

平成 30 年 6 月 18 日現在

機関番号：32717

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26282040

研究課題名(和文) 持続発展を題材としモデル化学習により科学知の活用と探究能力を育成する国際協働研究

研究課題名(英文) International Co-research on SD Educational Materials to Utilize Science Knowledge and Foster Investigation Ability

研究代表者

松原 静郎 (MATSUBARA, Shizuo)

桐蔭横浜大学・スポーツ健康政策学部・教授(移行)

研究者番号：50132692

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 11,300,000円

研究成果の概要(和文)：開発した持続発展教材により、生徒は持続可能な発展の概念の重要性や科学者や技術者が行ってきた努力などを理解し、学ぶことの意味を見いだせた。アジア3か国でも、教材を各国に適した方法で実践し、その有用性が認められた。探究の過程で科学知を活用するモデル化学習では、抽出した三つの基本項目と三つの要素が学習者に手がかりを与え、レポートに必要な項目との対応が見られ、モデル構築の構造化が妥当であると考えられた。
実践を重ね改良を進めてきた空気電池式酸素センサは、活用教本とともに市販した。

研究成果の概要(英文)：Educational materials we developed made students to understand the significance of sustainable development concepts and the effort of scientists and engineers, and to find the value they learned chemistry in schools. Students in three Asian countries also practiced the materials, which modified to fit each country, and recognized the value. In the model-based learning to use science knowledge in the process of problem-solving three fundamental items and three elements helped students' consideration. The structure given to the modeling was recognized as reasonable, because those items and elements had relation to items in report writing.
Air battery-type oxygen sensor for use as teaching tool and the textbook to use the sensor in science classes were put on the market.

研究分野：科学教育

キーワード：自然科学教育 持続可能な発展 モデル化 国際研究者交流 中等教育

1. 研究開始当初の背景

1980年代に登場した「持続可能な発展(SD)」の概念はその後深化・拡充し、国際的に共有されてきた。2005-2014年にはわが国からの提案で「国連持続可能な開発のための教育(ESD)の10年」が実施され、わが国の理科関係の教育学会はもちろん、2007年にはESDをテーマとして国際理科及び技術教育機構(IOSTE)アジア地区会議がフィリピンで開催された。さらに、2009年にはユネスコ・アジア文化センターから、2012年には国立教育政策研究所から、小・中・高等学校でのESD教材の展開例や教員研修プログラムを含む研究報告書が出されるなど取組が進められてきた。

SDの基本概念である「私たちと子孫の生活の質向上のための開発・発展」を、化学で具体化したといえるグリーン・サステイナブルケミストリー(GSC)の考え、すなわち、汚染が発生してから処理ではなく、汚染そのものの発生を断つための原理と方法に関する考えを取り入れることが理科でのSD教材開発の観点となり得ると考えられた。この考えを入れた教材を開発・改訂し、その教材には理科におけるSDの枠組みとして、利害の二面性を理解すること、科学技術者の努力を知ることで科学技術に前向きな意識を持つこと、科学技術に関連する事象を自ら判断・意思決定し活動する意欲を示すことの三つの目標を組み込むようにした。学習後の生徒の意識には明らかな変化が認められ、科学の価値や科学を学習する意義を多くの生徒が認めていた。

さらにこのSD教材を、一斉授業が多く、クラスサイズも大きいなどの学習条件が似ていることに加え、文化的、自然環境的な背景が似ているアジア諸国で実践し、国際ワークショップを開催して情報交換し、SD教材に付加した新しい内容を実践・改訂することなどを通してその意義を相互に確認してきた。

一方、国際ビデオ調査で、わが国の中学校理科実験では予測を立てたり、教師の指示に従ってデータを処理したりする活動が多いが、生徒が独自に考えて行う活動は見られなかったと報告されている(2007)。目的意識をもった実験や探究的な学習は実施されているが、主体的に行っていく活動に変えることが求められている。しかし、自ら予想を立てても当てずっぽうでは意味をなさない。SDや科学的な考えを基に概念モデルを構築し、それに従って実験計画を立て、実験活動を行った後は科学的に考察してレポートにまとめ、また新たなモデルを構築していく過程(サイクル)が必要と考えられた。

2. 研究の目的

持続可能な発展(SD)のための教育に対応した教材を、理科の立場から開発・改訂するとともに、わが国ばかりでなくアジア各国でも使える教材とする。本研究はその達成のため、

四つの柱を立てた。

(1) これまで作成してきたSD教材の枠組みに沿って、意思決定させる教材を実践・改訂していくことである。

(2) すでに実践中である空気電池式酸素センサ等を一層改訂するとともに、それらのセンサを用いてSDの考えに対応した実験教材を開発することである。

(3) 開発教材を使ってモデル化学習の推進を図り、一枚ポートフォリオ評価法などを用いてその有効性を調査することである。

(4) アジア諸国と協働して研究や実践を進めていくが、各国での実践の結果を踏まえて、教材や指導法のアジア版を開発・改訂することである。

3. 研究の方法

(1) 研究代表者、分担者、中・高等学校教諭、教育センター指導主事などで研究委員会を発足させ、年2~3回研究委員会を開催し、調査の方針や結果の分析を行った。

(2) SD教材に関しては、プラスチック教材を、単に利害両面から比較する教材ではなく、これまでの変遷などを考慮することで科学者・技術者の環境に対する対応が、持続可能な方向へと変化していることを意識させるとともに、自ら判断・意思決定し行動に結び付けていく教材とするため、理科におけるSDの枠組のうち特に「科学技術者の努力を知る」観点から教材を見直し、ペットボトル教材として作成し直し、中・高等学校で実践・改訂を行った。

(3) 実験教材に関しては、空気電池式(高橋式)酸素センサを教育センターの小・中・高教員対象の研修会や中・高等学校などにおいて燃焼や植物の呼気の実験などに使用し、データを集積し、改良を重ね、完成させた。同時に、酸素センサを用いた教材案を具体的な実践から収集した。

加えて、視覚障害者に対応した実験では、読み上げ機能付きセンサを開発・実践し、生徒から非常によい反応を得た。

(4) モデル化学習に関しては、わが国の教員・保護者ともに「ものごとを計画的に行う力」を「論理的にものごとを考える力」とともに高く評価していない(2006)が、概念モデルの構築は、実験計画とも関連し、問題解決の重要な過程と考えられる。問題解決過程でのモデル構築の定型化を進め、生徒にとって考える手がかりとなる基本事項および要素について検討し、さらに、基本事項や要素に対応する定型文の作成を図った。

(5) アジア諸国との協働研究に関しては、これまでわが国のアジア諸国等への理科教育に関する援助の多くは、大学の科学教育関係者による科学の内容の教授が中心であった。我々は、韓国晋州教育大学、マラヤ大学、フィリピン大学およびフィリピン教育大学の教員と協働し、日本の教育現場で行われている教師による実践を教材や評価法とともに示し、各国でSD教材を実践して、毎年持ち回りで国際ワークショップを開催して、相互に報告し、検討した。

(6) 教材の開発・改訂や調査結果などの成果については、毎年報告書を作成し公表した。

4. 研究成果

(1) SD教材の開発・改訂

持続可能な発展 SD教材として開発実践してきたプラスチック教材を再検討し、見出された1) 時間、2) 密度と浮き沈みの関係の理解、3) 実験とその結果の活用についての理解、4) 科学者や技術者の努力への認識の四つの問題点を解消するため、新たにペットボトル教材として開発し直し、実践した。

ペットボトル教材は実験として、液体の密度を測定する活動や、液体中にプラスチックを入れた際の浮き沈みでプラスチックを分類する活動が入っている。具体的な方法として、密度を測定した液体中での浮沈を観察する方法、エタノールに食塩水を加えていき、プラスチックが浮いてくるときの密度を測定する方法など、4方法が開発された。

国内外の調査でわが国の生徒は理科学習が日常生活や社会で有用ではないとする割合が大きい。中・高等学校での実践から、本教材は身近なペットボトルに生徒が考えもしなかった秘められた様々な工夫や歴史を知り、社会がペットボトル一つの改良にも真剣に取り組んでいる例を知る機会を与えるものであり、生徒はSDの概念の重要性や3R、課題解決のために科学者や技術者が行ってきた努力などを理解し、学ぶことの意味を見だし自ら学ぼうとする意欲を高める効果が認められた。ある学校では今回の授業を終えた後、普段の授業と異なり、生徒が率先して文章を書く姿が随所に見られた。学校によっては、生徒にとって難易度が高い教材であったが、アンケートから予想以上に理解している生徒が多かったことがわかった。

また、本教材の上級編として、化学部での活動やSSHでの授業を想定した教材案及び実験器具として密度測定用小道具を作成し実践した。上級編に関しては、さらなる実践および改訂が必要である。

さらに、生徒が立案した実験計画で行う実験授業として、教師役の生徒を決め、教師との話し合いや予備実験を通して、教師役の生徒が実験活動を主導する生徒主導型授業PIEを導入することで、安全面でも実験面でも学習意欲推進面でも教師役の存在が大きく、生

徒の安全確保や実験計画修正時の支援がより適切に行え、かつ生徒の化学への学習意欲や理解度も高められたと考えられた。

(2) センサを用いた実験等に関する実践

生徒の多くは理科学習が環境の保護に役立つと考えているが、生徒が直接扱える実験を通すことでSDの考え方をより身近にとらえられるようになると思われる。酸素/二酸化炭素センサや空気電池式酸素センサ等を教育センターや学校に貸し出し、小学校教員対象の呼吸と光合成についての研修講座や学校での光合成の授業等で実践をしていただいた。その中で、気圧測定センサとしての使用が期待できることもわかった。

空気電池式酸素センサを自ら作製し小学校での使用場面を想定した学習プログラムと併せて提案した研修講座では、時間不足であったが、作製自体は概ねスムーズに実施でき、酸素センサの有用性も理解していたと考えられた。

この空気電池式酸素センサは、教材会社3社から商品化されるとともに活用教本も市販された。

さらに、視覚特別支援学校では、酸素/二酸化炭素センサの読み上げ機能を使っての実験について実践が進められた。燃焼の実験では、具体的な数値から濃度変化を自分たちで読み取り、その変化の表す意味について考察することができた。また、質量保存の概念の理解について、生徒へのインタビューから効果的であったことなどが明らかになった。

(3) モデル化学習教材の開発、改訂

持続可能な発展SDや科学的な考えを基に概念モデルを構築し、実験計画を立て、レポートとしてまとめ、また新たなモデルを構築していく一連の過程(サイクル)を定型とし、多くの生徒が扱えるモデル化学習の検討を進めた。ここで、モデルの定義は「対象を説明するために抽出した要素で組み立てた概念装置」とした。モデルの構築は次の三つの基本項目に考えておくべき要素を加え、学習者の手がかりとなるようにし、定型文も新たに作成した。

モデル構築の基本項目と要素

- ①課題またはテーマ
- ②考えておくべき要素：解決の手立て
 - 1) 着目する事項(着目)
 - 2) 結論の導き方(導出)
 - 3) 前提の確認(前提)
- ③モデルの組立：課題と要素をつなぐ考え

物質の同定をテーマとし、砂糖と食塩のかさ密度を使った判別を題材とした教材の開発・試行・改訂を行った。さらに、化学反応式の決定をテーマとし、炭酸水素ナトリウムの熱分解を題材とした教材を開発し、モデル構築の基本項目の要素が物質の同定と対応で

きることが確認された。また、基本項目と要素が、実験レポートに必要な項目である目的、方法、考察（結論部分）、考察（根拠部分）、および、実験計画と対応しており、モデル構築の構造化が妥当であることを示唆していると思われた。

高等学校での実践では、モデル構築の要素や実験計画に関して、定型文に沿って正しく記述できた生徒が多く、一定の理解ができると考えられた。

中学校での実践では、モデル構築の基本項目を用いて化学実験を計画する実践を通して、生徒に方針を立てさせ、教師がその方針を生かした具体的な方法を提示したところ、学級の 2/3 程度の生徒が自分の考えから筋道を立てて実験の計画を立てることができ、実験を計画する活動の一部は実践可能であり、意義があることが明らかになった。また、実験の計画を行うことで、9 割の生徒が適切な結論を記述しており、実験を計画する活動が考察を記述する際にも正の効果をもたらしている可能性が考えられた。

(4) アジア諸国との協働研究

2014 年度はフィリピンのパラワン州立大学、2015 年度はマレーシアのマラヤ大学、2016 年度は韓国の晋州教育大学校、2017 年度はわが国で国際ワークショップ IWS を開催した。毎年その 1 年間に進めてきた調査研究について相互に報告するとともに、意見の交換をした。また、各国での教育状況を視察し、共通理解を深めた。

ワークショップでは、実践を通して、「ペットボトルの利用と廃棄、様々な種類のプラスチックの分類、プラスチックを分類する実験の実施、ポリエチレンテレフタレート PET の効果的な利用に関連する活動について、学習する機会を生徒に与えなければならないことが明らかになった。プラスチックの概念に関する本教材での学習は、環境の保護や保全の仕方についての考えを生徒に提供したと思われる。」等の発表があった。

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 2 件)

- ① 寺谷 徹介, 後藤 顕一, 松原 憲治, 野内 頼一, 松原 静郎 「中等教育化学領域でのモデル化学学習における要素の定型化の枠組—化学実験での一連の活動への適用—」科学教育研究, 査読有り, 40(2), pp. 180-185, 2016
- ② 後藤 顕一, 松原 憲治, 野内 頼一, 宮内 卓也, 北川 輝洋, 寺谷 徹介, 松原 静郎 「「モデル化学学習」の考え方、進め方に関する一考察—高校化学の試行実践を通して—」科学教育研究, 査読有り, 40(2), pp. 166-179, 2016

[学会発表] (計 28 件)

- ① 宮内 卓也, 寺谷 徹介, 松原 憲治, 松原 静郎 「モデル化学学習を取り入れた実験計画を立てる学習の改善—中学校 2 年生「木炭の燃焼」の実践を通して—」日本理科教育学会全国大会, 2017
- ② 柳澤 秀樹, 北野 賢一, 松原 静郎 「生徒主導型授業 PIE の実践」日本理科教育学会全国大会, 2016
- ③ Mitsuo TATAHASHI, Hirokazu SAITO, Nobukatsu DOI, Yuji TAKEIZUMI, Yukie SONOBE, Kenichi GOTO, Yorikazu NOUCHI, Yoshihiro HADA, Norimichi KAWASHIMA, Hiroshi IIDA, Keiichi IWAKI, Kazuyuki ODAIRA, Katsuhito MIKI, Seiichi HAYASHI, Shousuke TERATANI, and Shizuo MATSUBARA, “Oxidation reaction experiment of iron powder (disposable warmer) using handmade oxygen sensor.” The 2015 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (PAC CHEMTM), Honolulu, USA, 2015
- ④ 松原 静郎, 北川 輝洋, 柳澤 秀樹, 宮内 卓也, 鮫島 朋美, 後藤 顕一, 寺谷 徹介 「化学反応式の決定をテーマとしたモデル化学学習教材」日本科学教育学会年会, 2015
- ⑤ 松原 静郎, 北川 輝洋, 久保 博義, 宮内 卓也, 鮫島 朋美, 後藤 顕一, 寺谷 徹介, 「同定をテーマとしたモデル化学学習教材」日本科学教育学会年会, 2014

[図書] (計 1 件)

- ① 高橋 三男 『酸素が見える! 楽しい理科授業—酸素センサ活用教本』B&T ブックス, 日刊工業新聞社, 2017, 158p.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松原 静郎 (MATSUBARA, Shizuo)
桐蔭横浜大学・スポーツ健康政策学部・教授
研究者番号: 50132692

(2) 研究分担者

高橋 三男 (TAKAHASHI, Mitsuo)
東京工業高等専門学校・物質工学科・教授
研究者番号: 40197182

研究分担者
後藤 顕一 (GOTO, Kenichi)
東洋大学・食環境学部・教授
研究者番号: 50549368

研究分担者
松原 憲治 (MATSUBARA, Kenji)
国立教育政策研究所・教育課程研究センター—基礎研究部 総括研究官
研究者番号: 10549372

研究分担者
生尾 光 (IKUO, Akira)

東京学芸大学・教育学部・准教授
研究者番号：50159589

(4) 研究協力者

寺谷 徹介 (TERATANI, Shousuke)
野内 頼一 (NOUCHI, Yorikazu)
林 誠一 (HAYASHI, Seiichi)
堀 哲夫 (HORI, Tetsuo)
宮内 卓也 (MIYAUCHI, Takuya)
柳澤 秀樹 (YANAGISAWA, Hideki)