

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 9 月 1 日現在

機関番号：53401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K00943

研究課題名(和文) 数学教育の新たな展開を目指したSTEM連携教育の調査と教材開発のための基礎研究

研究課題名(英文) Research and study of STEM collaborative education aiming for new development of mathematics education

研究代表者

坪川 武弘 (TSUBOKAWA, TAKEHIRO)

福井工業高等専門学校・一般科目(自然系)・教授

研究者番号：70236941

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)：STEM連携教材の調査と開発を目的として以下の成果をあげた。(1)RMEでのSTEM連携調査を行った。(2)コロラド州立大学の数学と化学の融合教材を訪問調査した。教員間の連携の重要性、授業でのTA・LAの役割が特徴的であった。(3)中学・高校・高専・大学でのテクノロジー利用教材として、T3Japan年会の20年分720件を超える発表を調査した。電子化・分類・データベース化を試みた。資料は電子化し分類は進行中である。容量が7GBを超えるため公開用のシステムを検討中である。(3)「グラフ電卓研究会」の18回分のタイトルと予稿、配布資料はホームページを作成し公開し利用できるようにした。

研究成果の概要(英文)：The following results were obtained for the purpose of surveying and developing STEM collaborative teaching materials. (1) We conducted a survey of STEM cooperative education at RME. (2) We visited the educational materials of Colorado State University mathematics and chemistry. The importance of cooperation among teachers, and the role of TA and LA in the class were distinctive. (3) As a teaching material for teaching technology at junior high school, high school, technical college and university, we surveyed more than 720 presentations of T3Japan annual meeting for 20 years. I tried digitization, classification, and database creation. The material is digitized and classification is in progress. Because the capacity exceeds 7 GB, we are considering a system for public use. (3) The 18 titles of the "Graph Calculator Study Group", proceedings and handouts were made available for public use by making a website.

研究分野：数学教育

キーワード：数学教育 STEM連携 テクノロジー利用

1. 研究開始当初の背景

数学教育改善を目指す取り組みの1つとしてSTEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics)間の連携による教材の開発が注目を集めています[2]。オランダ人の数学者で1980年代に世界の数学教育を先導してきたハンス・フロイデンタールの教育観を基に設立されたFIsmE [3]が提唱するRME (Realistic Mathematics Education) の考え方は、この数学と他の分野との関連を認知論的に重要と考え、低年齢からその連携を図るものです。1990年代以降、この方向での教材開発がMIC [4]として小学校段階での数学教材としてオランダと米国で開発されてきました。また、高校段階の教材として米国で開発されたIMP [4]はこの考えに基づくアクティブ・ラーニングの教材として実現されています。

これらの教材の特徴は、(A)素材を日常生活と他の諸科学から取り込んでいること、(B)グループ学習を積極的に取り入れていること、(C)適切なテクノロジーを利用することにあります。

高校以上の段階では、米国でもいくつかの先進的なSTEM教育がなされているようですが、コロラド大学の数学科と他の自然科学系が協働して行なっている新たな数学学習教材が目をはきまします。例えば「ワインの発酵」をイースト、砂糖、アルコールの3つを変数として微分方程式を作成する教材を、大学の授業の中でグループワークを通して実現しています。この教育の特徴は、上の(A),(B),(C)に加えて、(D)ティーチング・アシスタントの活用があります。しかし、最も重要な特徴は、(E)教科を超えたSTEM間の教員の協働作業による教材の開発です。

これらの経験は広く共通性をもつ教材作成の手法です。教育環境の異なる日本においても、RMEやコロラド大学の経験を参考にして、高校から大学にかけての数学教育をより親しみ易い現実の問題を反映したものに作り替えていくことが可能と思われます。

本科学研究費の申請者は、近年このRMEの国際会議(第3回2011年、第4回2013年)に参加し、高等教育段階でのSTEM+連携による教材の開発とアクティブ・ラーニングによる授業構成が、自然科学系のみならず人文科学系の大学生にとっても学びがいのある広がりをもった学習を提供できることになると考えるようになりました。幸い、FIUS[5]の中心メンバーやコロラド大学の数学科関係者、米国の高校段階でのIMPクラスを持っている教員と教材の開発者たちとの数年間の交流を通じて、多くの貴重な意見交換ができてきました。日本国内では日本数学教育学会高専大学部会などでの意見交換で新たな教材作成の必要性について議論が進んできています。また、テクノロジーの利用については15年間に渡りグラフ電卓の全校での利用経験を持つ数少ない高専での経

験と多くの研究会[6]での知見の蓄積があります。このようにSTEM+の教材を(A),(B),(C),(D),(E)の特徴を可能な限り実現するものとして調査と開発を試みたいと考えるに至りました。

2. 研究の目的

(1) コロラド大学でのSTEM連携教材等の調査と他の大学等での同種の教材等の調査

全米で先進的で組織的な取り組みができている事例の1つがコロラド大学(ボルダー校)と思われます。ここの数学科と数学教育科は他の自然科学系との協働で数十の教材を作成しています。これらはまだ日本国内でもほとんど紹介されていません。この教材と実際の授業の様子の調査を優先して行ないます。

(2) ティーチング・アシスタントの役割についてのインタビュー

コロラド大学の中でのSTEM融合教育の中で、継続性と教育の質の保証にとって特筆すべきなのは、ティーチング・アシスタントの制度です。アシスタントへの教育とアシスタントからのフィードバックが教育内容の改善に不可欠であると関係者は述べています。この面ではその全体像を把握し日本における適用の参考とするため、彼等へのインタビューとアシスタントへの教育に着いて十分な調査が必要です。

(3) FIsmEが協調するRMEの高校以降の教材についての調査

RMEの研究者はその多くが初等・中等教育を対象としていますが、IMPの開発者など高校での教材開発について熱心な研究者もいます。また、FIUSの研究者はSTEM教育について、コロラド州内の高校において、教科を横断した連携を積極的に組織化しています。この中で実践されている教育についてはまだ教材の詳細や授業方法が紹介されていません。高校教員との懇談と彼等からの意見を聞き、そこで行なわれている教材や授業についての調査を行ないます。また、オランダでの高校などでの教材開発や授業についての調査をユトレヒト大学の研究者の協力を得て行ないます。

(4) 日本版の高等教育教材を初年次教育用の教材として開発すること

STEM+の教材の高等教育での利用は、数学学習の動機付けという観点から初年次教育に用いる数学教材とすることが日本の重要な意義であると考えます。そのような教材を開発することは多くの高等教育機関のもつ教育要求への回答となると思われます。初年次教育での利用を念頭においた米国などの教材の導入による授業は以下のような展開になります。)簡単な微積の学習、)微分方程式の作成、)数理ソフトでの数値的・視覚的解の取得、)結果の観察と考察、)発表と講評。これらをグループワークとして行なうものとします。教材は10程度を選定し作ります。この中には、申請者の研究対象

である二酸化炭素の循環モデルも入れます。

(5) 調査結果と教材の共有

この結果については、p-mathedu.org のホームページ[7]にて公開します。同時に STEM + 関係教員・研究者間での討議の場を研究会としてもちます。

3. 研究の方法

本研究は、3カ年間の研究期間を想定し、前半は調査に後半は教材作成に比重を置いた研究とします。STEM教材の調査は米国等の大学と高校の授業見学を含む実地調査、共通の質問シートを用いた教員・アシスタントへのアンケートを実施します。教材作成では、調査にもとづく教材を用いる数学の難易度と対象学生によって分類し、日本語版として再構成します。教材はグループワークとテクノロジーの利用を前提にしたものとします。その際 IMP における教材配列順や RME における学習履歴に関する認識論的組み立てを参考にし高校から大学への接続が可能な教材配列となるようにします。教材配列に関する部分は検討のための研究会を開催します。【1】27年度の研究計画

(1) 米国等での教材に関する訪問調査

最初の調査対象は、9月に行なわれる RME 国際学会に合わせた時期に、米国コロラド州立大学(ボルダー校)における大学での STEM教材の実施実態です。この大学の STEM 教育推進の実質的な関係者(数学科 Eric Stade 教授)から、教材の開発から実践にいたる様々な段階で教科を超えた協働が実現していること、ティーチング・アシスタントが重要な存在であることを聞き及んでいます。実際の授業がどのように計画されてどのように実施されているのか実地調査によりその教訓を探ります。この訪問の段階で関係する教員とティーチング・アシスタントには、準備と事後の作業を含めた詳細なアンケートを依頼します。学生からはこのような授業に対する聞き取り調査を行ないます。

9月に、高校以下の学校での STEM 連携の状況を実地調査します。この調査は RME のオーガナイザーである David Webb 氏(コロラド大学数学教育科准教授)の協力を得て実施します。なお過去2回の RME では IMP を用いた高校数学などを彼の協力で見学しています。

(2) 米国等での教材に関する分析

現在までに開発されている教材は、微分積分学の関係の教材で、生物学・生態学、化学が中心となっています。疫学、人口動態、遺伝子発現などを対象とした教材を作成しています。これらの教材はグループワークが可能なように作られており、かつ Sage というフリーソフトで数値解を求めるものもあります。従来の黒板を用いた教師主導の授業中心から学生の共同作業を通じた授業へと変換させるものですが、従来型の授業とグループワークとの組み合わせの形の実態を分析します。また、アクティブ・ラーニングで困

難の指摘のある評価に関する考えと方法を調査します。

(3) 日本型の教材化

IMP などの教材は米国の歴史や社会を色濃く反映したもので、そのまま日本で教材とすることは共感・興味を得るのが難しい場合があります。同様の課題が大学での教材にも当てはまります。醸造などのテーマはワインよりは日本酒に置き換えた方が事例が豊富かもしれません。このように内容の本質を変えないで場面設定を変えること、日本での教育課程との違いに配慮の必要な部分などを検討し、日本的な教材としていくことを行ないます。

また、従来から申請者が開発してきた二酸化炭素の循環モデルを初年時教育用に修正し簡単な4変数モデル(大研究計画・方法つづき)

(4) 公開と他の分野の研究者・教育者との協働

調査結果と教材の公開とその検討は、連携研究者(旭川高専 嶋田鉄兵氏)の ICT に関する知識と技術を活用して、データベースと WEB 利用の形態を検討します。また、討議の場として小規模 SNS (福井県学習協議会提供の F レックス SNS である <http://sns.f-leccs.jp> など)の利用を行ないます。

【2】28年度の研究

(1) 米国等での教材に関する調査

28年度は、米国の他の大学(現在の予定ではウィスコンシン州立大学)とオランダ(ユトレヒト大学)の調査を行ないます。これらの大学は RME の中心的な研究者が多数活動しているところで、これまでに数名の研究者と知古を得ています(例えば Henk van der Kooij 教授)。オランダは MIC の開発を最初に行った地域であり、初等・中等段階での数学教育に活用されています。高校以降の段階での STEM 教育の推進について 2013 年にはその必要性を何名かの研究者が指摘していました。この調査では、高校以降の段階での数学教育について彼らが提唱する「学習軌跡の理論[8]」の具体化について調査します。コロラド大学の調査については、27年度での調査活動の不足分を追加調査します。

(2) 日本型教材の開発

28年度は、コロラド大学等の教材を2つのレベルに分けて開発します。1つは高校から大学への接続における数学的な基礎と数学の有用性を示す教材です。これは以下の要素を含みます。

1) 初等関数の微分積分の基礎知識、2) 行列と行列式の演算の基礎知識、3) 数式処理システムなどのテクノロジーの利用方法、4) グループワークの訓練、5) プレゼンテーション、6) 自己評価と相互評価

用いるテクノロジーについては、PC・タブ

レット上のフリーソフト(Sage もその候補)、グラフ電卓などを比較し最もふさわしいものを採用します。教材は 2~3 回の授業で 1 テーマとします。

もう1つは、大学教養程度の数学を前提とした、微分方程式やフーリエ級数の学習を他の分野からの素材を取り入れた形でワークシートとして整備します。上の 3)から 6)を含むものとします。

(3) 他の分野の研究者・教育者との協働

対面での教材等の検討は、「グラフ電卓研究会」「T3 Japan 年会」「日本数学教育学会高専大学部会「RME 5 国際会議」を通じて実施する形態と SNS を通じた日常的な討議の両面で行ないます。

【3】29 年度以降の研究

(1) 教材の調査と開発

米国でのコロラド州立大学以外での STEM 教育の調査を行います。これは主に教材そのものと実際の運用を関係の機関と教員へアンケート等を用いて行ないます。自然科学系だけではなく社会科学・人文科学との連携(STEM + アルファ)について教材の検討を行ないます。この面では申請者が過去に分担者となっていた「中世考古学」に関する数量的計測の研究の経験を生かして、考古学等からの教材の採集を行います。初年時と基礎学習後の2つの段階での教材として開発を進めます。また、授業での実践をいくつかの高専と大学(はじめは福井県内の高専と大学)で実践しそのフィードバックを得ます。

(2) 教材の公開、データベース化

教材のストックとしてのデータベース作りは調べた原語と日本語の両方を公開し今後の資料としての意味を持たせたものとします。もう1つのタイプは、一種の e-Learning システムとしての教材化です。この WEB ベースの教材は、分担者とアルバイトの雇用、関連企業へのシステム開発依頼により実現をはかります。国内外での研究会等で成果を順次議論していきます。

4. 研究成果

STEM 連携教材の調査と開発を目的として以下の成果をあげました。(1)RME での STEM 連携教育の調査を行いました。その場で自分の経験も発表しました。(2) 高等教育向けとして、数学と化学の融合教材をコロラド州立大学の事例を訪問調査しました。教材作成段階での教員間の連携の重要性と、授業実践の場での TA・LA の果たす役割の大きさが確認しました。この教材は発酵過程を題材とした多変数の連立微分方程式で、微分方程式の導入と解の可視化という点で優れていました。

(3)日本での中学・高校・高専・大学でのテクノロジー利用の STEM 連携教材として、T3Japan の年会の 20 年分の 720 件を超える発表を調査し分析しました。その全データを電子化しました。これは 7GB を超える容量とな

りました。分類とデータベース化を試みています。分類については現在も実子宇宙です。データの容量が 7GB を超えるためどのシステムを利用し公開するかのはまだ検討中です。(4)福井高専で実施してきた「グラフ電卓研究会」の 18 回分のタイトルと予稿、配布資料はホームページを作成し公開し利用できるようにしました。

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 0 件)

〔学会発表〕(計 3 件)

(1) A Study of Mathematics Education and Culture:Based on Analysis of Students' Works of Graphing Calculator Art, Takehiro Tsubokawa, 5th International RME Conference in Boulder (2015)

(2) 「RME などの数学教育の考え方, Realistic Mathematics Education とは?」, 坪川武弘, 京都算学会 (2015)

(3) 「RME とグラフアート」, 坪川武弘, 京都算学会 (2016)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

取得状況(計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

坪川武弘 (Takehiro Tsubokawa), 福井工業高等専門学校, 一般科目教室 (自然科学

系), 教授

<http://www.ge.fukui-nct.ac.jp/~math/graph-ken/>

研究者番号 : 70236941