) Novak，J. D.；Gowin，D. B.：“Learning How to Learn”，pp.15-54，1984，New York：Cambridge University Press.

7) 福岡敏行編著：『コンセプトマップ活用ガイド ： マップでわかる!子どもの学びと教師のサポート 』，2002，東京：東洋館出版社.

8) Chromy，V.；Fischer，J. ；Kulhanek，V. :“Re-evaluation of EDTA-Chelated

Biuret Reagent”, *Clin. Chem.*, **20**(10), pp.1362-1363, 1974.
9) Pelley, J. W. ; Garner, C. W. ; Little, G. H.: “A Simple Rapid Biuret Method for the Estimation of Protein in Samples Containing Thiols”, *Anal. Biochem.*, **86**, pp.341-343, 1978.
10) 太田隆文: 「アミノ酸・タンパク質の定性分析」, 化学と教育, **47**(10), pp.688-690, 1999, 日本化学会.
11) Clark, J. M. Jr.: “Experimental Biochemistry”, p.217, 1964, San Francisco: W.H. Freeman and Company.
12) Bertram, S. H.; Rutgers, R.: “The Estimation of Glycerol and Some Other Hydroxylated Compounds”, *Rec. Trav. Chim.*, **57**, pp.681-687, 1938.
13) Whyte, L. K.: “The Spectrophotometric Determination of Glycerol”, *Oil & Soap*, **23**, pp.323-326, 1946.
14) Spagnolo, F.: “Spectrophotometric Determination of Glycerol as Sodium-Cupri-Glycerol Complex”, *Anal. Chem.*, **25**(10), pp.1566-1568, 1953.
15) 霜田光一, 日高敏隆ほか: 『中学校理科 2 分野上』, pp.98-101, 2004, 東京: 学校図書.
16) 戸田盛和ほか: 『新版　中学校理科　2 分野上』, pp.112-113, 2006, 東京: 大日本図書.
17) 同上書, pp.115-128.
18) Benesse 教育研究開発センター: 『中学校の学習指導に関する実態調査報告書 2005』, pp.13-20, http://berd.benesse.jp/berd/center/open/report/gakusyuu_jittai/2005_6/pdf/chu_gakusyushido_zittai2005.pdf, 2005. (2014 年 11 月現在)
19) Benesse 教育研究開発センター: 『中学校の学習指導に関する実態調査報告書 2006』, pp.13-20, http://berd.benesse.jp/berd/center/open/report/gakusyuu_jittai/2005_6/pdf/chu_gakusyushido_zittai2006.pdf, 2006. (2014 年 11 月現在)
20) Benesse 教育研究開発センター: 『中学校の学習指導に関する実態調査報告書 2007』, pp.15-20, http://berd.benesse.jp/berd/center/open/report/gakusyuu_jittai/2007/pdf/data_01.pdf, 2007. (2014 年 11 月現在)
21) Benesse 教育研究開発センター: 『中学校の学習指導に関する実態調査報告書 2008』, pp.15-22, http://berd.benesse.jp/berd/center/open/report/gakusyuu_jittai/2008/pdf/data_02.pdf, 2008. (2014 年 11 月現在)

22) Benesse 教育研究開発センター: 『中学校の学習指導に関する実態調査報告書 2009』, pp.15-22, http://berd.benesse.jp/berd/center/open/report/gakusyuu_jittai/2009/pdf/data_02.pdf, 2009. (2014 年 11 月現在)
23) Benesse 教育研究開発センター: 『中学校の学習指導に関する実態調査報告書 2010』, pp.15-22, http://berd.benesse.jp/berd/center/open/report/gakusyuu_jittai/2010/pdf/data_02.pdf, 2010. (2014 年 11 月現在)
24) Benesse 教育研究開発センター: 『中学校の学習指導に関する実態調査報告書 2011』, pp.15-22, http://berd.benesse.jp/berd/center/open/report/gakusyuu_jittai/2011/pdf/data_02.pdf, 2011. (2014 年 11 月現在)

5. 結言

本研究の目的は，中学生が「消化液中の消化酵素によってタンパク質はアミノ酸に分解され，脂肪は脂肪酸とグリセリン（モノグリセリド）に分解される」という学習事項について，結論だけを学ぶ（教え込まれる）のではなく，「本当に教科書に書かれている通りの結果になるのか？」という素朴な疑問に応えることである。そのため，1947 年以降の小中学校での理科の授業での消化に関する実験教材や学習内容の変遷について教科書を中心に確認した。その結果，教科書には消化の過程を検証する生化学的手法を用いた実験教材として，ヨウ素デンプン反応とベネジクト（もしくはフェーリング）液を利用した「デンプンが，だ液中の酵素によってデンプンより小さな分子の糖（麦芽糖）になる」記述以外に存在していないことを確認した。つまりデンプンの消化と同様に呈色反応で定性的に理解できるような形でタンパク質がアミノ酸に，脂肪が脂肪酸とグリセリン（2-モノアシルグリセロール，モノグリセリド）に分解されることを学習する実験教材は教科書に一切掲載されていない。2005 年に沖縄県那覇市内の公立小中学校を対象に行った授業内容に関する調査もこの結果を裏付けるものであった。小学校 6 年生のヒトの消化では，分解生成物を明示せず「食べ物はからだに吸収されやすい養分に変えられること」，中学校 2 年生では分解生成物を明示し「デンプンはブドウ糖，タンパク質はアミノ酸，脂肪は脂肪酸とグリセリンに分解される」という内容を理科の授業では学習する。デンプンの消化では，だ液との反応前にはヨウ素デンプン反応のみが確認でき，ベネジクト液で還元糖は検出されない。だ液によって消化されるとヨウ素デンプン反応による呈色は確認できず，ベネジクト液による反応が確認できる。このことを利用した授業が展開されるが，これ以外の実験が教材として取り上げられることはほとんど無かった。

ヒトの消化に関する単元は「生徒の理解が容易で教師も指導が容易」だが「各消化液の働きを正確に理解するのが難しく依然として生徒の理解が困難な内容」と報告されている [1)]。中学校でタンパク質と脂肪の消化を学習する際に，分解生成物の名称といった結論だけを学ぶ（教え込む）のではなく「本当に教科書に書かれている通りの結果になるのか？」という素朴な疑問や知的好奇心に応えるためには，まずタンパク質と脂肪の消化を確認する実験教材を開発しなければならない。その実験教材には，中学生程度の実験観察技能で十分検証可能であることと，だ液によるデンプンの消化の実験教材と同様に分解生成物を呈色反応の有無など反応前後で化学的に異なる結果を示す実験で確認することが

求められる。さらに開発した実験教材の実用性を検証する必要がある。そのために大きく分けて次の 2 点にわたる研究を段階的に遂行した。

（1） 市販の消化薬とビウレット反応に代表される呈色反応を組み合わせたタンパク質と脂肪の消化を確かめる実験教材を開発する。
（2） 開発した実験教材から得られる実験結果が中学生にとって明瞭で，中学生程度の実験観察技能，中学校の理科室程度の施設・設備で十分検証可能か，授業時間数の圧迫なく学習内容の理解を促すものであるかを，教育課程への位置づけや開発した観察・実験教材の導入方法とあわせて実際の授業で適用する中で評価・検証する。

中学校第 2 学年では，デンプン，タンパク質，脂肪の 3 つの栄養分の消化を学習する。デンプンの消化では，だ液と反応させる前にはヨウ素デンプン反応のみが確認できベネジクト液を用いても還元糖の存在は確認できないが，消化されるとヨウ素デンプン反応による呈色は確認できず，ベネジクト反応により還元糖の存在が確認できることを利用して授業が展開される。しかし，タンパク質が消化されてアミノ酸になる，あるいは脂肪が分解されて脂肪酸とモノグリセリド（2-モノアシルグリセロール）もしくはグリセリンになるということは実験で検証しない。そこで，中学生が結論だけを覚える（暗記する）のではなく，デンプンの消化と同様に呈色反応で定性的に理解するために中学生程度の実験観察技能ならびに中学校の施設設備で実践可能な，簡便なタンパク質と脂肪の消化の実験教材をまず始めに開発した。

タンパク質が消化されてアミノ酸が生じることを確認するために,ゼラチンを基質とし反応開始の段階ではビウレット反応[2-3]でタンパク質の存在を確認し，消化されるとその反応が消失する代わりに生成したアミノ酸の存在をニンヒドリン反応[4]で確認する実験教材を開発した。消化には，市販の消化薬を水に溶かし酵素を抽出した後に不溶成分を除去したものを人工消化液として調製して用いた。呈色反応は水酸化ナトリウム水溶液を加えアルカリ性にした後に硫酸銅(Ⅱ)水溶液を加えて行うビウレット反応の簡易な方法とニンヒドリンをエタノールに溶解させた後，水で希釈して調製した簡易ニンヒドリン溶液を用いるニンヒドリン反応の簡易な方法[5]でも問題ない。タンパク質と同様に，脂肪の消化では基質としてオリーブ油を選定し，これを市販の消化薬で調製した人工消化液と反応させ，分解生成物であるグリセリンをナトリウム-銅(Ⅱ)-グリセリン錯体[6-8]として検出する実験教材を開発した。

だ液によるデンプンの消化実験は，中学校理科の 1 回の授業時間程度（1 単

位時間 50 分)で準備から後始末までを含めた一連の実験とそれに前後して付随する発問，実験結果の共有や考察といった学習活動を行うことが可能である。しかし，開発したタンパク質と脂肪の消化に関する実験教材は，分解反応に時間がかかるため 1 回（50 分）の授業時間内で全て終えることは困難で，最低でも 2 日日程で授業を構成する必要がある。さらに実際の授業に適用するには，施設設備面や授業時数の確保といった面の制約や理科に対する好感度や興味，関心，意欲，実験観察技能や知識理解面の学力に差がある子ども達が存在している中で授業が展開されるという現実に対応できなければならない。そこで，開発した実験教材が中学生の消化の学習に適切かどうかを評価するため，実践を通して検証した。

まず始めに理科に興味や関心がある生徒を対象に，時間的な制約を気にすることなく学校で学ぶ内容と関連した実験や観察を体験する「中学生サイエンスサマーキャンプ」で試行した。その結果，参加した中学生が一連の実験操作を予定していた時間内で完遂できたことから，開発した実験教材は中学 2 年生を対象として実施できると判断できた。次に，開発した実験教材を通常行われている中学校第 2 学年の理科の学習-タンパク質と脂肪の消化の学習単元-に導入してみたところ，この実験教材が中学生程度の実験観察技能ならびに中学校の理科室程度の施設･設備で実施可能であることとタンパク質や脂肪も消化液(消化酵素）の働きで消化され，アミノ酸やグリセリンが生成することを実験から学ぶことができることは確認できた。さらに開発したタンパク質と脂肪の消化の実験教材という発展的な内容を化学変化の導入教材として利用することで，化学変化に関する生徒の学習意欲を喚起することにつながる授業づくりも期待できる。冷蔵庫，恒温装置，ボルテックスミキサーを準備する必要はあるが，開発した実験教材は中学校の理科室程度の施設・設備ならびに中学生程度の実験観察技能で十分体験可能なものである。しかしながらこの実験教材には，サイエンスサマーキャンプに参加した生徒のように理科に対して興味や関心の高い生徒でも戸惑いが見られた試料溶液の採取のような細かな作業の取り扱いに改善の余地がある。実際の授業で導入する際には中学生程度の実験観察技能の実態に応じて「駒込ピペットで○○を●● mL はかりとる」というような作業指示ではなく，「(駒込ピペットの目盛りを利用してはかりとることをせず，少し多めにとって）試験管の目盛りの□□まで入れる」というような方法に適宜簡素化することが必要である。また文章だけで実験方法を示すだけではなくイラストで表現したり，ラミネート加工した実験マニュアルを配布することで実験台が汚れたり水浸しになっても困らないような作業指示方法の工夫が必要である。

この実験教材は，教科書の内容に準拠した形で授業実践を行った後に消化に関する生徒の見方や考え方を広げたり，あるいは「本当にそうなのか？」といった疑問に応えたりするために課題選択的な取り扱いで位置づけることも考えられる。例えば，消化薬中に含まれる酵素によってデンプン，タンパク質，脂肪が消化されたりされなかったりすることを実験で検証することを通して，各消化液中に含まれる酵素の基質特異性に注目させ，各消化液の働きを正確に理解する授業などが考えられる。また，タンパク質や脂肪の消化の学習内容を先行学習させ，予備知識として利用しながら実験したり[9-10]，消化の学習を実践した後に，「化学変化」の導入段階で用いたりするなど，第 2 分野（生物領域）の「動物の体のつくりと働き」単元にこだわらず関連する他の学習内容で用いることも考えられる。

そこで実験操作の簡便化や作業指示方法を工夫した上で，化学変化の導入としてこの実験教材を利用した授業を展開してみた。その結果，第 1 分野と第 2 分野の内容を関連付けて学習することを通して学習内容と生徒の日常とを意識させることができた。特に相互に関連している単元を連続して指導できないような場合でも，教科書教材ではない発展的な教材を用いて既習事項を確認していく過程を通して，共に第 2 学年で学習する化学変化と生徒との日常である体内で起こっている消化とを意識・関連させた授業づくりができたといえる。実験方法や操作の簡便化のために取り入れた 4 つの改良点

① イラストや図，写真などで示した実験マニュアルをラミネート加工して配布する。
② 消化液の調製を授業者が行うことで生徒実験の時間を確保する。
③ 実験器具にタグや印をつけて手順と器具を対応させる。
④ 溶液をはかりとる作業をわかりやすくする。

も有効に機能した。しかし，今回の実践は，「化学変化と原子，分子」の導入段階までの研究である。「消化」と直接関係する「分解」以外の化学変化（「化合」，「酸化」や「還元」）に興味や関心を誘ったり，化学変化そのものの理解を促したりするような効果がある授業づくりまで到達できたとはいえない。それでも人体の内部では消化以外にも様々な化学変化が行われていることから，それらと結びつけた授業を行うことで，化学変化と生徒の日常を意識させたり，今回の実践では取り扱わなかった化学変化を含めて，化学変化そのものへ興味や関心を誘ったりする授業をつくることができる可能性は十分あるといえる。

このように実践を繰り返しながら問題点を見いだし，それを改善しながら行ったタンパク質と脂肪の消化の実験教材を取り入れた実際の中学校での 2 回にわたる理科の授業実践は，消化という身近な分解反応を実験で検証したことが

生徒の興味や関心を誘い，消化についての内容理解に効果があったといえる。現行学習指導要領に対応する標準的な中学校の教育課程では選択教科の授業時数が無くなった代わりに理科の総授業時数が増え，中学２年生も週あたり１時間増となっている[注1]。各分野内での学習内容の学年指定はあるものの[11]，改訂前の指導要領で見られた各分野内での学習順序指定[12]がない。消化に関する単元では，指導要領の改訂に伴う内容の附加や削除がほとんどなかったため，他単元の進度計画次第では，通常の理科の授業の中で余裕をもって本実験教材を取り入れた学習活動も可能である。その一方で，現行の学習指導要領に準拠した教育課程では，第２学年で化学→生物と連続して学習する学校が全体の約三分の二を占めている[13-14]。開発した実験教材の授業への適用可能性を検証・評価するためにこれまで行ってきた実践環境と教育課程の編成状況が異なることから，開発した実験教材を普及させるためにはさらに理科カリキュラムの編成や学習内容についての研究を進め，授業実践を通して検証する必要がある。

この実験教材は，教科書教材であるデンプンとは異なる食物の消化を実験から確かめ，分解生成物を同定したりデンプンの結果と比較したりしながら消化に関するより深い理解を導くことが可能である。理科室にあり普段用いている実験器具や市販の消化薬という“身近なもの”と，物質同定に用いる試薬という“普段は用いない特別なもの”とを上手に組み合わせながら教科書教材よりもやや難易度の高い実験を行うという実感が生化学的な分析活動に対する興味や関心を高めるなどの効果が期待できる。ただし，開発した実験教材を用いる際には以下の補足指導が必要となる。

① アミノ酸を検出するニンヒドリン反応はタンパク質が存在していると陽性反応を示すため，デンプンの消化でヨウ素デンプン反応とベネジクト液を用いた還元糖の検出実験の両方の結果から考察させるのと同様にビウレット反応の有無とあわせて考察を促す[注2]。
② 脂肪の消化では，呈色試料採取時にオリーブ油の混入を防ぐために人工消化液との界面が目視確認できる程度のオリーブ油を用いるため，反応の前後で基質であるオリーブ油の量は見た目に減少したようには見えず，変化の様子を目視で確認できないこと。
③ ヒトの体内での脂肪の消化とは異なり，この人工消化液による消化実験でおこる加水分解反応は最終的にはグリセリンが生じること。
④ 脂肪の消化ではもう 1 つの分解生成物である脂肪酸は検出していない。

デンプンの消化でも，だ液中にはヨウ素デンプン反応を妨げる物質が含まれており，その物質は熱に安定な物質であることが知られている[15]。すなわち消化以外の要因でヨウ素デンプン反応が消失することがあるため，ベネジクト反応との併用や味覚や視覚を利用した補足が必要となってくる。教科書教材であるデンプンの消化実験でも適切な補足が必要であり，タンパク質や脂肪の消化実験でも考察指導の際して適切な補足が必要である。

今回の実際の理科の授業での実践ではタンパク質と脂肪のどちらか一方の実験だけ体験する形で実施した。そのため個々の生徒全員が全ての実験をしたわけではない。つまりタンパク質と脂肪の消化の両方とも「本当に教科書に書かれている通りの結果になるのか？」という素朴な疑問に自分一人で解く形で完全に応えた実践ではない。「タンパク質と脂肪の消化の両方の実験を体験したい」という生徒の願いにどう応えるのかは，この実験教材を取り入れた授業を実践する者が教材研究する上で解決しなければならない問題として依然として残った。単純にさらに 2〜3 単位時間を生み出し，この実験に配当するのが最も簡単な解決策ではあるが，他の単元や領域での学習事項との時間配分の問題や，同一日に複数の学級で実践する際の実験器具の準備などを十分に配慮する必要がある。今回の理科の授業での実践のように一方の実験だけを授業で体験させるならば，希望者のみ放課後などの時間を利用して納得がいくまで追究させることも一つの解決策であろう。既に授業の中で一度説明を受け，他の人が実験しているのを間近で見ており，希望者が複数名いた場合には実験操作面の指導も生徒同士の教え合い活動で行うことができることから，短時間で済ませられるだろう。また，実験器具が潤沢にあるならば，生徒に対する実験操作の指示をより明確にしたり班編成を工夫したりするなどして同時に 2 つの実験をさせることも可能であり，解決策の 1 つとして有効であろう。

しかし，「いかに教えるか」（教授法）は，「何のために，だれのために，何を教えるのか」（教育の目的と内容）によって規定される[16]。また，授業が成立するための基本的条件である「教科内容・教材の系統性」，「学習課題の提示」，「授業展開の技術」だけでなく，子ども集団の問題，生活指導の問題といった授業過程の外部的条件[17]も無視できない。中学生に消化酵素の働きによって分解され，「タンパク質がアミノ酸に，脂肪が脂肪酸とグリセリン（モノグリセリド）に分解される」という事実やヒトの体の中で行われる生命維持活動の妙を教えるための授業実践を考える際には，授業時間や学習環境に制約があるだけでなく，学習者の意欲や能力にも差があることを意識しなければならない。そのため実際の中学校での授業を意識し，教師 1 人で最大 40 名を相手にする必修

理科の場合を想定した場合，１時間程度の予備時間か放課後活動を利用した教師による演示を主として本実験教材を導入する授業プランが最も簡単な導入方法だと考えられる（図 5.1）。

授業前	人工消化液，ゼラチンの調製[60～120分] ＊人工消化液は調製後冷蔵庫で1日程度なら保存可能
授業1	だ液によるデンプンの消化実験（生徒実験）[40分] 消化のまとめの段階[10分]で「タンパク質はアミノ酸に分解される」，「脂肪は脂肪酸とモノグリセリド（グリセリン）に分解される」ことを学習した後，実験サンプル調製→消化反応開始（教師演示）
授業2 もしくは 放課後活動 （翌日）	検出方法の説明（何が検出できるのか，何色に変化すると陽性なのか）[10分] 0時間のサンプル（対照）の調製（代表生徒による実験）[10分] 2つのサンプルの呈色反応・比較（教師と代表生徒による実験）[20分] 実験結果のまとめ・考察[10分]

図 5.1 タンパク質と脂肪の消化実験教材を導入した授業プラン

中学校の理科の授業は，理科に対する好感度や興味，関心，意欲，実験観察技能や知識理解面の学力に差がある子ども達が存在している中で行われる。理科室等の学習環境も学校によって異なる。自然科学領域の実験では，否定的な結果がでるだろうという予想のうえに，否定的な実験を行うことがある。原因と結果の関係を確かめるためには，マイナスの結果を生むような条件でも実験する。例えば，今回開発した実験教材を授業で活用する際には，失活した酵素液では消化されないといったマイナスの結果の確認も学習として重要である。しかし勝田が指摘するように，教師による教育実践を通して子どもの内部を貫いていく人間の形成および発達の法則性を追究する際には，否定的な結果を意識的に目指して行うことはありえない。教師の意識的に統制した諸条件（教育目的・目標，教材，方法，子どもたちの発達の状況など）と，直接には統制できない諸条件（子どもの過去及び現在の学校外の生活環境，学級の人数，教師自身の経験や知識）との関係を明らかにしつつ，意識的に統制できる条件を変えることによって結果の変化との関係を観察し，分析していく。その際，「良い変化」を期待し，少なくとも「悪くならないこと」を配慮する。すなわちマイナスの結果ははじめから志向されない[18)]。そのため，子どもの教育においてはそうした否定的実験を行うことが許されないため，それだけ不完全なものだともいえる[19)]。これに対して，柴田は「授業研究では教材体系に改善を加えるべ

きところはどこかを明らかにすることに主要な目的を置くべきである。統制学級を設けて比較することも有効ではあるが，必ずしも必要ではない。最善と考える授業案を作成し，最善の授業をする。この教材を用いた授業が生徒の思考や能力にどのような変化を与えたかを明らかにするため，多数の教師が多数の学級で試みることによって教材の欠陥も修正されていく。」と指摘している[20)]。

本研究では「消化の概念を理解するためにタンパク質や脂肪が消化されるとどのような物質に変化するのかを調べ，総括的評価で問われる最終分解生成物を自らの手で確認する」ために「タンパク質や脂肪が消化された際の最終分解生成物を中学生が自らの手で確認する実験」を教材として開発した。開発した教材（実験教材）は,「タンパク質は消化酵素の働きによってアミノ酸に分解される」,「脂肪は消化酵素の働きによって分解され，グリセリンが生じる」という教育内容を理解し，さらにはデンプンの消化実験と合わせて「食物（栄養分）は体内で消化され別な物質に変化する」ということを認識することを自らの手で直接確認するものである。これは適切な授業プランを設定することによって鈴木と須田が指摘[21)]する,「消化とは摂取した物質が口の中で細かくかみ砕かれること（物理的消化）だけでなく，消化酵素の働きで小さくなり，別な物質に変化するという化学変化の一例である」という学習内容を正確に確認する「典型性」と，生徒が自らの手で操作し，基質の見た目や呈色反応という視覚でその変化を捉えた上で，実験結果から「食物は体内で消化酵素を含む消化液の働きで分解され，別な物質に変化する」という「消化」概念を確実かつ容易に理解する「具体性」を兼ね備えていた。そこで，開発した実験教材を実際の授業で用いて「タンパク質や脂肪が消化されるとどのような物質に変化するのかを調べることができ，消化の概念を理解することができるのか」という目的が達成できるのかどうかを検討した。開発した実験教材は，3 時間程度の授業時間でタンパク質や脂肪が消化酵素によって消化されるとどうなるのか（どのような物質に変化するのか）を考え，生徒自身の手で確かめるものである。消化が化学変化の 1 つであり，デンプン，タンパク質，脂肪といった栄養分が，体内で咀嚼という物理的な消化と消化酵素による化学的な消化によって「小さくなり，小腸の壁から吸収されやすい別な物質に変化する」ことが生徒に習得させたい概念である。開発した実験教材を用いた中学 2 年生を対象にした授業実践では「消化が胃のみで行われている」という先行概念を「消化は胃だけでは行われてはいない」に変化させ,「消化が消化器官全体で行われている」という認識やヒトのからだの仕組みの理解を促した。これは消化が「ただ小さくなった」という物理的な変化だけではなく,「消化が化学変化の分解の事例の 1 つ」であるということを「生体内での反応を模した実験」で検証し，その条件制御の過

程から酵素の至適温度を学び，消化が物理的・化学的な変化であるという理解とあわせて,「ヒトのからだ」という最も身近な生物の体内で行われているという「生物的」「生命科学的」な理解へと導くものである。物理学や化学の基礎となる第 1 分野と生物学の基礎となる第 2 分野の特徴的な見方や考え方が互いに補えるものとなったことが，開発した実験教材を用いた授業実践から検証できた。

教材の善し悪しが授業を通して子どもの思考をくぐり抜けることで初めて明らかになることも多い[22]ため，実験教材を授業実践に適用することでその価値や意味は評価できる。この実験教材を生徒実験として用いた授業実践は，タンパク質と脂肪が別な消化酵素によって別な物質に変化したことを実験で確かめることで生徒の興味や関心を誘い，消化についての内容理解に効果があったと判断できた。さらに化学変化の導入としてこの実験教材を利用した授業を展開してみたところ，第 1 分野と第 2 分野の内容を関連付けて学習することを通して学習内容と生徒の日常とを意識させることができた。

今回の一連の研究によって，消化酵素の働きによって分解され，タンパク質がアミノ酸に，脂肪からグリセリンが生じるという事実を，中学生が実験を通して検証確認可能なものにできた。しかし，生徒の学びの場である授業は「教材」だけでは構成されない。「教師の活動としての教授」と「生徒の活動としての学習」を含めた三者の相互関係[23]で構成される授業を研究するためには，生徒や学校の実態に応じた指導法や教材提示のあり方を含めて，実験を通したタンパク質と脂肪の消化の学習のあり方や生徒にとって最善な授業の検討が必要であり，引き続き不断の努力が必要である。それは，総合的具体的な教育内容及び理科カリキュラムの編成へとつながり，検証授業を通したさらなる追究が必要である。我々にとって最も身近な動物であるヒトの体のつくりは複雑である。そのため消化のような生理学に関する学習は，物理や化学に関する基礎的理解がなければ困難な部分もある。例えば，第 2 学年理科の指導計画を化学→生物と連続して学習する形で教育課程を編成している中学校で，開発した消化の教材をどのように位置づけると無理なく実施でき，かつ高い学習効果が得られるのかを検討することが考えられる。さらに，化学と生物を週に 2 単位時間ずつ同時に履修するような教育課程を編成することや，化学変化の学習の中にデンプン，タンパク質，脂肪の消化の実験を内包するような形で両領域が関連する内容を統合的に学習することを通して第 2 学年の化学と生物の学習内容の一部を各領域別に学習する意味の必要性を再検討することも可能となる。こうした検討の結果を生かすことが総合的具体的な教育内容及び理科カリキュラムの編成へとつながる。

【注解】

注1 平成 20 年に改正された学校教育法施行規則の別表第二（第 73 条関係）に，理科の年間授業時数として第 1 学年 105 時間，第 2 学年 140 時間，第 3 学年 140 時間が示されている。平成 20 年 3 月告示の中学校学習指導要領の第 1 章　総則　第 3 授業時数等の取扱いで，特別活動についての学級活動に関する授業（前述の別表第二には年間 35 時間と記載）が年間 35 週以上にわたって行うように計画することが記されている。そこで，週あたりの授業時数算出に際して 35 で除した。それ以前は，必修教科としての理科の年間授業時数は第 1 学年 105 時間，第 2 学年 105 時間，第 3 学年 80 時間であった。選択教科として理科を設定することはできたが各学校の判断にゆだねられており，全員が履修するわけではなかった。

注2 酵素自体もタンパク質であるが，開発した実験教材ではビウレット反応の呈色に影響しない程度の低濃度であることを意識する必要がある。考察の段階で必要な補足説明をしないと，タンパク質の検出反応が陰性であるがために酵素がタンパク質ではないと生徒に誤解される可能性がある。

【文献】

1) 三宅征夫ほか: 『平成 12～14 年度科学研究費補助金基盤研究（B）（２）研究成果報告書（課題番号 12480036）　理科の教育課程と学力に関する総合的研究』, pp.1-3, 40, 2003, 東京: 三宅征夫.

2) Chromy, V.; Fischer, J. ; Kulhanek, V. :“Re-evaluation of EDTA-Chelated Biuret Reagent”, *Clin. Chem.*, **20**(10), pp.1362-1363, 1974.

3) Pelley, J. W. ; Garner, C. W. ; Little, G. H.: “A Simple Rapid Biuret Method for the Estimation of Protein in Samples Containing Thiols”, *Anal. Biochem.*, **86**, pp.341-343, 1978.

4) Clark, J. M. Jr.:“Experimental Biochemistry”, p.217, 1964, San Francisco: W.H. Freeman and Company.

5) 「新　観察・実験大事典」編集委員会:『新　観察・実験大事典　［生物編］② 動物』, pp.54-55, 2002, 東京: 東京書籍.

6) Bertram, S. H.; Rutgers, R.: “The Estimation of Glycerol and Some Other Hydroxylated Compounds”, *Rec. Trav. Chim.*, **57**, pp.681-687, 1938.

7) Whyte, L. K.: “The Spectrophotometric Determination of Glycerol”, *Oil & Soap*, **23**, pp.323-326, 1946.

8) Spagnolo, F.: “ Spectrophotometric Determination of Glycerol as

Sodium-Cupri-Glycerol Complex”, *Anal. Chem.*, **25**(10), pp.1566-1568, 1953.
9) 鏑木良夫:『使える理科ベーシック 1　理科を大好きにするラクラク予備知識の与え方』, pp.9-41, 2004, 東京:学事出版.
10) 鏑木良夫:『学事ブックレット　理科セレクト 2　教えて考えさせる先行学習で理科を大好きにする』, pp.3-9, 2007, 東京:学事出版.
11) 文部科学省: 『中学校学習指導要領』, pp.63-65, 70-72, 2008, 京都: 東山書房.
12) 文部科学省:『中学校学習指導要領(平成 10 年 12 月)改訂版』, pp.50-51, 55-58, 2004, 東京: 国立印刷局.
13) Benesse 教育研究開発センター: 『中学校の学習指導に関する実態調査報告書 2012』, pp.16-22, http://berd.benesse.jp/berd/center/open/report/gakusyuu_jittai/2012/pdf/data_02.pdf, 2012. (2014 年 11 月現在).
14) Benesse 教育研究開発センター: 『中学校の学習指導に関する実態調査報告書 2013』, pp.16-22, http://berd.benesse.jp/berd/center/open/report/gakusyuu_jittai/2013/pdf/gakushuu_jittai_2013_data_02.pdf, 2013. (2014 年 11 月現在).
15) 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, **36**(2), 241-247, 2012, 日本科学教育学会.
16) 真船和夫:『真船和夫著作集　第 3 巻　子どもの発達と教材・授業』, pp.134-135, 1986, 東京: あずみの書房.
17) 柴田義松: 『授業の原理』, pp.52-54, 1974, 東京: 国土社.
18) 勝田守一: 『教育と教育学』, pp.58-60,1970, 東京: 岩波書店.
19) 前掲書 17), pp.43-44.
20) 柴田義松: 『授業の基礎理論　[授業研究基本図書選 6]』, pp.26-27, 1974, 東京: 明治図書出版.
21) 鈴木秀一, 須田勝彦「第二章　基礎学力の指導過程　-言語と数の指導を中心に-　二　教材の順序構造と指導過程」, 城丸章夫, 大槻健編: 『講座　日本の教育 6　教育の過程と方法』, pp.84-86, 1976, 東京: 新日本出版社.
22) 前掲書 20), pp.23-26.
23) 前掲書 17), pp.44-45.

謝辞・付記

本研究は北海道の公立中学校の教員のままでは成し遂げられなかったものであり，琉球大学名誉教授　立石庸一博士からは筆者が大学教員への道を進むきっかけをいただきました。このきっかけがあったからこそ本論文をまとめることができました。本研究遂行に際して，北海道教育大学教授　浅川哲弥博士，北海道教育大学名誉教授　横山隆允博士，北海道教育大学名誉教授　東尚巳博士，琉球大学の松田伸也教授と杉尾幸司教授から貴重な御示唆を賜りました。琉球大学名誉教授　藤原幸男氏からは授業論と教材論に関する文献資料を頂戴しました。琉球大学教育学部を卒業された儀間（吉田）はるか氏，比嘉渚氏，佐久本優太氏，本村税氏には本実験教材開発ならびに授業実践で実験・調査・研究を手伝っていただきました。授業観察・実践に際しては，比嘉俊氏，木下剛志氏，菊地智裕氏の御協力を賜りました。本論文のとりまとめの段階では，北海道大学大学院教育学研究院　大野栄三教授，北海道大学大学院教育学研究院　大竹政美准教授，帝京大学大学院教職研究科　三石初雄教授ならびに北海道教育大学　浅川哲弥教授から貴重な御意見を賜りました。この場を借りて皆様に心から感謝申し上げます。

最後に沖縄で大学人として生きることの背中を押してくれた喜多広恵氏ならびに母　良子に感謝申し上げるとともに，研究することを支えてくれた妻　はるかに重ねて感謝申し上げます。

本研究の一部の遂行には，文部科学省科学研究費補助金若手研究（A)「中学校理科におけるタンパク質・脂肪の消化の理解を深める教材実験開発」(課題番号 17683007）の助成を受けたことを付記し，この場を借りて感謝の意を表します。

本論文は以下の論文とそれに付随する口頭発表を基にさらに研究をすすめ，大幅な加筆をしてとりまとめたものである。

- 儀間はるか，吉田安規良：「中学校でタンパク質の消化を理解するための実験教材について」，日本理科教育学会北海道支部会誌，**17**，3-6，2005.
- 吉田安規良，比嘉渚：「中学校での脂肪の消化を理解する実験教材開発のための基礎的研究について」，日本理科教育学会北海道支部会誌，**17**，7-12，2005.
- YOSHIDA，A.：“A Simple Experimental Teaching Material for Understanding Digestion of Lipids with Lipase”，理科教育学研究，**48**(2)，115-125，2007.
- 吉田安規良：「小中学校におけるタンパク質・脂肪の消化に関する指導内容の変遷」，化学教育ジャーナル，**10**(1)，
  http://chem.sci.utsunomiya-u.ac.jp/v10n1/yoshida1/，2007.（2014 年 11 月現在）
- 吉田安規良，本多正尚，杉尾幸司，松田伸也：「消化に関する発展的教材実験の実践報告-理科好きの生徒を対象としたサイエンスサマーキャンプのとりくみから-」，化学教育ジャーナル，**10**(1)，
  http://chem.sci.utsunomiya-u.ac.jp/v10n1/yoshida2/，2007.（2014 年 11 月現在）
- YOSHIDA，A.；GIMA，H.：“Experimental Teaching Material Development for Understanding the Digestion of Protein”，理科教育学研究，**49**(1)，169-178，2008.
- 杉尾幸司，吉田安規良，本多正尚，松田伸也：「中学生を対象とした宿泊型理科体験学習-実践の成果と課題-」，理科教育学研究，**49**(2)，115-122，2008.
- 吉田安規良：「タンパク質と脂肪の消化に関する発展的実験教材を用いた授業実践とその評価-中学２年「動物の体のつくりとはたらき」における実践-」，理科教育学研究，**51**(1)，114-160，2010.
- 吉田安規良：「発展的な教材を活用した中学校理科における化学と生物を関連させた授業実践－タンパク質と脂肪の消化を化学変化の導入へ用いた実践－」，理科教育学研究，**52**(2)，155-169，2011.

付録１　沖縄県那覇市立小中学校を対象とした消化に関する実験・授業に関する質問紙
（「動物のかたらのつくり」に関する別研究課題（動物園活用）の調査項目を含む）

小中学校における「動物のからだのつくり」に関する学習指導についての調査

（小学校）

小学校における「動物のからだのつくり」の学習指導についての調査に関する授業の現状と課題を調査するため、アンケートを実施したいと思います。校務分掌等でご多忙なこととは存じますが、ご協力宜しくお願いします。

なお、この調査の結果は、本研究以外に使用することはございません。

≪記入上のお願い≫

①質問文を読んで、当てはまる記号を左側にある回答欄に記入して下さい。
②記述の場合は、所定の場所に書いて下さい。
③記入漏れがないか最後にご確認下さい。

これから、消化の学習指導・実験観察指導についてお聞きします。回答は右側の欄にご記入下さい。

〈回答欄〉

◎ご回答して頂く方についてお聞きます。

１、回答者の年齢　（①２０代　②３０代　③４０代　④５０代以上）　1

２、回答者の性別　（①男　②女）　2

３、取得している教員免許の全てに〇印を付けて下さい。また、理科の教科以外の免許を取得されている方は、表の下に学校種と教科名を書いて下さい。　3 左に記入

	専修免許	１種（１級）免許	２種（２級）免許
小学校			
中学校（理科）			
高等学校（理科）			

他教科の免許　（学校種と教科名　例：中学２種英語）
（　　）

４、小６の理科の授業形態についてお聞きします。　4 ③は左に記入
①理科専科が担当
②学級担任が担当
③その他（例：理科専科と学級担任のチームティーチングなど）
（　　）

◎消化の授業の内容についてお聞きします。

５、「消化の概念」はどの程度まで教えていますか。　5 ③は左に記入
①教科書に書かれている内容程度［食べ物がからだに吸収されやすい養分に変えられること］
②中学校で学習する内容［デンプンはブドウ糖、タンパク質はアミノ酸、脂肪は脂肪酸とグリセリンに分解される］
③それ以外

（具体的に　　）

６、今までに、児童が直接活動する形（いわゆる児童実験）で消化の実験を実施したことがありますか。

６

②は左に記入

①教科書に掲載されている､だ液とデンプンを用いてヨウ素デンプン反応で検出の実験を行った。

②それ以外の実験を行った。

具体的に

③実験は行ったことはない。

７、今までに、教員の演示実験の形で消化の実験を実施したことがありますか。

７

②は左に記入

①だ液とデンプンを用いてヨウ素デンプン反応で検出の実験を行った。

②それ以外の実験を行った。

具体的に

③実験はしていない

８、回答者ご自身が、タンパク質や脂肪の消化の実験を経験・体験したことはありますか。

８

②は左に記入

①ない

②ある

具体的にどのようなことを、どの学校の時に

次に、動物を取り扱う単元（５年：生命の誕生、６年：動物のからだのはたらき）の学習指導についてお聞きします。回答は右側の欄にご記入下さい。

〈回答欄〉

◎動物を取り扱う単元の学習内容についてお聞きします。

１、難易度は、児童にとってどうだと思いますか。
①非常に易しい　②まあまあ易しい　③やや難しい　④非常に難しい

1

２、内容は、児童にとってどうだと思いますか。
①非常に興味がある　②まあまあ興味がある　③やや興味がない　④非常に興味がない

2

３、教える内容・配当時間は、現在のもので十分だと思いますか。
①内容、時間ともに不足　②内容は十分だが、時間は不足
③内容は不足だが、時間は十分　④内容、時間ともに十分

3

４、この単元の学習は、児童にとって有意義だと思いますか。
①非常にそう思う　②まあまあそう思う
③あまりそう思わない　④全くそう思わない

4

◎動物を取り扱う単元の指導方法についてお聞きします。

５、この単元を教えることは好きですか。
①非常に好き　②まあまあ好き　③あまり好きではない　④全く好きではない

5

６、この単元を扱うことは得意ですか。
①非常に得意である　②まあまあ得意である
③やや不得意である　④全く不得意である

6

７、指導の際、難しいと感じるものは何ですか。自由に書いて下さい。

（　　）

7
左に記入

８、指導の際、工夫しているところは何ですか。（教材、指導法）

（　　）

8
左に記入

９、動物の生態を観察させる時、どんな方法をとっていますか。（複数解答可）

①教科書にある写真、イラストを見せる　②資料集や図鑑を使って説明する
③ビデオを視聴する　④スライドやＴＰシートを使う
⑤学校で飼育している動物を観察　⑥近所にある飼育場などを見学する
⑦動物園などの施設を見学する
⑧その他（　　）

９

その他は左に記入

１０、実際の動物の観察は、必要だと思いますか。また、選んだ理由もお答え下さい。

①非常にそう思う　②まあまあそう思う
③必ずしも必要ではない　④必要ではない

※その理由

１０

理由は左に記入

◎動物園と理科教育についてお聞きします。

１１、動物園は、何をするところだと思いますか。（複数回答可）

①遊ぶところ　②動物の観察　③学習をするところ
④職場体験（職場訪問）　⑤のんびりするところ
⑥その他
（　　）

１１

その他は左に記入

１２、小学校の理科学習の場として、動物園は有効だと思いますか。また、選んだ理由もお答え下さい。

①非常にそう思う　②まあまあそう思う
③あまりそう思わない　④全く思わない

１２

※その理由（複数回答可）

①生命の尊厳について教えられる絶好の場だから　②生きた動物は素晴らしい教材だから
③学習指導要領に書かれているから　④場所が遠いから
⑤引率が困難だから　⑥教材として不十分だから
⑦動物園を活用する方法が分からないから　⑧ワークシートを作るのが大変だから
⑨動物園と事前協議（コンセンサス）が必要だから
⑩その他
（　　）

１２の理由

その他は左に記入

１３、動物園で、理科の学習をするために必要なものは何だと思いますか。自由に書いて下さい。

（　　）

１３
左に記入

１４、動物園を活用する場合、教具やワークシートなどは誰が作るべきだと思いますか。（複数回答可）

①教員が主となり作成　②動物園が主となり作成　③両者が連携して作成
④教育委員会　⑤大学
⑥その他
（　　）

１４
その他は左に記入

１５、ほとんどの動物園には、教育プログラム（動物園を活用した理科の授業実践例、学習指導案、指導マニュアル等）は存在していません。このことについてどう思いますか。自由に書いて下さい。

（　　）

１５
左に記入

１６、動物園への要望はありますか。（複数回答可）

①教育プログラムを作って欲しい　②学校との連携を密にして欲しい
③何ができるのか教えて欲しい　④職場体験の場だけでよい
⑤その他
（　　）

１６
その他は左に記入

１７、動物園を使ってどんなことが出来ると思いますか。あなたのアイデアを自由に書いて下さい。

（　　）

１７
左に記入

１８、動物園で、理科の授業をやってみたいと思いますか。また、選んだ理由もお答え下さい。

①思う　②思わない

※その理由

１８
理由は左に記入

◎最後に、回答者ご自身についてお聞きします。

１９、今までに、動物園に行ったことはありますか。ある方はおおよその回数を書いて下さい。

①ある→（　　回くらい）　　②ない

１９
回数は左に記入

２０、動物園に行ったことがある方にお聞きします。今までに、どこの動物園に行ったことがありますか。（複数回答可）

①沖縄こどもの国　　②名護自然動植物公園（ネオパークオキナワ）
③旭山動物園（北海道）　④恩寵上野動物園（東京）　⑤多摩動物公園（東京）
⑥その他
（　　）

２０
その他は左に記入

２１、今までに、動物園でガイド（説明）を受けたことがありますか。

①ある→どこの動物園で受けましたか。また、どのような内容でしたか。

（　　）

②ない

２１
①は左に記入

２２、回答者の得意な（専門）分野について、あてはまるものに〇印をつけてください。

①物理　②化学　③生物　④地学　⑤その他（　　）

２２
⑤は左に記入

質問は以上です。
最後に、記入漏れが無いかお確かめ下さい。

ご協力ありがとうございました。

小中学校における「動物のからだのつくり」に関する
学習指導についての調査
（中学校）

中学校における「動物のからだのつくり」の学習指導についての調査に関する授業の現状と課題を調査するため、アンケートを実施したいと思います。校務分掌等でご多忙なこととは存じますが、ご協力宜しくお願いします。

なお、この調査の結果は、本研究以外に使用することはございません。

≪記入上のお願い≫

①質問文を読んで、当てはまる記号を左側にある回答欄に記入して下さい。
②記述の場合は、所定の場所に書いて下さい。
③記入漏れがないか最後にご確認下さい。

これから、消化の学習指導・実験観察指導についてお聞きします。回答は右側の欄にご記入下さい。

〈回答欄〉

◎ご回答して頂く方についてお聞きします。

１、回答者の年齢　（①２０代　②３０代　③４０代　④５０代以上）　1

２、回答者の性別　（①男　②女）　2

３、取得している教員免許の全てに〇印を付けて下さい。また、理科の教科以外の免許を取得されている方は、表の下に学校種と教科名を書いて下さい。　3 左に記入

	専修免許	１種（１級）免許	２種（２級）免許
小学校			
中学校（理科）			
高等学校（理科）			

他教科の免許　（学校種と教科名　例：中学２種英語）

（　　）

◎消化の授業の内容についてお聞きします。

４、「消化の概念」はどの程度まで教えていますか。　4 ③は左に記入

①小学校の教科書に書かれている内容程度［食べ物がからだに吸収されやすい養分に変えられること］

②中学校の教科書に書かれている内容程度［デンプンはブドウ糖、タンパク質はアミノ酸、脂肪は脂肪酸とグリセリンに分解される］

③それ以外

具体的に

５、今までに、生徒が直接活動する形（いわゆる生徒実験）で消化の実験を実施したことがありますか。

５

②は左に記入

①教科書のだ液とデンプンを用いてヨウ素デンプン反応、ベネジクト反応で検出の実験を行った。

②それ以外の実験を行った。

具体的に

③実験は行っていない。

６、今までに、教員の演示実験の形で消化の実験を実施したことがありますか。

６

②は左に記入

①だ液とデンプンを用いてヨウ素デンプン反応、ベネジクト反応で検出の実験を行った。

②それ以外の実験を行った。

具体的に

③実験は行っていない。

７、回答者ご自身が、タンパク質や脂肪の消化の実験を経験・体験したことはありますか。

７

②は左に記入

①ない

②ある

具体的にどのようなことをどの学校の時に

次に、動物を取り扱う単元（２分野・第２学年：動物の生活と種類、第３学年：自然と人間）の学習指導についてお聞きします。回答は右側の欄にご記入下さい。

〈回答欄〉

◎動物を取り扱う単元の学習内容についてお聞きします。

１、難易度は、生徒にとってどうだと思いますか。 1
①非常に易しい　②まあまあ易しい　③やや難しい　④非常に難しい

２、内容は、生徒にとってどうだと思いますか。 2
①非常に興味がある　②まあまあ興味がある　③やや興味がない　④非常に興味がない

３、教える内容・配当時間は、現在のもので十分だと思いますか。 3
①内容、時間ともに不足　②内容は十分だが、時間は不足
③内容は不足だが、時間は十分　④内容、時間ともに十分

４、この単元の学習は、生徒にとって有意義だと思いますか。 4
①非常にそう思う　②まあまあそう思う　③あまりそう思わない　④全くそう思わない

◎動物を取り扱う単元の指導方法についてお聞きします。

５、この単元を教えることは好きですか。 5
①非常に好き　②まあまあ好き　③あまり好きではない　④全く好きではない

６、この単元を扱うことは得意ですか。 6
①非常に得意である　②まあまあ得意である　③やや不得意である　④全く不得意である

７、指導の際、難しいと感じるものは何ですか。自由に書いて下さい。 7 左に記入

（　　）

８、指導の際、工夫しているところは何ですか。（教材、指導法） 8 左に記入

（　　）

９、動物の生態を観察させる時、どんな方法をとっていますか。（複数解答可）

①教科書にある写真、イラストを見せる　②資料集や図鑑を使って説明する
③ビデオを視聴する　④スライドやＴＰシートを使う
⑤学校で飼育している動物を観察　⑥近所にある飼育場などを見学する
⑦動物園などの施設を見学する
⑧その他（　　）

９

その他は左に記入

１０、実際の動物の観察は、必要だと思いますか。また、選んだ理由もお答え下さい。

①非常にそう思う　②まあまあそう思う
③必ずしも必要ではない　④必要ではない

※その理由

１０

理由は左に記入

◎次に、動物園と理科教育についてお聞きします。

１１、動物園は、何をするところだと思いますか。（複数回答可）

①遊ぶところ　②動物の観察　③学習をするところ
④職場体験（職場訪問）　⑤のんびりするところ
⑥その他
（　　）

１１

その他は左に記入

１２、中学校の理科学習の場として、動物園は有効だと思いますか。また、選んだ理由もお答え下さい。

①非常にそう思う　②まあまあそう思う
③あまりそう思わない　④全く思わない

１２

※その理由（複数回答可）

①生命の尊厳について教えられる絶好の場だから　②生きた動物は素晴らしい教材だから
③学習指導要領に書かれているから　④場所が遠いから
⑤引率が困難だから　⑥教材として不十分だから
⑦動物園を活用する方法が分からないから　⑧ワークシートを作るのが大変だから
⑨動物園と事前協議（コンセンサス）が必要だから
⑩その他
（　　）

１２の理由

その他は左に記入

１３、動物園で、理科の学習をするために必要なものは何だと思いますか。自由に書いて下さい。

（　　）

１３
左に記入

１４、動物園を活用する場合、教具やワークシートなどは誰が作るべきだと思いますか。（複数回答可）

①教員が主となり作成　②動物園が主となり作成　③両者が連携して作成
④教育委員会　⑤大学
⑥その他
（　　）

１４

その他は左に記入

１５、ほとんどの動物園には、教育プログラム（動物園を活用した理科の授業実践例、学習指導案、指導マニュアル等）は存在していません。このことについてどう思いますか。自由に書いて下さい。

（　　）

１５
左に記入

１６、動物園への要望はありますか。（複数回答可）

①教育プログラムを作って欲しい　②学校との連携を密にして欲しい
③何ができるのか教えて欲しい　④職場体験の場だけでよい
⑤その他
（　　）

１６

その他は左に記入

１７、動物園を使ってどんなことが出来ると思いますか。あなたのアイデアを自由に書いて下さい。

（　　）

１７
左に記入

１８、動物園で、理科の授業をやってみたいと思いますか。また、選んだ理由もお答え下さい。

①思う　②思わない

（※その理由　　）

１８

理由は左に記入

◎最後に、回答者ご自身についてお聞きします。

１９、今までに、動物園に行ったことはありますか。ある方はおおよその回数を書いて下さい。
①ある→（　　回くらい）　　②ない

１９
回数は左に記入

２０、動物園に行ったことがある方にお聞きします。今までに、どこの動物園に行ったことがありますか。(複数回答可)
①沖縄こどもの国　　②名護自然動植物公園（ネオパークオキナワ）
③旭山動物園（北海道）　④恩寵上野動物園（東京）　⑤多摩動物公園（東京）
⑥その他
（　　）

２０
その他は左に記入

２１、今までに、動物園でガイド（説明）を受けたことがありますか。
①ある→どこの動物園で受けましたか。また、どのような内容でしたか。
（　　）
②ない

２１
①は左に記入

２２、回答者の得意な（専門）分野について、あてはまるものに〇印をつけてください。

①物理　②化学　③生物　④地学　⑤その他（　　）

２２
⑤は左に記入

質問は以上です。
最後に、記入漏れが無いかお確かめ下さい。

ご協力ありがとうございました。

付録２　中学生サイエンスサマーキャンプでの実験テキスト（消化の実験の部分）

タンパク質や脂肪は、消化酵素によって何に分解されるのだろう？

講師：琉球大学教育学部理科教育講座　　講師　吉田 安規良

1.　はじめに

皆さんは小学校の時に、消化について「食べ物がからだに吸収されやすい養分に変えられること」と学習しています。中学２年では、様々な消化液中の消化酵素の働きによってデンプン、タンパク質、脂肪が分解されることを学習します。

デ ン プ ン　　→

タンパク質　　→

脂　　肪　　→

この中で皆さんは、デンプンがだ液中の酵素の働きで、＿＿＿に変化することを実験で確かめたことがあると思います。しかし、タンパク質や脂肪が何に分解されるのかを調べたことはありますか？

今日と明日の実験ではタンパク質や脂肪が最終的に何に分解されるのかを実験で調べてみます。

2.　準備（１日目の作業）

(ア) 消化液（消化酵素）の代わり

ヒトのからだの中で、様々な消化液や消化酵素の働きでタンパク質や脂肪が分解されます。しかし、タンパク質や脂肪に働く消化液は、だ液ほど簡単に取り出すことはできません。そこで、様々な消化液の代用品を今回は使います。使用するのは「新ビオヂアス」や「ビオフェルミン健胃消化薬錠」といった、市販の消化（胃腸）薬です。では、この消化薬を使って、「人工消化薬」を調製しましょう。

＜作業＞

・タンパク質分解用の人工消化液の調製

新ビオヂアス３錠を乳鉢と乳棒を用いて粉砕します。この粉を水 100 mL に入れて 20 分間撹拌し、消化酵素を抽出します。その後、遠心分離器で不溶成分（沈殿）と溶液とに分けます。

・脂肪分解用の人工消化液の調製

ビオフェルミン健胃消化薬錠 30 錠を乳鉢と乳棒を用いて粉砕します。上と同様に、この粉を水 90 mL に入れて 20 分間撹拌し、消化酵素を抽出します。その後、遠心分離器で、不溶成分（沈殿）と溶液に分けます。

(イ) タンパク質と脂肪は何を用いるの？

タンパク質として、ゼラチンを用います。脂肪としてはオリーブ油を用います。ゼラチンはタンパク質以外のものがほとんど含まれていません。また、オリーブ油は、脂肪を分解する消化酵素の能力を調べる「日本薬局方」でも、脂肪の材料として使われています。

ゼラチンは、市販の製菓用ゼラチン粉 2.0 g を 80 ℃の水 50 mL に溶かしたものを試験管に 2.0 mL 入れて冷却して固めたものを使います。

オリーブ油は、そのまま試験管に 1.0 mL 入れます。

(ウ) それでは反応開始

タンパク質は、ゼラチンの入った試験管に人工消化液を 10.0 mL 加えてください。脂肪は、オリーブ油が入った試験管に人工消化液を 1.0 mL 加えた後、試験管ミキサーで２分程度十分撹拌してください。ここまでの作業が終了したら、40 ℃の恒温槽に試験管を入れてください。

3. 皆さんが与那に行っている間に

T.A.が皆さんの実験サンプルを管理しておきます。タンパク質のサンプルは 15 分後に一度撹拌します。脂肪のサンプルは実験終了１時間前に、２分程度撹拌します。また、タンパク質のサンプルは、２４時間経過後に冷蔵庫に入れて冷やします。

4. ２日目の作業（結果確認）

それでは、０時間（最初）のものと比較してみましょう。

・タンパク質の場合

① まず、比較用に０時間（最初）の状態のサンプルをもう１本つくりましょう。昨日の残りの人工消化薬（冷蔵庫で保存）を冷え固まったゼラチンの入っている試験管に入れます。さらに２本の試験管 A1、B1 を用意します。A1、B1 に今調製したサンプルから上澄み液を 1.0mL 採取します。

② もう１本のサンプルはそのまま 15 分間 40 ℃の恒温槽に入れます。15 分後に撹拌した後、２本の試験管 A2、B2 に上澄み液を 1.0 mL 入れます。その後、このサンプルのゼラチンの様子を観察します。

③ ２４時間経過後のサンプルからも上澄み液をとります。冷蔵庫から取り出し、ゼラチンの変化の様子を観察した後、２本の試験管 A3、B3 に上澄み液を 1.0 mL 入れます。

④ A1ーA3 の試験管ではビウレット反応を行います。タンパク質があると、青紫色を示します。A1ーA3 の試験管にビウレット試薬をそれぞれ 4.0mL 入れ、撹拌します。A1ーA3 の色の違いを見比べましょう。

⑤ B1ーB3 の試験管ではニンヒドリン反応を行います。B1ーB3 の試験管にそれぞれ水を 9.0 mL 注ぎ、10 倍に希釈します。その希釈した溶液を別の試験管にそれぞれ 2.0 mL とり、ニンヒドリン試薬を 1.0 mL 入れます。その後沸湯浴中で 10 分間加熱します。

結　　果	試 験 管 １ （ ０ 時 間 ）	試 験 管 ２ （15 分後）	試 験 管 ３ （24 時間後）
A（ビウレット反応）			
B（ニンヒドリン反応）			
ゼラチンの変化			

ここからわかること

・脂肪の場合

① まず、比較用に０時間（最初）の状態のサンプルをもう２本つくりましょう。昨日の残りの人工消化薬（冷蔵庫で保存）とオリーブ油を反応させます。１分程度撹拌した後、２層に分離するのを 30 分程度待ちましょう。

② ２層に分離したことを確認後、０時間と 24 時間後の２つのサンプルからそれぞれ消化液の層（下層）だけを目盛付き試験管に 0.50mL とります。この時、絶対オリーブ油を混入させてはいけません。

③ ②に 21%(W/V)水酸化ナトリウム水溶液を 0.50 mL 入れて撹拌します。次にエタノールを試験管の目盛の 4.0 mL のところまで入れ、撹拌した後、10％（W/V）塩化銅（Ⅱ）エタノール溶液を 0.30 mL 入れ１ー２分程度よく撹拌します。最後にエタノールで溶液全体を 5.0 mL にします。

④ ③をろ過します。ろ液の色を比較します。

結　　果	試　験　管　１ （　０　時　間　）	試　験　管　２ （２４時間後）
ろ液の色		
ここからわかること		

付録３　中学生サイエンスサマーキャンプの事後アンケート

サイエンスキャンプアンケート

このアンケートは匿名かつ任意であり、得られた結果は研究・教育目的以外で使用しません。

当てはまる番号を○でかこんでください

①あなたの性別は？　　1．男性　　2．女性

②あなたの学年は？　　1．中学１年　　2．中学２年　　3．中学３年　　4．その他（　　）

③このキャンプを何で知りましたか？

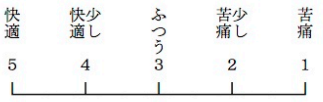
1．先生　　2．友人　　3．家族　　4．学校の掲示　　5．インターネット　　6．その他（　　）

④各内容について採点してください。

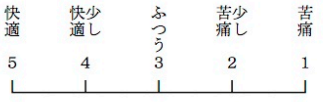
		良い	良少いし	ふつう	悪少いし	悪い
地学観察（比地大滝）	おもしろさ	5	4	3	2	1
	わかりやすさ	5	4	3	2	1
天体観測	おもしろさ	5	4	3	2	1
	わかりやすさ	5	4	3	2	1
生物観察（徒歩）	おもしろさ	5	4	3	2	1
	わかりやすさ	5	4	3	2	1
生物観察（車）	おもしろさ	5	4	3	2	1
	わかりやすさ	5	4	3	2	1
化学実験	おもしろさ	5	4	3	2	1
	わかりやすさ	5	4	3	2	1

	良い	良少いし	ふつう	悪少いし	悪い
⑤食事はどうでしたか？	5	4	3	2	1

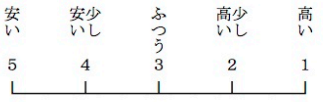
⑥バスでの移動はどうでしたか？



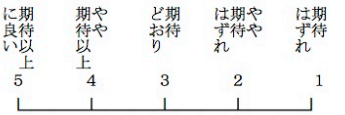
⑦宿泊（部屋の設備・ベッドの寝心地など）はどうでしたか？



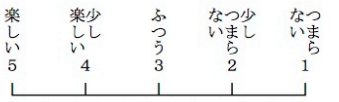
⑧参加費はどうでしたか？



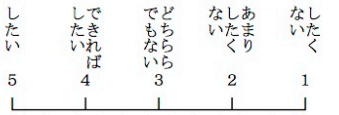
⑨全体としてサイエンスキャンプは期待どおりでしたか？



⑩全体としてサイエンスキャンプはどうでしたか？



⑪来年もサイエンスキャンプに参加したいですか？



⑫一番印象に残った活動名（食事・バス移動なども含む）をあげ、それについて感想を書いて下さい。

活動名［　　］

⑬大学の先生や大学生と一緒に活動した感想や印象を書いて下さい。

⑭来年度してみたい活動内容を書いて下さい。

⑮要望・改善点など自由に書いて下さい（スペースが足りなければ裏にお願いします）。

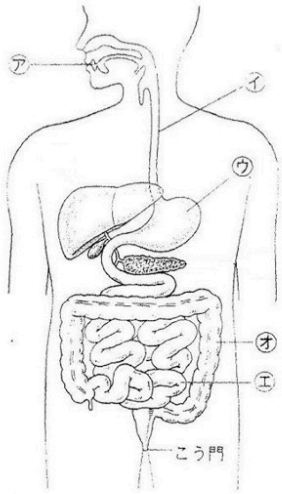
ご協力ありがとうございました

付録４　消化の学習に関する事前テスト（小学校の学習範囲）

確認テスト

（　　）年（　　）組（　　）番　　氏名

１．　図は、人の消化に関係する部分を簡単に表したものです。次の問いに答えなさい。



(1)**ア**～こう門までの食べ物の通り道を何といいますか。（　　）

(2)**ア**～**オ**の部分をそれぞれ何といいますか。

ア（　　）**イ**（　　）**ウ**（　　）**エ**（　　）

オ（　　）

(3)次の消化液を何といいますか。

口から出る消化液（　　）

(4)消化された食べ物の養分はおもにどこから吸収されますか。

図の**ア**～**オ**から選び、記号で答えなさい。（　　）

(5) **ア**～こう門まで、食べ物が通っていく順に記号を並べなさい。

ア　⇒（　　）⇒（　　）⇒（　　）⇒（　　）⇒こう門

２．だ液のはたらきを調べるために次のような実験をしました。次の問いに答えなさい

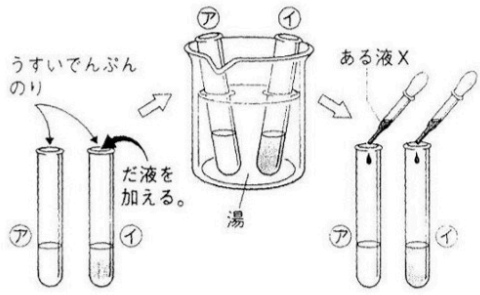
実験

1　うすいでんぷんのりを２本の試験管㋐，㋑に入れる。

2　試験管㋑にだ液を加えて，よくかき混ぜる。

3　試験管㋐，㋑を10分間，湯につける。

4　２本の試験管にある液Ｘを加えて，色の変化を調べたところ，１本だけ色が変化し，でんぷんがあることがわかった。



(1)ある液Ｘはデンプンがあると色が変化します。ある液Ｘを何といいますか。

（　　）

(2)試験管**ア**、**イ**にある液Ｘを加えると色はどのように変化しますか。次の中からそれぞれ選び、記号で答えなさい。　　**ア**（　　）**イ**（　　）

Ａ：青むらさき色になる　　Ｂ：みどり色になる

Ｃ：白くにごる　　Ｄ：変化しない

(3)この実験から、だ液のはたらきについてわかることは何ですか。簡単に書きなさい。

（　　）

付録５　消化の学習に関する事後テスト（中学校の学習範囲）

チェックテスト

（　　）年（　　）組（　　）番　　名前（　　）

1．次の問いに答えなさい。

(1)　図１のA，C～Hをそれぞれ何というか。

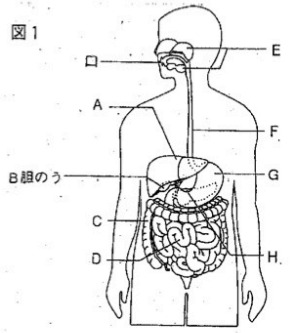
A〔　　〕　C〔　　〕

D〔　　〕　E〔　　〕

F〔　　〕　G〔　　〕

H〔　　〕

図1



(2)　食べ物の通り道を図１のA～Hから選び，記号を通る順に並べなさい。

口 →〔　　〕→〔　　〕→〔　　〕→〔　　〕→ 肛門

(3)　(2)のことを何というか。　〔　　〕

(4)　次のはたらきをする器官を図１のA～Hから選び，記号で答えなさい。

①　消化酵素はふくまれていないが，脂肪の消化を助ける消化液を出す。〔　　〕

②　消化された栄養分を柔毛から吸収する。〔　　〕

③　おもに水分を吸収する。〔　　〕

④　タンパク質を最初に分解する消化液を出す。〔　　〕

(5)　次の栄養分は，消化されて最終的にはどんな物質になるか。

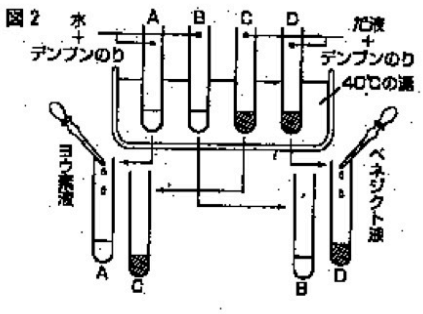
①　デンプン　〔　　〕

②　タンパク質　〔　　〕

③　脂肪　〔　　〕

2．図２のように，デンプンのりを入れた試験管A，Bには水を，C，Dにはだ液を入れ，40度の水に１０分間置いた。次の問いに答えなさい。

図2



(1)　試験管A，Cにヨウ素液を加えた。液が青紫色に変化するのはどちらか。〔　　〕

(2)　試験管B，Dにベネジクト液を加え煮沸した。液に変化が見られるのはどちらか。〔　　〕

(3)　この実験の結果から，だ液にはどのようなはたらきがあることがわかるか。簡単に書きなさい。

〔　　〕

(4)　だ液のかわりに水を使った実験も同時に行っているのはなぜか。簡単に書きなさい。

〔　　〕