

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和元年6月5日現在

機関番号：16102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K00967

研究課題名(和文)化学・生物の複合的素材：酵素の教材化と評価

研究課題名(英文) Application and evaluation of enzymes as interdisciplinary matters between chemistry and biology aiming at educational materials

研究代表者

胸組 虎胤 (MUNEGUMI, TORATANE)

鳴門教育大学・大学院学校教育研究科・教授

研究者番号：00200246

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：理科4科目は4概念：エネルギー、粒子(物質)、生命、地球のすべてと関連するが、各科目は1概念の構成との印象を与える。複数概念から多面的に考察する教材開発のため、生命と粒子の間に存在する「酵素」の教材利用を提案した。唾液と食器洗い機洗剤の α-アミラーゼの反応を比較し、生命と粒子の両方に関わる教材を作った。α-アミラーゼの教材を、鳴門教育大学附属中学校での授業に使用し、生物と物質の関係、同じ働きをする酵素でも安定性の違いを認識させられた。リパーゼにより生成するモノグリセリドの類似化合物の N-ヒドロキシフタルイミド誘導体の開環反応、塩基性フクシンを利用した方法で可能となった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果は概念間に存在する学習項目を各科目から同時に捉え直す基礎になる。

消化は生命の作用としての捉え方が主であったが、消化を行っている物質について反応という捉え方で酵素を用いると、「日々の生活」に関係する物質としても捉えられる教材となる。また、小学校では消化の教材は唾液以外ほとんど知られていないが、消化と同じ作用をする酵素の他の例を学ばせることができる。中学校では、α-アミラーゼ、プロテアーゼ、リパーゼが例示されているが、特にリパーゼを扱った教材は知られていない。本研究の結果は酵素には様々なものがあることを実験で確かめられる教材を提供できる。高等学校では定量的実験へと発展可能と考える。

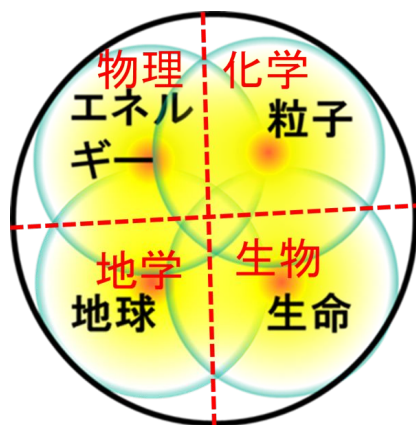
研究成果の概要(英文)：Any of the four disciplines composing natural science relates to all four core ideas: energy, particle (matter), life, and earth, but each discipline gives learners an image of combination with only one core idea. Application of enzymes to educational materials were demonstrated in this project to develop interdisciplinary thinking from core ideas: life and matter. Comparing the reactions of α-amylases from saliva and dishwasher-detergents, educational materials crosscutting both core ideas: matter and life were prepared. When an educational practice using the the materials was carried out in the junior high school affiliated with Naruto University of Education, most of the students could recognize enzymes are in the both core ideas of life and matter. Two different educational materials were also prepared using N-hydroxyphthalimide derivatives and fuchsine to monitor the reactions by lipase.

研究分野：科学教育，教科内容学，生物有機化学

キーワード：生命 粒子(物質) 消化 酵素 α-アミラーゼ プロテアーゼ リパーゼ 理科の教科横断

1. 研究開始当初の背景

現在の学習指導要領では、小中高等学校にわたり科目内容の系統性と連続性がより明確になり、物理・化学・生物・地学の4分野のそれぞれを構成する基本概念を「エネルギー」、「粒子(物質)」、「生命」、「地球」の4概念と定め、その定着を図ることが大きな目標とされた(文部科学省, 2011)。しかし、これらの基本概念それぞれは関連し、学習者に想起させる内容は広がりを持っており、物理だけ、化学だけ、生物だけ、地学だけにとどまらない(Munegumi, 2013; 胸組・早藤, 2014)。4科目と4概念の関連性をたとえば図のように示すことができる。



4概念の中心を核で示し、それを中心にした円で概念の広がりを見せている。それぞれの概念はすべて重なりを持っている。点線で表したのは科目の境界線であり、重なりはなく明確に仕切られていることを意味する。周りの円は理科全体の教育内容を示しており、4概念に当てはまらないものの可能性を残している。

物理の教科内容を構成する基本概念である「エネルギー」は、化学、生物、地学の中にも包含される概念である。他の3つの概念についても同様である。化学という科目の基本概念は「粒子(物質)」であるが、その所在は生命または、地球とそれを取り囲む宇宙である。化学反応で「粒子(物質)」の「エネルギー」を考察することもある。生物の基本概念は「生命」であるが、光のエネルギー

を用いてデンプンを合成する光合成では、「粒子(物質)」の反応が問題であり、生命の歴史にはその環境である地球の歴史は重要である。地学の基本概念は「地球」であるが、地震を引き起こしている「エネルギー」はどこから来るのか、岩石を構成する化学成分は何か、かつてある地域に繁茂していた植物(「生命」)が化石となり堆積している。以上のように4科目は4概念すべてと関連している。

ところが、物理・化学・生物・地学の科目の境界は相変わらず従来通り存在し、4概念をそれぞれの科目の枠内に留める働きをしている。科目の系統性は境界を守ろうとしているが、同時に4概念を強調することで科目間の境界を曖昧にするという矛盾を生じさせている。この矛盾はいくつかの学習上の不都合を引き起こす。ある科目の基本概念に興味を持った学習者が、科目の境界を越えて、同じ概念に関連する項目を学習することが阻まれる。また、ある科目の学習項目について特定の概念のみからの説明がされれば、学習者が他の概念からの見方をすることを阻む。その結果、ある自然現象について多面的な見方ができなくなると想定される。

2. 研究の目的

このような多面的な見方は、STEM教育(Framework for K-12 Science Education, 2012)やSTEAM教育(Emerging Technologies for STEAM Education, 2015)に見られるように、新しい理科教育の展開の方向性にもかかわる。現実の自然現象を1つの概念だけで把握できないため、各概念間および科目間の境界領域または重複領域の扱いが問題となる(Munegumi, 2013; 胸組・早藤, 2014)。複数概念から多面的に考察できる教材を開発することで、概念と科目の矛盾を埋め合わせることができると考える。本研究では、概念間、科目間の重複領域にある学習項目を具体的に捉えるため、「生命」と「粒子(物質)」の重複に存在する「消化」という学習項目を「生命」と「粒子(物質)」の両方から同時に学ぶ教材として「酵素」を用いることを提案し、具体的な酵素の素材を従来から用いられている唾液とともに他の素材の利用法を考える。たとえば、(ア)食器洗い機用洗剤(アミラーゼ、プロテアーゼ、リパーゼ)、(イ)消化薬(アミラーゼ、リパーゼ)の教材化と教材の評価の研究を行う。

3. 研究の方法

教材化については、小学校から中学校までの定性的な教材、中学校から高等学校を対象とした定量的な教材の開発を試みる。上記の酵素素材に含まれる酵素のうち、デンプンを加水分解するアミラーゼ、タンパク質を加水分解するプロテアーゼ、脂肪を加水分解するリパーゼに焦点を当てて教材開発を行う。平成28年度前半にはアミラーゼとプロテアーゼについて教材としての利用手順を確立し、実際に演示実験と授業で使用できる形を作った。これらの酵素については酵素反応の前後の変化をそれぞれベネディクト試薬とウロペーパーで調べることができる。平成28年度後半から平成29年度にかけては、リパーゼに教材化の中で、リパーゼによって中性脂肪から実際に生成するモノアシルグリセリド(モノグリセリド)またはグリセリンと脂肪酸の定性および定量を行う実験手順を開発した。

上記のテーマを次の4つのサブテーマとして実施した。

A. アミラーゼとプロテアーゼの教材化

- B. アミラーゼとプロテアーゼの教材評価
- C. リパーゼの教材化
 - a. 消化薬リパーゼ AP によるグリセリン生成確認
 - b. 食器洗い機用洗剤リパーゼによるモノグリセリドの生成確認
- D. リパーゼの教材評価

4. 研究成果

(1)平成 28 年度には、唾液と食器洗い機用洗剤の アミラーゼの反応を比較することで、「生命」と「粒子」の両方に関わる教材の基本的な形を作り上げた。「生命」由来の唾液の アミラーゼと「粒子」由来の食器洗い機用洗剤 アミラーゼの反応が高温で作用するかしないかを比べて、授業展開を工夫する方向性を導くことができた。平成 28 年度に、食器洗い機用洗剤に含まれる酵素を用いた化学と生物の横断的教材について、(1)アミラーゼを用いた教材、(2)プロテアーゼを用いた場合について、教材化を行った。アミラーゼを用いた教材では、唾液中に含まれるアミラーゼの反応と比較し、共通点はデンプンを加水分解して還元糖を生成すること、異なる点は反応を進行させる温度条件であった。唾液中のアミラーゼは 100 近い高温では失活するのに対して、食器洗い機用洗剤に含まれるアミラーゼは失活しなかった。このことから、酵素が生物外でも作用するとともに、異なる生物でも同様な反応をする酵素を有する事実を確認できると考えられた。プロテアーゼの反応検出については、ウロペーパーを用いて、卵白の希釈溶液の反応を見ることができたが、色の変化が緑色と黄色の変化という微妙なものであり、明確さが欠けるものであった。

(2)平成 29 年度は アミラーゼを用いた教材を実際に用いて、鳴門教育大学附属中学校で授業を実施し、生物と物質の関係、同じ働きをする酵素でも、生物によって安定性が異なることが認識された。さらに、リパーゼの反応によりトリグリセリドが生成するモノグリセリドの検出をおこなうために、N-ヒドロキシフタルイミド誘導体の開環反応を利用する実験を実施し、開環反応が分光光度計を用いて検出できることが明らかとなった。この方法においては、用いた N-ヒドロキシフタルイミド誘導体の吸収極大(295nm)が開環によっての低波長側 275nm に移動した。このことを用いて、メタノールによる開環反応速度を求めることができた。この結果はアルコール性水酸基をもつモノグリセリドの定量にも利用できる可能性を示唆した。

(3)平成 30 年度は(3)リパーゼによりトリグリセリドから生成するモノグリセリドの検出に焦点を当てて研究を行った。まず、生成物であるモノグリセリドになる反応は、アルコール性水酸基の生成を確認することによって検出可能であると捉え、メタノール以外に エチレングリコール、グリセリン、モノアセチン(1 位の水酸基だけにアセチル基の結合した)をそのモデル化合物として用いた。N-ヒドロキシフタルイミド誘導体の開環反応をアルコール性水酸基の検出に利用し、エチレングリコールによる開環反応を検出できた。また、塩基性フクシンと亜硫酸ナトリウム、1 M-HCl の混合水溶液を定性試薬(無色)として使用し、 \sim の化合物を過ヨウ素酸ナトリウムで酸化してできたアルデヒドを検出することができた(紫色)。過ヨウ素酸ナトリウムは水酸基が隣接した炭素上にある化合物の酸化により、アルデヒドを生成できる。そのため、膵臓リパーゼで生成する 2-モノグリセリドには使えないが、消化薬で生成すると考えられる 1-モノグリセリドの検出が可能である。今後は実際にリパーゼを用いた反応の生成物の検出に用い、実際の授業への応用を試みるのが今後の課題である。

(4)国内外の反響:アメリカ化学会の下記の論文誌で本研究の成果を発表した論文(雑誌論文)が引用された。

[Incorporating Carbohydrates into Laboratory Curricula](#)

Jennifer Koviach-Côté, and Alyssa L. Pirinelli

Chem. Rev., 2018, 118 (17), pp 7986–8004

Publication Date (Web): August 16, 2018 (Review)

DOI: 10.1021/acs.chemrev.7b00757

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](総計 3 件)

胸組虎胤、STEM 教育と STEAM 教育 歴史、定義、学問分野統合、鳴門教育大学研究紀要、査読無、34 巻、2019、pp.58–72.

<http://www.naruto-u.ac.jp/edb/researcher/2012032100014/>

胸組虎胤、理科に関わる教科横断的教材の開発—授業実践への展開可能性—、鳴門教育大学研究紀要、査読無、33 巻、2018、pp.137–151.

<http://www.naruto-u.ac.jp/repository/metadata/3974>

Toratane Munegumi, Masato Inutsuka, Yukitaka Hayafuji, Investigating the Hydrolysis of Starch Using α -Amylase Contained in Dishwashing Detergent and Human Saliva, Journal of Chemical Education, 査読有、93 巻、8 号、2016、pp. 1401–1405.

〔学会発表〕(総計：下記を含め 15 件)

胸組虎胤・成光純哉・滝本帆高、化学の教科内容を基礎に教科横断的学習を考えると(3 E4-14)、日本化学会第 99 春季年会(甲南大学岡本キャンパス),2019.

成光純哉・立川航紀・廣田将義・胸組虎胤、N-ヒドロキシフタルイミド誘導体を利用したモノグリセリド検出の試み(2 PA-015)、日本化学会第 99 春季年会(甲南大学岡本キャンパス),2019.

胸組虎胤、教科内容学と教科教育学の相違と境界、日本教科内容学会第 5 回大会(椋山女学園大学(名古屋,星ヶ丘)),2018.

胸組虎胤、理科の教科内容の体系(3)、日本教科内容学会第 4 回研究大会(奈良市,奈良教育大学),2017.

胸組虎胤、理科の教科内容の体系(1) 自然認識,資質・能力、日本教科内容学会プロジェクト研究会(聖徳大学),2016.

胸組虎胤、化学と生物の複合的教材：洗剤に含まれる -アミラーゼで何を伝えられるか、日本教科教育学会第 42 回全国大会(鳴門教育大学),2016.

胸組虎胤、化学と生物の複合的教材としての酵素の利用 (2G1-A6)、日本科学教育学会第 40 回年会(大分県大分市ホルトホール大分),2016.

〔図書〕(計 1 件)

胸組虎胤訳、幻冬舎、AI 時代を生きる子供のための STEAM 教育、2017、全 262 頁。

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

出願年：

国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

取得年：

国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号(8桁)：

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。