

令和元年5月23日現在

機関番号：12501

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15H02910

研究課題名(和文)小・中学校理科で教科書の結果と矛盾してしまう観察・実験の解決策と海外への発信

研究課題名(英文)Revising Experiments with Unsatisfactory Results in the Science Textbook and Sharing the New Methods with Foreign Researchers

研究代表者

山下 修一 (Yamashita, Shuichi)

千葉大学・教育学部・教授

研究者番号：10272296

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,600,000円

研究成果の概要(和文)：現職の理科教員を対象として、小・中学校理科で教科書の結果と矛盾してしまう観察・実験について質問紙調査及びインタビューの結果、最も「うまくいかない」と回答されたのは、化学「定比例の法則を示す金属の酸化実験(81.1%)」で、次に生物「花粉管の観察(59.5%)」と生物「細胞分裂の観察(59.5%)」であった。

そして、「定比例の法則を示す金属の酸化実験」「体細胞分裂の観察」「オオカナダモでのヨウ素デンプン反応の観察」「月・金星の満ち欠け」等の観察・実験の改善例を示し、その成果をTWINCLEプロジェクトなどを通じて広く国内外で共有した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

理科の観察・実験で工夫しても教科書通りの結果が得られないものが存在し、児童・生徒の観察・実験結果を生かしたまとめができず、理科教員たちを悩ませている状況を鑑み、現職理科教員を対象にした質問紙調査およびインタビューにより、教科書の結果と矛盾してしまう観察・実験を特定した。そして、教科書の結果と矛盾しなくなるように、教科内容専門の研究分担者や海外共同研究者とともに「定比例の法則」や「細胞分裂」などの観察・実験の解決策を開発し、実際の理科授業でその有効性を実証して、その知見を広く国内外で共有した。

研究成果の概要(英文)：This study was performed was to identify experiments with unsatisfactory results in science textbooks. In addition, revised experiments that can obtain satisfactory results are proposed. A questionnaire survey was performed among junior high school teachers regarding which of the 88 experiments found in the standard textbook can likely yield results that are similar to those presented in the standard textbook.

The questionnaire indicated that the most difficult experiments were those regarding oxidation of metals. We invented a new procedure for this experiment to improve the introduction of the law of definite proportions. The next most difficult of experiments was to observe cell division. We have developed a new method to observe cell division that is easier to conduct for teachers and students. We have also developed new methods to experiments with unsatisfactory results such as moon phases, and shared the methods with foreign science education researchers.

研究分野：科学教育

キーワード：観察・実験 理科 改善例 定比例の法則 体細胞分裂 月の満ち欠け

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

平成 21~23 年度・平成 24~26 年度の科研費で小・中学校の理科学習指導のポイントや留意点を検討して過程で、現場では児童・生徒の観察・実験結果をまとめるのに苦労していることに気づかされた。単なる工夫や条件変更だけでは、教科書の結果と矛盾してしまう観察・実験が存在するのである。特に、平成 20 年の学習指導要領改訂の基本方針で、「科学的な見方や考え方が一層深まるように、観察・実験の結果を整理し考察し表現する学習活動を重視する」とされたので、児童・生徒はますます実際の反応に忠実に観察・実験結果を表現するようになり、教員は児童・生徒の表現を生かせなくて困ってしまうものもある。例えば、中学校 3 年『水溶液とイオン』で、うすい塩酸に銅板と亜鉛板を入れてボルタ電池を作成する場面では、教科書には、(+ 極) $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$ (- 極) $\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^-$ と説明されているが、実際には、- 極の亜鉛板でも水素発生が止まらない。以前は、亜鉛板からの水素発生は、「電池に関係ない反応だから」と伝えて済ませていたが、生徒は + 極・- 極での反応をよく観察して表現するようになり、多様な考えが表出されてまとめるのが難しくなった。強引に教科書通りのまとめをしようとすると、生徒は「何で - 極の亜鉛板からの水素の発生が止まらないのか」と質問してきて、教員はうまく答えられずに困ってしまう。教員の中には、教科書の説明と辻褃を合わせるために、わざわざ亜鉛板をメッキして水素が出ないようにしているものもある。

また、小学校 4 年『もののあたたまり方』では、ピーカーの端から加熱した時の「水のあたたまり方」が扱われ、サーモインクの観察から「加熱部で約 40 以上になると青色からピンク色に変色したものが上昇して、水面から徐々にピンク色の範囲が下に向かって広がり、全体がピンク色になっていく様子」、絵の具・おがくず・味噌などのトレーサーの観察からは「水が回転するようにしてあたたまる様子」を見いだす。特に小学校では、児童の観察・実験結果を生かしたまとめをしようとするので、サーモインクの観察からは「水は上からあたたまる」、トレーサーの観察からは「水は回転するようにあたたまる」とされ、複数の観察・実験結果をうまくまとめられない。他にも、電熱線の発熱量、倍数比例の法則、オオカナダモの光合成、月の満ち欠けなど、児童・生徒の観察・実験結果をうまくまとめられず、仕方なく「本当は教科書のような結果になるんだよ」とやり過ぎさなければならぬ観察・実験が見られる。

また、千葉大学教育学部・教育研究科では、平成 24 年度から「大学の世界展開力強化事業：Twinkle Program」を展開し、ASEAN 諸国 10 大学・20 中等学校と連携しながら、毎年約 100 名の ASEAN の大学院生を受け入れて、本学の約 80 名の大学生・大学院生と協働で科学教材を開発し、本学の大学生・大学院生が ASEAN に赴き、現地中等学校で英語で科学の授業を展開している。平成 26 年度からは、「逆」Twinkle Program が 4 年間の学内プロジェクトに採択され、ASEAN の大学院生が本学の大学生・大学院生と協働して日本の中学・高校で英語で科学の授業を展開することになった。理科教育教室では、以前から海外の理科教員を教員研修留学生として毎年数名(平成 27 年度は中国・タイの理科教員)受け入れている。しかし、国際交流が展開されるにつれて、英語で書かれた日本の理科授業についての資料が乏しく、留学生たちが困り果てている。

2. 研究の目的

本研究では、小・中学校理科の観察・実験で工夫しても教科書通りの結果が得られないものが存在し、児童・生徒の観察・実験結果を生かしたまとめができず、理科教員たちを悩ませている状況を鑑み、現職理科教員を対象にした質問紙調査およびインタビューにより、教科書の結果と矛盾してしまう観察・実験を特定する。そして、教科書の結果と矛盾しなくなるように、教科内容専門の研究分担者や海外共同研究者とともに解決策を開発し、実際の理科授業でその有効性を実証することを目的とする。また、千葉大学がスーパーグローバル大学となり国際交流が盛んになるにつれて、英語で書かれた日本の理科授業についての資料が乏しく、留学生たちが困り果てている状況を鑑み、今までは限られていた優れた日本の理科授業(特に観察・実験)の情報を広く国内外で共有することも目的とした。

3. 研究の方法

現職の理科教員を対象として、小・中学校理科で教科書の結果と矛盾してしまう観察・実験について質問紙調査及びインタビューを実施し、対応が必要な観察・実験を特定し、現場で実施している対応策についても明らかにする。既に、上述のボルタ電池については、うすい塩酸に銅板と亜鉛板を直接接触させて入れる実験、水のあたたまり方では、サーモインクを人工イクラに封入したサーモイクラを使った実験、電熱線の発熱量については、パチンコバネモデルの導入など、教科書の結果と矛盾しなくなる観察・実験を開発して、児童・生徒の観察・実験結果を生かしたまとめができるようにした。本研究では、倍数比例の法則、オオカナダモの光合成、月の満ち欠けなど、教科書の結果と矛盾してしまう観察・実験の解決策を開発し、実際の理科授業でその有効性を実証する。

そして、一連の研究から得られた知見と今まで蓄積してきた成果をまとめて、児童・生徒の観察・実験結果をうまくまとめられなくて困っている理科教員・次世代の理科教員たちと共有するとともに、国内外で発表して Twinkle Program などを通じて日本の優れた理科教育のコンテ

ンツを世界中で共有する。

4. 研究成果

(1) 中学校理科で教科書通りの結果が得られない観察・実験の特定

千葉県内の公立中学校理科教員 45 名を対象にして、中学校 3 学年分の教科書に番号が記載されているすべての観察・実験（地学分野は実習を含む）88 件（物理分野 25 件 [ただし、電流と電圧の 4 つ測定については 1 つにまとめた]・化学分野 24 件・生物分野 23 件・地学分野 16 件)について、「うまくいく」「うまくいかない」「わからない」「指導経験なし」で回答させ、うまくいかない具体例についても記述させた。

その結果、図 1 のように最も「うまくいかない」と回答されたのは、化学 40「定比例の法則を示す金属の酸化実験 (81.1%)」で、次に生物 71「花粉管の観察 (59.5%)」と生物 69「細胞分裂の観察 (59.5%)」の順だった。

化学 40「定比例の法則を導くための銅の酸化実験」がうまくいかない場合の具体例としては、化合する酸素の質量の理論値と実測値との間に差があり、実験結果から定比例関係を導くことができないという回答が多かった。生物 71「花粉管の観察」については、うまく花粉管の伸びがないことやよい花粉が準備できないことが多くあげられた。生物 69「体細胞分裂の観察」については、「うまく染色されず時間がかかる」「タマネギの根がうまく伸長しない」「細胞分裂が盛んな時間に授業時間が合わない」という回答が多かった(山下・柏熊, 2017)。

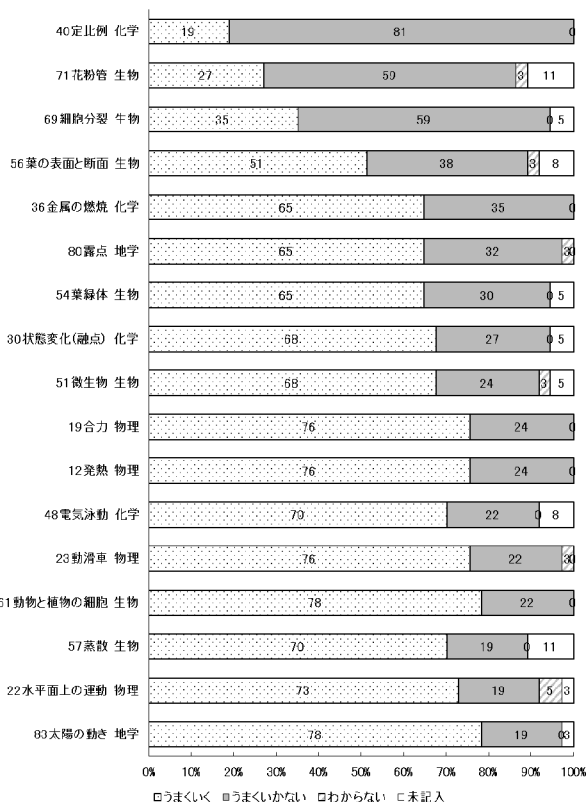


図 1 「うまくいかない」実験についての回答結果

(2) 「定比例の法則を示す金属の酸化実験」の改善例

通常の理科授業での実験では、加熱と冷却を複数回繰り返し行うため、1 回の加熱時間は 5 分程度で、酸化率の低い段階でやめてしまうことが多い。そこで、電解法で製造された 350mesh 銅粉 (EL350 と略記) を用いて、開始 5 分後に蓋をかぶせて 15 分間ステンレスシャーレで強熱を行ったところ、酸化率は 98 % になった。この時の銅の質量と酸素の質量の関係は、銅：酸素 = 4.08 : 1 であり、理論値に近い結果を得られた(Yamashita et al., 2017)。

(3) 「体細胞分裂の観察」の改善例

「うまく染色されず時間がかかる」「タマネギの根がうまく伸長しない」「細胞分裂が盛んな時間に授業時間が合わない」ことを克服するために、試料にはタマネギの種子を用い、固定にファーマー液・解離に 5% 塩酸・染色に 1% 酢酸オルセインを用いた(山下・柏熊, 2017)。改善した観察方法には、はっきりと染色されて細胞分裂の様子がよく観察できるだけでなく、以下のメリットもあった。

- ・タマネギの種子を用いることで、試料を播種から 3~4 日で多量に準備できた。
- ・解離は 5% 塩酸で 1 分間、染色は 1% 酢酸オルセインで 3~5 分間の短時間でできた。
- ・スライドガラスを用いて十字に押しつぶすことで、染色の時間を長く確保できた。

(4) 「月・金星の満ち欠け」の改善例

月の満ち欠けを科学的に説明させるために従来モデルを改善し、モデルの操作を月の満ち欠けの理解に結びつけるための読み物を開発して、小学校教員(N=57)と理系学生(N=33)を対象にして試行した。その結果、小学校教員の 55 名(96.5%)、理系学生の全員が Level 1 以上の説明ができるようになり、地球の影・自転での説明は見られなくなった。中学生の試行からは、約 40 分間の改善モデルと読み物で、Level 1 以上が目安の 80% を上回り、中学生にも月の満ち欠けを科学的に説明させることができた(山下, 2015)。

公立中学校 3 年生 3 クラス 84 名を対象にした金星の満ち欠けの試行では、新たに開発した金星の満ち欠けモデルを操作させながら他者に説明させる授業を展開した。その結果、他校の 3 年生 4 クラス 135 名の事後調査結果と比較して、金星の満ち欠けの理解を促したことが実証された(柴田・山下, 2017)。

(5) 「オオカナダモでのヨウ素デンプン反応の観察」の改善例

オオカナダモを用いて葉緑体でのヨウ素デンプン反応を観察しても、教科書の写真のように紫色に呈色する反応が見られないことが多いことから、デンプン検出実験の改善を試みた。その結果、以下の手順で実験を実施することにより、天候に左右されずにデンプン検出されるようになった(渡邊・山下, 2016)。

約1%の炭酸水素ナトリウム水溶液を作り、ペットボトル内に水溶液とオオカナダモを入れ、蓋をしてクリヤー電球から5cmの距離にペットボトルを置き、光に5時間当てる。

ペットボトル内からオオカナダモを取り出し、先端の葉を丁寧に切り取り、5分間熱湯(98℃)につける。

湯煎で温めたエタノールに葉を5分間つけて脱色をする。

で脱色を行った葉を水で軽くゆすぎ、薄めたヨウ素液で15分程つけておく。

の葉でプレパラートを作成し、顕微鏡で観察をする。

(6) 「光合成の観察」の改善例

植物工場を文脈とした光合成についての学習プログラムを開発し、公立中学校1年生2クラス51名を対象に2時間の理科授業を展開した。その結果、授業を通して植物工場のしくみを理解し、植物工場が食糧問題などの課題を解決する手段と認識され、理科の知識を使って話し合ったり、課題を解決したりする楽しさを伝えられた。また、光合成は葉緑体のある緑の部分で行われるということを理解させ、「光合成は緑の葉だけで行われる」という誤概念を払拭させた(Yamashita, Miyashima, 2018)。

(7) 「血液の循環の観察」の改善例

中学校2年「生命を維持する働き」で、中学生48名に人工心臓弁開発についての2時間の授業に取り組みさせた。その結果、60%以上の生徒が、エコノミークラス症候群や脳梗塞について、授業で学んだことを生かして説明できるようになった。また、同じ映像を見ても、授業後には命が救われたという感情面だけでなく、人工心臓弁開発の内容面にも目が向けられるようになった(山下・野村, 2017)。

(8) 国内外での優れた日本の理科授業(特に観察・実験)の情報共有

平成30年度には研究代表者が千葉大学よりサバティカル研修を取得し、カナダUBCに客員教授として滞在して、優れた日本の理科授業(特に観察・実験)の情報を発信した。平成30年12月8日(土)には、理科教育学会関東支部大会(宇都宮大学)にて、UBCのProf. Andersonによるカナダの教育研究についての遠隔理科教育国際セミナーを実施した。また、研究分担者は、Twinkle・「逆」Twinkle Programで来日した留学生たちに、本研究の成果を優れた日本の理科教育のコンテンツとして紹介し、理科授業づくりに生かした。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計14件)

Shuichi Yamashita, Masato Miyashima, Development and Evaluation of Science Lessons Using a Plant Factory and Leveraging the STEM Model, In Finlayson, O.E., McLoughlin, E., Erduran, S., & Childs, P. (Eds.), Electronic Proceedings of the ESERA 2017 Conference. Research, Practice and Collaboration in Science Education, 審査有, 2018, 148-156.

野村純, 大和政秀, 米田千恵, 芳賀瑞希, 谷恭子, 藤田剛志, 加藤徹也, 山下修一, 大島竜午, 辻耕治, 林英子 教育のグローバル化に対応した留学生受入れプログラムの開発と評価 ASEAN 交換留学生から見た TWINCLE プログラムでの学び, 科学教育研究, 審査有, 42(2), 2018, 112-119

Shuichi Yamashita, Yasuyuki Kashiwaguma, Hideko Hayashi, Verena Pietzner, Improvement and Evaluation of Copper Oxidation Experimental Procedure for the Introduction of the Law of Definite Proportion, Science Education International, 審査有, 28(2), 2017, 125-131

山下修一, 柏熊泰之, 中学校理科で教科書通りの結果が得られない観察・実験の特定とその改善例 「体細胞分裂の観察」を例にして, 日本教育大学協会研究年報, 審査有, 第35集, 2017, 15-23

山下修一, 野村恵伍, STEMの枠組みを生かした人工心臓弁開発についての理科授業の開発と評価, 東京理科大学教職教育研究, 審査有, 第2号, 2017, 65-76

山下修一，野村純，大畠竜午，馬場智子，林英子，YEO Jennifer 他，理科教育学の知見を生かしたシンガポールでの授業改善 授業計画・授業用スライド・教材・ワークシートの改善を通して，科学教育研究，審査有，41(2), 2017，96-106

野村純，馬場智子，飯塚正明，板倉嘉哉，加藤徹也，木下龍，下永田修二，白川健，杉田克生，高木啓，辻耕治，吉田恭子，林英子，ホーンベヴァリー，大和政秀，米田千恵，山野芳昭，山下修一 他，アクティブ・ラーニングを主体とする海外教育インターンシッププログラムの開発と評価 千葉大学ツインクルプログラム受講者の授業観の分析，科学教育研究，審査有，41(2), 2017，141-149

佐久間祐太，山下修一，植物および動物のはたらきを養分の移り変わりから一貫した説明をするための授業開発，千葉大学教育学部研究紀要，査読無，第 66 巻第 1 号，2017，369-377

加藤徹也，擬人化・脚色による身近な物理概念への注視，千葉大学教育学部研究紀要，査読無，第 66 巻第 1 号，2017，415-422

柴田道世，山下修一，モデルと他者との対話を通じて月と金星の満ち欠けを理解させる授業の開発と評価，千葉大学教育学部研究紀要，査読無，第 65 巻，2017，15-20

加藤徹也，単純な物理現象に対する誤った論理の正当化に関する考察，千葉大学教育学部研究紀要，査読無，第 65 巻，2017，417-426

山下修一，齋木健一，木村美咲，理科教員を目指す大学生の野草観察に対する自信，科学教育研究，審査有，40(3), 2016，302-308

渡邊りな，山下修一，オオカナダモによる光合成でのデンプン検出実験の改善，千葉大学教育学部研究紀要，査読無，第 64 巻，2016，205-208

山下修一，伊藤英樹，柴田道世，中学校での月の満ち欠けの説明における小学校の学習の影響と改善モデルの開発，科学教育研究，審査有，39(4), 2015，347-358

〔学会発表〕(計 8 件)

山下修一，野村恵伍，STEM の枠組みを生かした人工心臓弁についての理科授業開発，日本科学教育学会年会論文集，41, 2017，85-88, サポート高松（香川県）

藤田剛志，青木隆政，大畠竜午，ホーンベヴァリー，林英子，科学技術教員のためのリカレント教育プログラムの開発 2 - フィリピンの中高等学校における探究学習の実践と評価 - ，日本科学教育学会年会論文集，41，2017，331-332, サポート高松（香川県）

芳賀瑞希，板倉嘉哉，加藤徹也，小宮山伴与志，下永田修二，白川健，杉田克生，高木啓，辻耕治，林英子，ベヴァリー ホーン，野村純，山下修一，大和政秀 他 科学教育体験を主体とする ASEAN 留学生受け入れプログラム体験者の学びの検討，日本科学教育学会年会論文集，41, 2017，429-430, サポート高松（香川県）

山下修一，野村純，大畠竜午，馬場智子，林英子，Jennifer YEO 他，シンガポールでの理科教育学の知見を生かした授業改善，日本科学教育学会年会論文集 40, 2016，221-222, 大分大学（大分県）

吉田 恭子，木下 龍，下永田 修二，白川 健，杉田 克生，高木 啓，辻 耕治，鶴岡義彦，林英子，藤田 剛志，ベヴァリー ホーン，野村 純，山下 修一，大和 政秀，米田千恵，山野 芳昭，大畠 竜午，アシャディアント サプト，馬場 智子，飯塚正明，板倉 嘉哉，加藤 徹也，海外での教員インターンシップ参加前後での学生の授業に対する意識変化の分析，日本科学教育学会年会論文集，40, 2016，297-298, 大分大学（大分県）

宮嶋将人，山下修一，植物工場を活用した STEM 教育，日本科学教育学会研究会研究報告，31(5), 2016，25-30, 千葉大学（千葉県）

野村恵伍，山下修一，科学的根拠をもとに説明できる生徒を育てる STEM 教育 - 中学校理科「生命を維持する働き」の学習を通して - ，日本科学教育学会研究会研究報告，31(5), 2016，19-24, 千葉大学（千葉県）

佐久間祐太，山下修一，植物のはたらきを養分の移り変わりから一貫した説明をするため

の授業開発，日本科学教育学会研究会研究報告，31(5), 2016，13-18, 千葉大学 (千葉県)

〔図書〕(計2件)

山下 修一分担執筆 第 部 初等理科の学習指導 第 11 章 初等理科のグループコミュニケーション活動とその指導，大高泉編著 はじめて学ぶ教科教育，ミネルヴァ書房，2018，pp.105-116

山下 修一分担執筆 第 部 理科の授業と指導 第 1 章 一貫した説明を促す理科授業，大高泉編著 理科教育基礎論研究，協同出版，2017，pp.256-274

6．研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：加藤 徹也

ローマ字氏名：(KATOU, tetsuya)

所属研究機関名：千葉大学

部局名：教育学部

職名：教授

研究者番号(8桁)：00224519

研究分担者氏名：林 英子

ローマ字氏名：(HAYASHI, hideko)

所属研究機関名：千葉大学

部局名：教育学部

職名：准教授

研究者番号(8桁)：40218590

研究分担者氏名：大和 政秀

ローマ字氏名：(YAMATO, masahide)

所属研究機関名：千葉大学

部局名：教育学部

職名：准教授

研究者番号(8桁)：00571788

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。