

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月15日現在

機関番号：13902

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21500870

研究課題名（和文）安全で楽しい理科実験の授業ができる教員の養成に有用な化学実験教材の開発と実践

研究課題名（英文）Development and practice of chemical experimental procedures and exhibiting methods useful for the students aiming to be teachers of scientific ability

研究代表者

戸谷 義明（TOYA YOSHIAKI）

愛知教育大学・教育学部・教授

研究者番号：30180186

研究成果の概要（和文）：安全に楽しい理科実験の授業ができる有為な教員を養成するために、化学マジックなどの観察・参加型、および、実験教室用の個別体験型の、汎用性のある有用な化学実験教材と、その演示法を開発した。開発した教材による出前化学実験を、社会貢献と学生への教育を両立させた、大学の授業であるサービス・ラーニングとして実践を繰り返し、教材を改良した。最終的な実験演示方法を、化学実験教材実験集（非売品）として出版し、教員養成系国立大学などの図書館に配付した。

研究成果の概要（英文）：We have investigated and developed many chemical experimental methods for delivery practices. The practices and the training for the participants were carried out as university lessons (Service-Learning). Well-trained chemistry-major undergraduates and graduates performed chemical experimental demonstrations and instructions to the students or the spectators by using our developed methods. The procedures and methods were improved by the estimation of every practice, and the latest version of them was compiled and published as an experimental book for chemical education and popularizing chemistry.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：科学教育・教育工学・科学教育

キーワード：科学教育、実験・観察、化学実験教材、出前化学実験

1. 研究開始当初の背景

日本の児童・生徒の理科の学力低下や理科離れ（嫌い）が盛んに言われてきた。TIMSS2003の調査における日本の理科学力の国際的な順位での低下が問題視されていたが、著者は、(1)理科の勉強の楽しさ、(2)理科の勉強への積極性、(3)希望の職業につくために理科で良い成績を取る必要性、(4)理科の

勉強に対する自信、に関する質問紙の問いに対し、我が国の中学2年生の積極的、もしくは意欲的な回答が、1995年、さらに1999年の調査に引き続き、国際的にかなり低い、または最低のレベルのまま（学習意欲は世界最低レベル）であると判明したことが、より深刻な理科教育の抱える問題であると考えた。実際、PISA2007の速報でも、中学3年に

において OECD 平均に比べて良好でない科学に関する意識を示す内容が数多くみられていた。

著者は、理科のおもしろさと奥深さを熟知し、科学的な思考や安全に配慮した実験指導ができ、本物の理科を教える知識と技術を持った深みのある理科教員（理科専攻）、および理科好きの教員（理科専攻以外）を養成すれば、彼らこそが楽しく魅力的な理科の授業を行い、理科好きの児童・生徒を育み、結果的に理科の学力低下や理科離れを食い止められると考えてきた。そこで、化学の専門教員として、学生の興味・関心を喚起するような化学実験や理科学研究などの授業を通じ、化学の知識、実験手法、化学的な考え方とともに、化学実験の事故防止対策と実験技術とを学生に教授してきた。さらに、2000年度から2005年度の間、愛知教育大学の「訪問科学実験」の活動に関与し、教育現場への社会貢献を兼ねながら、有為な理科教員、および理科好きの教員を養成することを目指し、努力した。特に、2004～2005年度は本活動の指導教員代表として、安全に最大限配慮した、対外的な説明責任が果たせる運営とシステムを確立するために参加学生を支援した。最終的に本活動は2006年3月に平成基礎科学財団第2回小柴昌俊科学教育賞優秀賞を獲得するに至った。

「訪問科学実験」の2005年度までの実績は、訪問回数115回、参加学生（9割以上は理科専攻）延べ3450名、実験体験者（2003年度以降）6742名以上であり、理科好きの子どもを育むための学校・地域・社会への貢献という目的については、卓越した多大な成果を上げてきた。しかしながら、主目的である学生への教育という見地からは、

(1) 教育ではなく、学生主体のサークル活動として運営（現在も、そのまま続けられている）。

(2) 教育活動でない、特定のサークルの活動にのみ、多額の予算が投じられるのは、他のサークル活動に不公平（予算は教育にこそ活用すべきである）。

(3) 指導教員に公式な監督権がなく、安全最優先で、科学的な内容の正確さを重視するという活動の理念や道徳的な指導が全ての参加学生に完全に行き届かない。

といった、多くの問題が生じた。科学実験は遊びではないのに、娯楽感覚で、準備と知識が不十分なままで実践に臨み、演示が自己満足的な行為（科学的な正確さを欠く、出任せ、はったりパフォーマンス）に陥った例も見られ、井上成美氏の言葉を借りると、「これではまるで嘘つきの訓練をしているようなもので、訓育上有害である」と、著者は考えた。さらに、

(4) 活動参加学生と全学学生との教員採用試験（愛知県・名古屋市）の2004年度と2005年度の結果の比較を行ったところ、受験率（目的意識）では顕著に上回っているが、合格率（教育効果？）には明らかな差が見られなかった。

そこで著者は、全関係者の安全を確保し、学生への科学的内容の教育効果を向上させるには、「訪問科学実験」を学生のサークル活動ではなく、教育指導体制が明確なサービス・ラーニングとして、元来のフレンドシップ事業のように授業に取り入れた形で実施するべきだと考え、大学当局に提案した。すなわち、

(1) 科学実験の出前実践は学校・社会のニーズを汲み取った奉仕活動で、学生と学校・社会の連携を強める共同作業の機会となる。

(2) 学生が意欲的に学習できるように、教員が教育的効果を求めて企画、実施、指導、監督、評価し、単位認定する。

(3) 授業として、演示実験に必要な、正確な科学の知識と背景、安全に実験を行う技術を実践参加者に習得してもらい、十分な予備実験の時間を確保する。

(4) 科学実験は遊びではないこと、謙虚で真摯な態度で科学を学ぶように根気よく指導する。

こうすれば、愛知教育大学の学生は一般に子どもとの接し方はとても上手なので、将来の糧になる教育的な実践を通じ、安全で楽しい理科実験の授業ができる有為な理科教員に育つに違いないと考えた。残念なことに、著者の提案は大学当局に採用されず、著者は2006年度以降の「訪問科学実験」の指導・支援から退いた。

著者は上記の考えを実現するため、2006年度から授業科目「化学教材実験」を開講し、受講生とともに2006、2007年度の「青少年のための科学の祭典名古屋大会」で出前実践した。化学マジックは通常の手品とは異なり、観客をただ驚かしたり、面白がらせたりするだけでなく、トリックなしの実験を見せ、教育現場とは異なる、一般の観客にタネと仕掛けをすべて教え、理解してもらうところに意義がある。これを行うためには正しい化学的原理や背景を熟知し、化学実験の指導を受け、練習を重ねる必要がある。実践では、著者の指導を受け、訓練を積んだ受講生が、開発してきた化学マジックをメドレーで競い繰り出し、観客の多くの子どもや大人が、最後までくぎ付け状態になるような、見事な出来栄であった。十分に安全対策が配慮され、実験事故も起こさず、著者の考えが正しいことを確信した。これ以外にも、教育現場などから多くの出前実験の依頼があったため、大学の授業の一環などとし

て実践を重ねてきた。実践を重ねてアンケートを分析していくうちに、化学マジックなどで、実験の演示を観察するだけでなく、マジック実験に参加できたり、個別に体験したりする実験教室の実験に対する受講者の満足度が高いことが明らかになった。以上のことを背景に、本研究を計画し、実施した。

2. 研究の目的

(1) 安全に楽しい理科実験の授業ができる有為な教員を養成するための教育として、演示するための学習や予備実験の過程で、学生が化学の知識や実験技術を習得することができ、かつ、科学展や教育現場などで実際に使用される、化学マジックなどの観察・参加型、および、実験教室用の個別体験型の汎用性のある有用な化学実験教材と、その演示法を開発する。

(2) 開発した教材による出前化学実験を大学の授業の一環のサービス・ラーニングとして実践する。教材は実際に使用されてこそ意味がある！ サービス・ラーニングによる出前化学実験の最大の特長は、学生への教育と、一般大衆への化学の普及、理科好きの子どもの育成という社会貢献とを両立させ、関係者や関係機関すべてに、様々なメリットがあることである。

(3) 実践と改良を繰り返し、最終的な実験演示方法を、化学教材実験集（非売品）として出版・公表し、教育現場などへ配付して成果を社会に還元する。

3. 研究の方法

本研究では、以下のように研究を推進した。

(1) これまでに開発、実践してきた化学実験教材、特に 2004 年に出版した化学マジック集の観察・参加型の実験、および個別体験型の生物発光実験を改良、充実させ、実験演示法として完成させた。

(2) 化学（科学）実験教材の現状を調査し、化学マジック以外の、実用的で新しい化学（科学）教材実験法や教材の活用法を開発した。

(3) 開発した化学実験教材、演示法による大学の授業やサービス・ラーニングによる出前実験を行った。この活動こそが、一般大衆、子ども、教育現場などに化学を普及させる社会貢献と、安全に楽しい理科実験の授業ができる教員の養成とを両立させるものである。

(4) 出前実験を繰り返し、毎回の事後指導の実施、およびアンケートや学外の専門家（連携研究者）により、絶えず批評、評価を受けながら、教育効果が大きくて安全な実験法、および演示法に改善していき、化学実験教材として完成さ

せた。

(5) 開発・改良した実験演示法を、順次、学会発表や論文として公表し、最終版を化学実験教材集としてまとめて出版した。教員養成系国立大学などの図書館に配付するとともに、今後の実践のための教育で活用する。

4. 研究成果

(1) 2006 年度以降、連携研究者の協力のおかげで、青少年のための科学の祭典（名古屋、豊橋）に出展する機会を得、「化学教材実験」の授業としてブースやステージでの化学マジックの演示を行ってきた。科学研究費補助金による経済的支援をいただいた 2009 年度以降は、実験内容の追加、安全性、再現性の向上、および併用するパワー・ポイントプレゼンテーションの改訂など、化学マジックの開発・改良が加速された。

(2) 化学マジックショーでは、演示にパワー・ポイントプレゼンテーションを併用しているが、これは観客に化学の秘密を理解してもらうために極めて有効である。大人だけでなく、児童・生徒は学習して知っていることは易しいと感じ、知らない用語、名前、化学式を見ると、それだけで難しいと感じるようである。その対策として、化学式を、ほとんど用いなくてイラストやアニメーションで説明する、小学校低学年には学年別漢字配当表や演示で使う言葉や用語を考慮するなど、さまざまな対象者、および学習状況に配慮したバージョンのパワー・ポイントプレゼンテーションを作成、準備することができた。パワー・ポイントプレゼンテーションの詳細、および実験の動画などについては、別の機会に論文やインターネットなどの方法で、公表することを検討している。

(3) 著者、および連携研究者の指導の下、十分な時間をかけて予備実験を行い、化学の知識と実験技術の訓練を受けた学生が、開発した実験演示法により、大きなステージでも化学マジックを演示できるようになった。2010 年度にはサイエンスアゴラ 2010 への出展が採択され、日本科学未来館イノベーションホールで、2011 年度は青少年のための科学の祭典 2011 全国大会に採択され、科学技術館の特設ステージで化学マジックショーを演示するまでに至った。

(4) 2006 年度以降、化学マジックショーの演示以外に、学生を TA（ティーチングアシスタント）として、SSH（スーパーサイエンスハイスクール）事業校からの依頼を含め、様々な化学実験講座で、個別指導体験型の化学実験を指導してきた。さらに、2009 年度以降は、

名古屋市科学館などと連携し、「化学教材演習」の授業として実験教室を開催し、著者や連携研究者の監督の元で、受講者に対し、学生が個別体験型の化学実験の指導を行う事業に取り組んできた。そのために食品関係のものづくり化学実験、クラリネットによる気柱共鳴を利用した音速測定、スライムづくりの改良など、多彩な内容の教材の開発と改善を行い、成果を重ねてきた。2011年度にはJST科学コミュニケーション連携推進事業に名古屋市科学館で、学生が受講者に実験の指導を行う化学実験教室「科学的な考え方を学び楽しむ化学(科学)実験教室(熟年向、中学生向)」が採択された。著者と連携研究者は、科学研究費補助金による経済的支援により開発された内容を活用し、熟年大人対象には「アルコールロケットの作製と、よく飛ぶ燃料の種類&注入量について考えてみよう!」、中学生対象には「無色透明の液体が瞬時に着色する時計反応の時間の調整にチャレンジ!」のテーマで2回の実験教室を開催し、成功を収めることができた。

(5)2009年度から2011年度までに開催・引率指導した実験教室の回数は34日(回)、受講者総数は2579名以上、実践参加学生総数は172名に上る。34日(回)の内訳は、青少年のための科学の祭典(8)、SSHとしての依頼(4)、愛知教育大学主催事業(14)、学校行事・授業としての依頼(1)、生涯学習関係の依頼(6)、子ども会からの依頼(1)、サイエンスアゴラ2010(1)である。これらの実践に関連する新聞などの掲載は5件、テレビ放映は2件である。

(6)連携研究者、実践関係者のご支援、および科学研究費補助金による経済的支援のおかげで、著者は2010年度に「サービス・ラーニングとして行われる出前等による化学実験講座」により、国立科学博物館平成22年度野依科学奨励賞(学校教員・科学教育指導者の部)を、2011年度には「化学の普及と大学授業とを両立させる出前化学実験」により、2011年世界化学年記念化学コミュニケーション賞審査員特別賞(個人の部)を受賞することができた。

(7)後の発表論文等の図書の項目に記載したように、連携研究者とともに、これまでに改良、開発した化学演示実験(観察・参加型)としての化学マジック実験の最新版、および化学実験教室用教材実験(個別指導体験型)の最新版をまとめた化学実験教材集(非売品)を出版した。既述の2004年の化学マジック集の増補・改訂版にも相当する。前版に比べ、準備や原理以外に、実践を重ねて確立された、実際の演示法や演示の際の注意も記述した。

実験集の内容は、以下の目次のとおりである。

目次	
はじめに	1
はじめに(前版、一部改訂)	3
1. 実験の危険防止と事故の際の救急処置	5
化学演示実験(観察・参加型)	
2. 化学マジック実験の部	8
①密閉爆発-ロケット&爆発する炎&アルコール鉄砲(可燃性ガスの爆発濃度範囲)	9
②熱いところから出る光-花火の色の秘密(炎色反応)	19
③冷たいところから出る光-ケミカルライトの秘密(過シュウ酸エステルの化学発光)	25
④オレンジパワー注入!(リモネンによる発泡スチロールの溶解減容)	33
⑤振盪色変化(しんとういろへんげ)の(大・中・小)瓶四姉妹(色素の酸化還元による変色)	37
⑥自動虹色変色(塩化第三ブチルの分解に伴う万能pH指示薬の変色)	45
⑦時間差瞬間着色(Landoltヨウ素時計反応)	51
⑧ニッケル忍者の木の葉隠れの術(ニッケル錯体の逐次形成に伴う変色)	61
⑨瞬間消滅-魔法の綿(硝酸セルロースの燃焼)	69
⑩色のリズム(Belousov-Zhabotinsky振動反応)	76
⑪交互に色が変わる沈殿(沈殿の溶解度積の差)(高等学校以上向き)	82
化学実験教室用教材実験(個別指導体験型)	86
3. ホタル, ウミホタル, およびオワンクラゲの生物発光実験	87
①ホタルの生物発光実験	88
②ウミホタルの生物発光実験	91
③オワンクラゲの生物発光実験	95
4. お菓子などの、おいしい食べ物を作る化学実験	98
①ラムネ菓子(あめ状の砂糖による粉のつなぎ合わせ)	100
②グミキャンディー(ゼラチンのゾルゲル転移)	103
③食べられるプチプチぷよぷよビーズ(アルギン酸のカルシウムイオンによるゲル化、人工イクラ)	107
④みかんの皮むき-缶詰みかん(ペクチンの酸による溶解)	110
5. いろいろなスライムの作り方(ポリマーのホウ酸イオンによる架橋)	113
6. 紫外線チェックビーズストラップの作成(フォトクロミズム)	119
7. クラリネットを使った音の速さの測定(閉管の気柱共鳴、論文紹介)	121
おわりに	122

(8)出版した化学教材実験集を、実践協力者、

関係者のほか、教員養成系国立大学図書館、
国公立図書館などに配付中である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者に
は下線)

[雑誌論文] (計4件)

- ①相澤毅、岩山勉、川上昭吾、鈴木麻未、戸
田茂、戸谷義明 (6番目)、他全11名、蒲
郡市生命の海科学館と愛知教育大学との連
携、愛知教育大学教育創造開発機構紀要、
査読無、2、2012、pp 131-139
- ②戸谷義明、クラリネットを使い、気柱共鳴
から音速を測定する実験演示法の検討、愛
知教育大学研究報告、査読無、61 (自然科
学編)、2012、pp 39-47
- ③戸谷義明、出前化学実験で演示される化学
マジック実験の実験法と演示法の改良、愛
知教育大学研究報告、査読無、60 (自然科
学編)、2011、pp 45-55
- ④戸谷義明、サービス・ラーニングによる出
前化学実験の実践、愛知教育大学研究報告、
査読無、59 (自然科学編)、2010、pp 33-42

[学会発表] (計4件)

- ①戸谷義明、クラリネットを使った音速測定
の実験演示法の検討、日本理科教育学会第
61回全国大会、島根大学(松江市)、
2011.8.21
- ②戸谷義明、SSH事業指定校への生物発光実
験の出前実践とその効果の検証、日本理科
教育学会第60回全国大会、山梨大学(甲府
市)、2010.8.8
- ③戸谷義明、サービス・ラーニングによる出
前化学実験の実践、日本理科教育学会第59
回全国大会、宮城教育大学(仙台市)、
2009.8.18
- ④戸谷義明、ウミホタルルシフェリン大量合
成法の確立、および新規ウミホタルルシ
フェリン誘導体の合成と発光能の評価、生
物発光化学発光研究会第26回学術講演会、
電気通信大学(調布市)、2009.6.6

[図書] (計1件)

- ①戸谷義明、山名賢治、鈴木喜隆、愛知教育
大学出版会、身の回りには不思議で面白い
ことがいっぱい！みんなで秘密を解き明か
そう！！理科が役に立つことが実感できる
化学教材実験集、ISBN 978-4-9033389-59-2、
2012、123

6. 研究組織

(1) 研究代表者

戸谷 義明 (TOYA YOSHIAKI)
愛知教育大学・教育学部・教授
研究者番号：30180186

(2) 研究分担者 なし

(3) 連携研究者

山名 賢治 (YAMANA KENJI)
愛知学院大学・教養部・准教授
研究者番号：40329602

(4) 研究協力者

鈴木 喜隆 (SUZUKI NOBUTAKA)
元広島大学・大学院生物圏科学研究科・
教授
研究者番号：30024607
尾坂 知江子 (OZAKA CHIEKO)
名古屋市科学館・学芸課・主任学芸員