

コア・サイエンス・ティーチャー養成コース連携出張サイエンス教室による中学校理科教材の開発

Development of Teaching Material for Science Class in Junior High School—An Effective Cooperation with Core-Science-Teacher Program in Kagoshima University.

岡村浩昭¹⁾ *・磯崎直子²⁾
Hiroaki OKAMURA¹⁾*, Naoko ISOZAKI²⁾

¹⁾ 鹿児島大学学術研究院理工学域理学系

¹⁾ Graduate School of Science Engineering, Kagoshima University, Kagoshima 890-0065

²⁾ 南さつま市立金峰中学校

²⁾ Kinpo Juniro High School, Minamisatsuma City, Kagoshima 899-3515

*okam@sci.kagoshima-u.ac.jp

Abstract: This article describes the results of science classes developed as a joint program of core-science-teachers in junior high school (or elementary school) and university professors. For three years from 2015 to 2017, seven science classes have been held in two elementary schools and five junior high schools, and 410 students have taken the classes. All the classes have been designed on the basis of the official curriculum of junior high school (or elementary school). The well designed science classes gave positive influence on the students, which was confirmed by a questionnaire survey.

Keywords: Development of teaching materials for science classes, a joint program of core-science-teachers in junior high school

1. はじめに

平成 21 年度から平成 25 年度末まで、鹿児島大学大学院理工学研究科・農学研究科・水産学研究科の理系 3 研究科と鹿児島県教育委員会が実施機関となり、鹿児島県総合教育センター・鹿児島市教育委員会と連携して、独立行政法人科学技術振興機構（JST）の理数系教員養成拠点構築事業「実践的コア・サイエンス・ティーチャー（Core Science Teacher, 以下 CST）養成スクール」を開講し、平成 25 年度末までに大学院生・小中学校現職教員 44 名の CST を輩出してきた。^[1] JST の支援事業完了後も、理数系教員の養成の重要性を鑑みて、鹿児島大学理学部が主体となって「CST 養成コース」を継続実施し、高度な指導力と教材開発能力を持つ CST を養成している。

CST 養成コース連携出張サイエンス教室（以下、出張サイエンス教室）は、CST 養成スクール・コースを修了した CST と鹿児島大学の教員とが連携して、より効果的な教育方法及び教材を開発することを目的として企画された。本論文は、平成 27 年度から平成 29 年度に実施した企画の実施状況について報告するとともに、川辺中学校および金峰中学校で実施した企画について、教材開発の経緯と実施状況、およびその成果について述べる。

2. 平成 27 年度から 29 年度に実施した出張サイエンス教室の内容

平成 27 年度から平成 29 年度の 3 年間、小学校 2 校、中学校 5 校（延べ数）で出張サイエンス教室を実施した（表 1）。各校とも、正課の理科（もしくは総合的学習）の授業として実施した。内容は各校の CST 養成スクール・コースを修了した教諭と事前にうち合わせて、実施時期に理科の授業で取り扱っている内容に近い事柄を題材とした。^[2] 実施前の授業で、取り扱い予定の単元の復習を行った後、

当日は筆者（岡村）が授業を行った後、筆者（岡村）、各校 CST、実験アシスタント（大学院学生 3 名）で実験指導を行った。

表 1. 平成 27～29 年度出張サイエンス教室の内容

実施日	実施校	参加者	授業題目	概要
H27 年 10 月 13 日	南九州市立 川辺中学校	3 年生 (113 名)	金属の酸化と還元 ～南九州の金資源	金属のイオン化の単元に関連して、酸と金属の反応について解説し、実験を行った。イオン化しにくい金や銀でも、適切な条件下ではイオンとなって溶けることを示した。また、金イオン溶液を特殊な条件下で還元させ、金ナノ粒子の生成実験を行い、ナノ粒子の特徴とさまざまな応用例を紹介した。併せて、かつて南九州市、南さつま市近辺で金が産出していたことに触れ、金の特徴と歴史について解説した。
H27 年 10 月 20 日	南九州市立 大丸小学校	全学年 (16 名)	あぶりだし実験～ 見えないものを見 てみよう	小規模校で 1 年生から 6 年生までの児童を対象とすることから、変化がわかりやすく、安全性の高い実験を行った。
H28 年 11 月 11 日	南九州市立 穎娃中学校	1 年生 (58 名)	物質の密度と性質	いろいろな物質の単元に関連して、物質の密度と性質について解説し、実験を行った。濃厚ショ糖溶液を使った密度計を自作させ、さまざまなプラスチック類の密度を測定させ、プラスチック類の種類と特徴について解説した。
H28 年 11 月 14 日	南さつま市立 金峰中学校	3 年生 (55 名)	金属の酸化と還元、 金属ナノ粒子の調製	金属のイオン化の単元に関連して、酸と金属の反応について解説し、実験を行った。イオン化しにくい金や銀でも、適切な条件下ではイオンとなって溶けることを示した。また、金イオン溶液を特殊な条件下で還元させ、金ナノ粒子の生成実験を行い、ナノ粒子の特徴とさまざまな応用例を紹介した。併せて、かつて南九州市、南さつま市近辺で金が産出していたことに触れ、金の特徴と歴史について解説した。
H29 年 11 月 1 日	志布志市立 志布志小学校	5 年生 (60 名)	溶ける、溶けない、コロイド	もののとけかたの単元に関連して、物質の性質と溶解度の関係について解説し、実験を行った。水溶性の低い油脂（サラダ油）に界面活性剤を添加して、コロイド溶液の調整実験を行った。身近なコロイド溶液として、牛乳を取り上げて、その性質について実験を通して理解を深めた。

表 1. 平成 27～29 年度出張サイエンス教室の内容（続き）

H29 年 11 月 9 日	南九州市立 顕桂中学校	3 年生 (53 名)	金属の酸化と還元、 金属ナノ粒子の調製	金属のイオン化の単元に関連して、酸と金属の反応について解説し、実験を行った。イオン化しにくい金や銀でも、適切な条件下ではイオンとなって溶けることを示した。また、金イオン溶液を特殊な条件下で還元させ、金ナノ粒子の生成実験を行い、ナノ粒子の特徴とさまざまな応用例を紹介した。併せて、かつて南九州市、南さつま市近辺で金が産出していたことに触れ、金の特徴と歴史について解説した。
H29 年 11 月 13 日	南さつま市立 金峰中学校	3 年生 (55 名)	金属の酸化と還元、 金属ナノ粒子の調製	金属のイオン化の単元に関連して、酸と金属の反応について解説し、実験を行った。イオン化しにくい金や銀でも、適切な条件下ではイオンとなって溶けることを示した。また、金イオン溶液を特殊な条件下で還元させ、金ナノ粒子の生成実験を行い、ナノ粒子の特徴とさまざまな応用例を紹介した。併せて、かつて南九州市、南さつま市近辺で金が産出していたことに触れ、金の特徴と歴史について解説した。

3. 川辺中学校および金峰中学校での出張サイエンス教室の教材開発と実施

出張サイエンス教室の内容と教材開発の経緯、および実際の実施状況について、金峰中学校での出張サイエンス教室の事例を詳述する。

3.1 教材開発企画の経緯

教材開発にあたっては、中学校の理科の単元に沿った教育内容を盛り込むように心がけた。実施時期が中学校 3 年次の 2 学期であったので、1 学期に学習した単元 1「化学変化とイオン」の復習とその発展的内容を扱うこととし、金属のイオン化傾向と高校で学習する酸化・還元とを主題とすることとした。

発展的な内容を超えて、先端科学技術との関係についても授業内容に加えることで、生徒の興味を引きつけることができると期待される。今回の教材の中に、筆者（岡村）の研究室で開発された金ナノ粒子の簡便な合成を可能にする還元性の界面活性剤を利用した実験を取り入れ、生徒自身に金ナノ粒子溶液を調製させた上で、最新のナノテクノロジーとその身近な応用例について解説することとした。^[3]

3.2 出張サイエンス教室の実施状況

生徒はあらかじめ「化学変化とイオン」の復習授業でイオンの概念とイオン化傾向についての発展的な内容（後述）について説明を受けていた。ほとんどの生徒が理科実験に積極的であり、出張サイエンス教室の受講を楽しみにしていた。

授業は理科室で実施した。実験装置および配布資料は授業開始前に実験台上に設置した。50 分間の授業時間中、表 2 に示す手順に従って授業を進め、3 種類の実験を行った（図 1a–1c）。

実験 1：ナトリウム、マグネシウム、銅、金と水および希塩酸との反応

操作 1. ナトリウム塊をナイフで切断し、小さな薄片を切り出す。実験操作は講師または実験アシスタントが補助し、ナトリウムが柔らかい金属であること、切断面は金属光沢が見えることを説明する。

操作 2. ナトリウム（小薄片）、マグネシウム（削り状、少量）、銅（銅線数本）、金（金箔小片）を水（約 2 mL）の入った試験管 1～4 に投入する。試験管 1 では、ナトリウムと水が激

しく反応する様子が見られる。試験管 2~4 は変化なし。

操作 3. それぞれの試験管内の様子を観察し、ワークシートに記入する。

操作 4. 試験管 2~4 に希塩酸（10%水溶液）をパスツールピペットで約 1~2 mL 加える。試験管 2 では、マグネシウムが反応して気泡を出している様子が見られる。試験管 3~4 は変化無し。

実験 2：銅および金と濃硝酸および王水との反応

操作 1. 銅（銅線数本）、金（金箔小片）を空の試験管 5 および 6 にそれぞれ入れる。

操作 2. 試験管 5 および 6 に濃硝酸をパスツールピペットで約 1~2 mL 加える。操作は講師または実験アシスタントが行う。試験管 5 および 6 の上部にしぼんだ風船を取り付け、発生する二酸化窒素が拡散しないようにする。試験管 5 では、銅と濃硝酸とが反応して、溶液の色が緑色に変化し、茶褐色の気体が発生している様子が見られる。試験管 6 では変化無し。

操作 3. 金（金箔小片）を空の試験管 7 に入れ、直前に調製した王水をパスツールピペットで約 1~2 mL 加える。操作は講師または実験アシスタントが行う。試験管 7 の上部にしぼんだ風船を取り付け、発生する塩素や一酸化窒素が拡散しないようにする。試験管内では、金が王水に溶解色の变化（オレンジ色から黄色へ）が観察される。

実験 3：金ナノ粒子溶液の調製

操作 1. 筆者（岡村）らの開発した還元性界面活性剤水溶液約 2 mL が入った試験管 8 に、塩化金酸水溶液（ 1.0×10^{-3} mol/L）をパスツールピペットで数滴加え、振り混ぜる。^[3]反応は即座に進行し、無色の溶液が金ナノ粒子に由来する赤色に変色する様子が見られる。

操作 2. 安定化剤を含まない還元剤溶液（ 1.0×10^{-2} mol/L 水素化ホウ素ナトリウム水溶液）約 2 mL が入った試験管 8 に、塩化金酸水溶液（ 1.0×10^{-3} mol/L）をパスツールピペットで数滴加え、振り混ぜる。反応は即座に進行し、一瞬だけ金ナノ粒子由来の赤色の溶液が生じる。安定化剤を含まないため、不安定な金ナノ粒子はすぐに凝集し、溶液は透明になり黒色沈殿が生じる。

実験上の注意：有害な気体の発生と廃液処理

実験 2 の銅と濃硝酸との反応では、褐色の気体である二酸化窒素が発生する。また、王水の調製および王水と金との反応においては、塩素、塩化ニトロシルおよび一酸化窒素などが発生する。いずれも有毒な気体であるので、生徒が吸入しないように注意する必要がある。

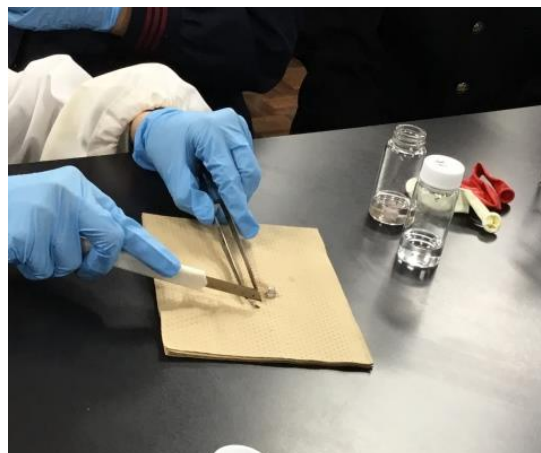
今回の実験では、王水は実験開始直前に濃塩酸と濃硝酸から調製し、スリ合わせガラス容器に密栓した。また、銅と濃硝酸との反応および金と王水との反応は試験管内で行い、反応直後に試験管上部にゴム風船を取り付けることで、有害な気体の漏出を防いだ。

今回の実験で生じた廃液は、希釈した状態でポリタンクに入れ、鹿児島大学理学部の実験室に持ち帰り、ドラフトチャンバー中で炭酸水素ナトリウムによって中和処理を行った後、金属含有廃液として処理した。

図 1. 金峰中学校における実験の様子 (H29 年 11 月 13 日実施)



1a. 実験器具



1b. ナトリウムの切断



1c. 風船を利用した気体の漏出防止 (写真は頤娃中学校での実験)

表 2. 平成 27～29 年度出張サイエンス教室の指導手順

活動 (時間)	教員の指導	生徒の活動	評価の観点
導入 (5 分間)	1. 講師・実験アシスタント紹介 2. 本時の授業内容紹介	実験台ごとに 4 名で 1 グループをつくり、着席 する。	
実験説明 (5 分間)	実験 1 の説明 (パワーポイント使 用。コンテンツは印刷して配布)	パワーポイントの表示 を見ながら説明を聞く。 実験手順について、重要 な事項に下線を引く。	
実験 1 (10 分間)	実験 1 の実施。講師・実験アシス タントは巡視しつつ、生徒の実験操 作の補助を行う。反応がどのような様 子か問いかけ、観察と記録を促す。	使い捨て手袋を着用の 上、実験手順に従って金 属と水及び希塩酸との 反応の実験を行う。反応 の様子をワークシート に記入する。	安全に留意して実験が できていること。 金属と酸の反応の様子 を観察できていること、 またその結果を適切に 記録していること。

表 2. 平成 27～29 年度出張サイエンス教室の指導手順（続き）

実験説明 (5 分間)	実験 2 の説明(パワーポイント使用。 コンテンツは印刷して配布)	パワーポイントの表示 を見ながら説明を聞く。 実験手順について、重要 な事項に下線を引く。	
実験 2 (10 分間)	実験 2 の実施。講師・実験アシスタ ントは巡視しつつ、生徒の実験操作 の補助を行う。有害な気体（二酸化 窒素）が発生することに注意を呼び かけると共に、どのような色の気体 が発生するか、観察し記録するよう 促す。	使い捨て手袋を着用の 上、実験手順に従って金 属と濃硝酸および王水 との反応の実験を行う。 反応の様子をワークシ ートに記入する。	安全に留意して実験が できていること。 金属と酸の反応の様子 を観察できていること、 またその結果を適切に 記録していること。
実験説明 (5 分間)	実験 3 の説明(パワーポイント使用。 コンテンツは印刷して配布)	パワーポイントの表示 を見ながら説明を聞く。 実験手順について、重要 な事項に下線を引く。	
実験 3 (5 分間)	実験 3 の実施。講師・実験アシスタ ントは巡視しつつ、生徒の実験操作 の補助を行う。溶液の色が変化す ることを説明し、どのタイミングで何 色に変化するか、観察し記録するよう 促す。	使い捨て手袋を着用の 上、実験手順に従って、 塩化金酸と還元剤との 反応の実験を行う。反応 の様子をワークシート に記入する。	安全に留意して実験が できていること。 色の変化から反応の様 子を観察できているこ と、またその結果を適切 に記録していること。
まとめ (5 分間)	今日行った実験の内容について、再 度簡単に説明する。特に、金属のイ オン化傾向の違いによる反応性の 違いについて、実験結果を踏まえて 説明する。また、金と金ナノ粒子の 特徴と、最新のナノテクノロジーに ついて簡単な解説を行う。 最後に、アンケートに記入するよう に促す。	アンケートに感想を記 入。	

4. 川辺中学校および金峰中学校での事前・事後指導と生徒の反応

4.1 事前学習

毎年 5 月頃、単元 1「化学変化とイオン」の第 2 章「化学変化と電池」で『電解質水溶液中に異なる金属を入れて導線で結ぶと金属と金属の間に電圧が生じる。どちらが＋極あるいは－極になるかは組み合わせる金属の種類によって決まる』ことを学ぶ。この時点でイオン化傾向については発展内容（学習指導要領には示されていない内容）であり、教科書には Na, Mg, Al, Zn, Fe, Cu, Ag のみのイオン化傾向が掲載されている。授業では教科書に掲載されている金属以外の金属についてのイオン化傾向にもふれ、「酸化性の酸」といった言葉は用いず、塩酸、硝酸、熱濃硫酸、王水へのとけ方についての説明を行い、資料（図 2）も配付した。

毎年 11 月、出張サイエンス教室の前時に、事前学習としてイオンの復習を行った。同時に出張サイエンス教室では 5 月に説明していた王水への溶解を授業内で確かめることができるとことや、イオンではなくても目に見えないぐらい小さい粒子となって金ととけることにふれておいた。小学校及び中学校 1 年生で学ぶ『溶けるとは』の確認も同時に行った。

4.2 事後指導と生徒の反応

出張サイエンス教室の授業内容がイオンと関連していたこと、金はイオンではなくてもナノ粒子として溶けているということ、このナノ粒子が医療や薩摩切り子にも使われていること、等について再確認を行った。

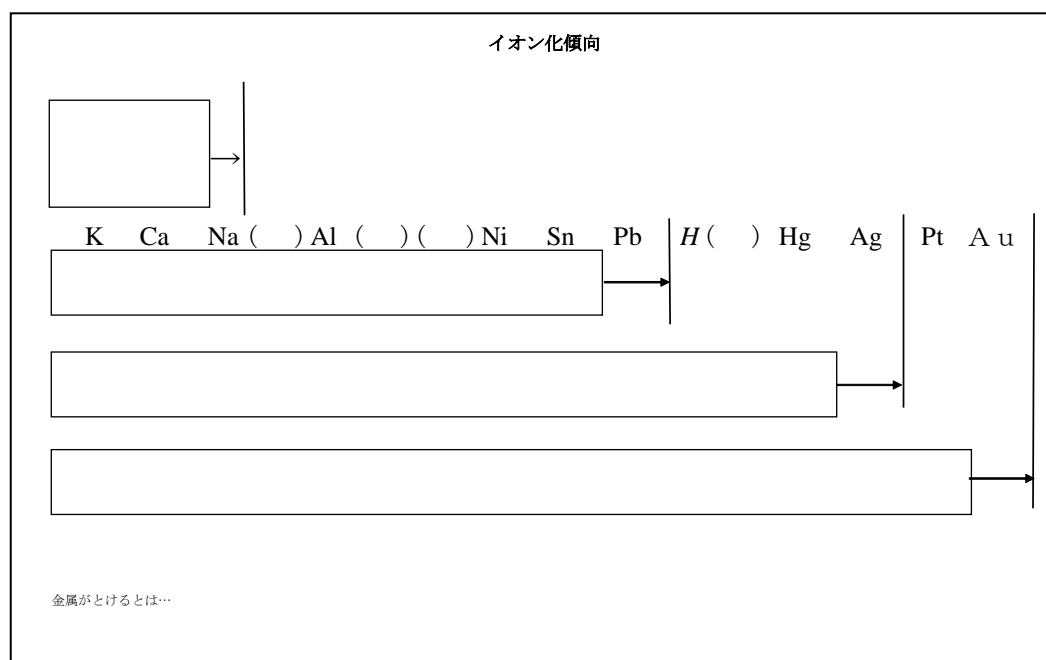


図2. 金峰中学校事前指導での配布資料（ワークシート）

生徒は金が王水に溶ける上にナノ粒子となったときに金色ではなく、予想外の美しい色になることに驚きを覚えていた。金がナノ粒子になることを初めて知り、身近なところで使われていることに気づくと同時に、ほかにも身近なところで使われている科学があるはずだということに気がつく生徒もいた。中学校で学習したことが大学にまでつながっており、最先端の技術につながっていることを実感できた生徒、大学の授業に興味を持った生徒、大学の実験の一部を体験することができたことに喜びを感じていた生徒など、普段の授業では経験できないことを経験することができてよかったといった感想を書く生徒が多数であった。

生徒の感想(抜粋)

- ・ 金が王水にとける反応を見ることができた。
- ・ 還元剤を入れたら、液体の色が金になると思っていたが違った。
- ・ ナトリウムを水の中に入れると水面をはねながらとけることに驚いた。
- ・ 中学校で学んだことは大学に必要なことで中学校と大学はつながっている。
- ・ 中学校の学習も今の最先端の技術につながっていることを実感できた。
- ・ イオンの単元は苦手だが、興味を持てた。
- ・ 酸化力という言葉が印象に残っている。酸化する方にも力があるのか・・・という強い印象
- ・ わたしたちが授業でしている小さな実験も大学で行われている実験につながると思うととてもわくわくしました。
- ・ 金がナノのような小さいものに変化することを初めて知った。
- ・ 身近なところで金のナノ粒子が使われていることに驚いた。まだたくさん科学が使われているところは身近にあると思う。

- ・ イオンの復習ができた。イオン化傾向をさらに深めることができた。
- ・ 今まで塩酸でマグネシウムまでの実験はしてきたけど、銅や金のとけるのを見てすごいと思った。
- ・ 理科が日常生活と隣り合わせにあることがわかった。
- ・ 金が鹿児島と関係深いというのが驚き
- ・ 大学の実験の一部が体験できた。
- ・ 金属がとけるのにはいろいろな方法が必要なのだと思う。
- ・ 大学の授業に興味をわいた。
- ・ イオンについて詳しくできた。
- ・ 高校でやることを先にしたのでよかった。
- ・ 授業で習っていたこともあったが、実際に実験したことはなかったのでとてもよい経験になった。

中学生は3年生になると卒業後の進路を決定していくことになる。その際、各高校で行われる体験入学は進路を決定していく中での判断材料となっていくが、大学進学を目指しているものの具体的にどういった方向に進もうかまだ決まっていない生徒にとっては、出張サイエンス教室で大学の研究の一部にふれることが、大学を身近に感じ自分の将来のすがたを思い描くときの一助となっていると考えられる。

5. 得られた成果と今後の課題

出張サイエンス教室実施時の児童・生徒の反応、実施後のアンケートへの回答および事後指導での反応、実施後の CST からの聞き取り調査のいずれも、本事業が好意的に受け止められており、児童・生徒の理科に対する興味と関心を引き起こす効果があったことを示している。この企画を継続的に実施することができれば、理科離れ防止と、高校以降の理数系進路選択率の向上が期待される。

継続実施するにあたっての問題点は、人材の確保と経済的な支援の確保にある。鹿児島県内には公立(市町村立及び県立)中学校だけでも 227 校(うち、休校 8)あり、その全てに大学教員を派遣することは不可能である。また、派遣に必要な旅費と実験に係る費用負担の問題も見逃せない。

今後は、実験教材の種類を増やし、さまざまな単元で利用できるようにすること、また、本事業で開発した実験教材とその利用のノウハウを小中学校理科教員に伝え、教員だけではなくは教員と大学生(もしくは大学院生)アシスタントだけで実施できるようにすることが必要であると考えている。

大学教員は、教材の開発に関与すると共に、教材の安全な利用と、教材を利用した際に生じる各種の廃棄物の安全な処理に関与することで、小中学校で安心して教材が利用できる環境の整備に努める必要がある。

謝辞

平成 21 年度から平成 25 年度末まで実施された実践的コア・サイエンス・ティーチャー養成スクールは、独立行政法人科学技術振興機構の理数系教員養成拠点構築事業として実施された。

平成 26 年度以降現在まで継続的に実施しているコア・サイエンス・ティーチャー養成コースは、鹿児島大学理学部の学部長裁量経費によって運営されている。

出張サイエンス教室の実施にあたって、本文に記載した鹿児島県内の小中学校にご協力をいただいた。鹿児島県教育委員会、およびご協力いただいた各市町村教育委員会と小中学校の関係者に深く感謝の意を表する。

参考文献

- [1] 国立大学法人鹿児島大学, 平成 21 年度国立大学法人鹿児島大学事業報告書, p 2, (2009).
- [2] 文部科学省, 小学校学習指導要領解説理科編, 大日本図書 (2008). 文部科学省, 中学校学習指導要領解説理科編, 大日本図書 (2008).
- [3] Spontaneous Preparation of Highly Stable Gold Nanoparticle Stabilized with ω -Sulfonylated

Alkylsulfanylaniline, M. I. M. Darwish, Y. Takenoshita, T. Hamada, S. Onitsuka, J. Kurawaki, H. Okamura, J. Oleo Sci., 66, 1349-1354 (2017).