

機関番号：53401

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008～2010

課題番号：20500795

研究課題名（和文） 気候変動の数理モデルを題材とした数学教材の調査と開発

研究課題名（英文） Research and development of math educational materials dealing with environmental issues such as climate change

研究代表者

坪川 武弘 (TSUBOKAWA TAKEHIRO)

福井工業高等専門学校・一般科目教室(自然科学系)・教授

研究者番号：70236941

研究成果の概要（和文）：

本研究では、IPCC の温暖化予測に関する数学的モデル化の調査、オーストラリアの環境教育課程の調査、アメリカで利用されている環境問題の教科書の調査を行った。それらの中には数学として扱うことのできる豊富な教材が見いだされた。しかし環境教育の中での数学的な扱いは十分ではないと思われる。これからは数学教育への環境教育の内容の積極的な取り入れが必要となると判断された。温暖化に関するモデルやエコシステムのモデルをいくつか数学教材として準備し整備を進めた。

研究成果の概要（英文）：

We did research on the mathematical modeling for the prediction of global warming reported by IPCC, the courses of environmental science in Australia and the textbooks on environment science in the USA. We found out that environmental issues could provide a good supply of math educational materials. However, it seems that the current use of environmental issues in mathematical education is insufficient. This study suggests that more environmental issues should be adopted as math educational materials. We have developed some mathematical models to describe global warming as well as eco-system.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2009 年度	900,000	270,000	1,170,000
2010 年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：科学教育

キーワード：数学教育, 地球温暖化, 環境教育, エコシステム

1. 研究開始当初の背景

1980 年代の後半に地球温暖化に関する研究が国際的な規模で開始された。その後の一連の研究により学問的な見地からの温暖

化とその将来予想は、気候変動に関する政府間パネル第 2 次報告書 (IPCC1995) で明確に示されている。現在は、地球規模での温室効果ガスの排出とその影響についての物理

過程、生化学過程、気象過程、社会問題等について詳細な検討がなされている段階(IPCC第4次報告書)である。このような将来予測の基礎となっているのは、地球規模での大気と海洋の大循環に二酸化炭素その他の温室効果ガスの移動を考慮したモデルである。理論と観測の両面から温暖化問題の研究成果は分野横断的な学問として精度の高いものとなっている。教材としてその理論的成果を用いることは学問的にも問題のない段階にある。また、大型計算機の全地球的な長期予測データを基礎資料とし、パーソナルコンピュータ上で局所的な変化を取り扱う事も可能となってきた。

一方、数学教育の面からは、OECD/PISA2003年調査で指摘された科学的リテラシー・数学的リテラシーの低さや活用能力の欠如に対する新しい学力観の創造とそれに基づく教育の実践が求められている。現状では、リテラシーの涵養と活用を図るような教材の整備がまだ十分には進んでいない。要因としては、現実的な問題を教材として取り上げるにはその分野についての一定の知識が必要でありそのための情報が得にくいこと、また、系統性を持たせて配置するには用いられている数学についての十分な検討が必要となることなど様々な困難があげられる。その点で、温暖化問題は科学的な素材としてのドキュメントの豊富な教材であり用いられている数学も突飛なものではない。教材として考えた場合、この数理モデルとその計算過程は非常に示唆に富んだものである。客観的なデータを収集し、基礎的な物理・化学・生物学的な関係式を調べ、ふさわしい微分方程式を作り、コンピュータを用いて数値的に解いていく、こういう一連の姿は現代の科学研究の姿そのものである。数学はその中でも中心的な役割を果たす。数量関係の把握や関数概念の獲得、微分方程式の作成と解法、多変数関数の扱いと数値解析の問題等として各々の学習段階で様々な教材を提供することができる。

海外では、環境教育の実例が国際数学教育会議(ICME10 2004年)などでいくつか報告されている。南半球の自然と環境問題を取り上げたオーストラリアの高校数学教材(Victoria州)などは日本と同じような教育体系の中に重要な地域的トピックとして用いられている。このように温暖化問題を数学教材として取り上げることができる理論的条件と電算機の発展が整ってきている。

2. 研究の目的

この研究では、海外の温暖化問題の教材等について調査すること、温暖化に関する科学的な成果を数値シミュレーションも含めて系統的な数学教材とすること、気候変動に関

する「小さな諸現象」のモデル化、および教材の利用方法と公開を目標とする。

① 環境問題教材の調査研究

数学教育国際会議(ICME)では環境問題を素材として取り上げた発表が徐々に増えてきている。第11回数学教育国際会議(2008年)において世界の経験と動向を調査する。また、個別の調査として、(1)オーストラリア・ビクトリア州での調査: この州では地域的な特色を豊富に盛り込んだ独自の数学教材開発を進めており、環境問題についても様々な教材として取り上げている。この実践と教材の分析をし、日本の教育との比較と交流を行う。

② 温暖化を説明する簡単なモデルの教材化

長期にわたる気候変動を説明する数理モデルは「大気海洋大循環モデル」として1990年代後半にはかなり整備された。大気循環での熱の移動等は6つの基礎方程式で説明され、海洋モデルは寒帯域と温帯域などをブロック分けし領域相互の熱や物質の移動を用いて説明されている。この2つを組み合わせた大規模な3次元数値計算が実際の将来予測に用いられている。このモデルを説明する専門的なドキュメントがIPCC等の国際機関や研究者から出されている。これらを参照して、二酸化炭素の循環、太陽からの熱の流入と大気海洋間での流れなどを単純化したいくつかのモデルとして再構成する。それらのモデルや数値シミュレーションと数学的手法を高校までの学習教材として作成する。また、もう少し進んだ教材として高等専門学校から大学低学年の応用的な数学教材として整備する。

③ 気候変動やエコシステムに関する「小さな諸現象」のモデル化と教材化

各国の教材の収集と比較分析の結果を踏まえ、優れたものは日本でも利用できるように許可を得て内容の編集と整理を行う。また、日本的なあるいはもう少し地域的な温暖化とその影響に関する資料を収集し教材の作成を行う。

④ 実際の授業での利用と検証

申請者は高等専門学校で教えているが、開発した教材を「微分積分とその応用」「離散データの統計処理」の単元において授業実践を行いその効果と使い方の検証を行う。特に、計算機や電卓を利用した数値実験の指導方法を開発し整備する。

⑤ 教材のWEBを用いた公開

開発した温暖化問題の教材はテキストとその根拠になるデータをWEB上で公開する。教材とは別に文書のみでの説明ではなくて、JAVAを用いたシミュレーションプログラムを作成しインタラクティブに学習できるしかけを作る。

以上の5点の中でも、教材化の目標は更に教育課程の中への体系的な位置づけを目指す。

(3) この研究の特色と意義

気候変動を簡単な数理モデルとして数学学習に提供する試みは、申請者等の実践（二酸化炭素の循環モデルの再構成と教材化）が時期的にも早いものである。学校教育での教材化は「テクノロジーを用いた教育国際会議(T3 International Conference)」等で実験と観察を取り入れた数学教育の例として毎年紹介されている。しかし、世界的な実践と教材作成はこれからである。

数学の教材を開発する側が温暖化やエコシステム等の数理モデルに詳しくないことも積極的に取り入れることが進まない一因となっている。気象モデルは「メゾスケールモデル」として複雑系の典型例ともなっている。モデルの簡略化をすることが本質を損ねる危険性をはらんでいる。従って、数学的な教材とするときには十分な注意が必要である。

3. 研究の方法

本研究の進行計画と方法は、目的に述べた5つの具体的目標について20年度と21,22年度の3年を通して進める。温暖化モデルとエコシステムの教材化は20年度に主に行い、「小さな諸現象」については海外での調査と分析に並行させておこなう。数学教材としての整理と再構成およびネットを用いた公開は毎年行う。研究には、温暖化に関する学問的な整合性と地域的な温暖化影響について、気象研究者の川平浩二氏(福井県立大学教授)の協力を得る。また、海外研究協力者として、オーストラリアの数学教育研究者 Maxwell Stephens 氏(メルボルン大学教授)にビクトリア州の数学教育の情報の提供と高校教育の紹介を受ける。

20年度の研究計画と方法

20年度は、教材化と環境問題教材の調査研究に重点をおく。5つの目標の進め方は以下の通りである。

① 環境問題教材の調査研究

国際数学教育会議(ICME11 メキシコ Topic Study Group 21)に参加し先進的な事例を調査する。特に欧州の先進事例を調べる。オーストラリア・ビクトリア州の教材と実際の授業を調査する。具体的にはこの州の、ア) 高校数学教科書(Maths-World 新シリーズ, Macmillan, 2006)の分析調査、イ) 過去5年間の高校卒業認定数学試験問題の中の環境問題の分析、ウ) 現地の高校での授業状況の現地検分調査を実施する。韓国の事例研究

を行う。

② 温暖化を説明する簡単なモデルの教材化

温暖化の数理モデルは IPCC の研究者 K. E. Trenberth 編集の "Climate System Modeling" (Cambridge university press, 1995) が詳しい。また、IPCC の第3,4次報告書(2001,2007)には各分野の専門家による最近の成果が解説されている。実際の数値計算手法は NCAR が開発した計算プログラム "Community Climate System Model 3" (CCSM3) が詳しい。この3種の文献を用いて大気海洋大循環モデルを簡単な教材へと再構成する。中学生用教材としては、観測データ、計算データの1次式による近似を取り上げる。高校生用として、三角・指数・対数関数を用いたデータの近似と簡単な微分積分を用いた現象の解析を教材とする。

また、CCSM3による計算した結果が公開され、二酸化炭素濃度を現在から2倍、4倍と増加したときの今後100年間の地球上の格子点毎の予測値が利用可能になっている。日本周辺を予測する地域的計算の基礎データとしてこれを用いる。全体のデータは数テラバイトのあり利用するためには大容量ハードディスクと少し高機能なパーソナルコンピュータが必要である。この年度では、ア) 二酸化炭素の循環、イ) 太陽熱の放射と吸収等の流れ、ウ) 3次元モデルの1次元ないし0次元モデルとしての構成、エ) 地域的な数値計算手法の開発を行う。教材としてのシミュレーションには、数学ソフトのマセマティカとシステムダイナミックソフトのithinkを用い、生徒用としてはフリーソフト(maxima)またはグラフ電卓を用いる。

③ 気候変動やエコシステムに関する「小さな諸現象」のモデル化と教材化

ビクトリア州の上述の高校生教科書4冊と教育省作成の教師用のガイドブックを用いて教材の抽出と検討を行う。国内の各種の環境関係の統計データ、例えば温度、降水量等を用いて教材化を行う。

④ 実際の授業での利用と検証

全体の概念と数理をプロジェクターなどで提示して導入できるような基礎的な各種の図・表を準備する。二酸化炭素の循環モデルを用いた微分の応用場面での授業を実施する。数値シミュレーションの授業での展開方法を検討する。

⑤ 教材のWEBを用いた公開

準備した図、表、テキストはそのまゝの形で公開する。JAVAを用いてシミュレーションを行えるようなインタラクティブなホームページの作成を検討する。生徒用のプログラムはインターネットから配布する仕様とする。技術的な専門性があるためホームページを一部外注とする。また、研究成果は日本数

学教育学会や各種研究会、教員研修において発表する。21, 22 年度の研究計画と方法
21 年度は、海外の調査研究と教材の作成に重点をおき、22 年度は授業での検証と WEB 上での公開に重点を置くが各目標に関しては以下の通りである。

① 環境問題教材の調査研究

オーストラリア・ビクトリア州の環境教材とその教育効果は高校段階での実際の授業について更に詳細に調査しその研究成果を国内で公表していく。

②③ モデル化と教材化

全地球的なモデルから簡略なモデルへの再構成は、海水の影響、陸生植物の影響、人為的な二酸化炭素の排出量の増減の効果を主に行う。また、大型計算機の将来予測をベースランニングとした地域的な温暖化による影響の数値的な見積もり手法を検討する。地域モデルの妥当性が明らかになった段階で簡略化したものの作成を行う。高専、大学の連立微分方程式と数値計算手法を用いた数学教材としての整備を行う。

海外の例を参考にした教材の作成を行う。

④ 実際の授業での利用と検証

作成した教材の実験的な授業は、ア) 微分積分の応用の場面で 1 階 (熱の移動関係) および 2 階 (大気、海洋の扱い) の微分方程式の例として取り上げる。解析的な取り扱いの後で数値的な解法とコンピュータの利用の例として扱う。二酸化炭素の排出量をコントロールしたときの温暖化推移などについて数値実験を行う。イ) 統計の教材として観測データ、計算データの扱いと処理方法を取り上げる。いずれも電算機、電卓を活用した授業となるので、その授業実践手法を他の教員から検討を加えてもらう。授業を記録し検証するため、および授業方法の資料化のためにデジタルビデオによる記録を行う。

教員向けの研修において、温暖化教材の利用について取り上げ、機器を用いた授業の概念と方法論の紹介を行う。

⑤ 教材の WEB を用いた公開

教材はテキスト、プリント等の授業資料をすべて公開するが、他の教員の参考となるように授業方法と電算機の使い方に関してノウハウ集をもうける。JAVA 等を用いた温暖化問題のインタラクティブな学習用ホームページの作成を行う。この作成は引き続き一部外注とする。また、地域的な温暖化の影響についてもシミュレーションのできるホームページを検討する。研究成果は初年度同様に発表する。

以上のように 3 年間の計画研究とするが、諸外国の教材例では様々な現実問題が豊富に配置されている。環境問題のみですべての具体例を構成する事はできないが計画的に

体系化して教材としたい。

4. 研究成果

以下各年度毎に記述する。

A. 2008 年度の成果

(1) 海外での環境問題を用いた数学教育の調査について

第 11 回数学教育国際会議(ICME11 メキシコ モンテレー)に参加し、国際的な動向について調査を行った。この中で PC などのテクノロジーを用いた数学教育が世界的に定着してきていること、環境教育という面からのアプローチはまだ教材として十分組み入れられていないことなどが実感できた。学習インフラとしての整備が進んできている中でそれを活用する上で環境問題の導入が重要な課題であることは確認できた。また、メルボルン(オーストラリア)で高校・大学での環境教育の実態調査を実施した。対象は、メルボルン大学教育系理科教育教室、RMIT 大学教員、私立ザビエル高校、公立高校である。学科として物理や数学と並んで「環境科学」というのが存在しそのための教員養成が積極的に行なわれていることが分かった。内容も最新の科学的な成果が取り入れられており日本でも参考になると思われる。この中から数学との関連での素材を見だし教材として整備することを現在進めている。環境科目の教員は地学分野などの理科分野から来ており、教材についての扱いに数学科の教員が関わることでより発展性が見込める。

(2) 温暖化モデルやエコシステムの教材化、ローカルモデルの検討

メルボルンの調査などで明らかになったのは、温暖化を示す具体的な数値データを利用した教材、温暖化のモデルの定性的な説明の教材、ビデオを積極的に活用した教材などが豊富であった。これらのことから、データの可視化、グラフ化とその解析のために統計的処理、関数としての近似化などが必要でありかつ有用であることが分かった。この点でグローバルなデータと地域的なデータの両方を用いた教材が必要であると考へそれらのデータの収集と利用法の研究に入った。温暖化の数学的モデルは 2007 年の IPCC 報告の分析を現在進めて検討している。

(3) 授業での利用

実際のデータを用いた授業については、電卓・PC 等のテクノロジー利用の授業を計画している。2008 年度は SPP 等での実験数学に参加しデータ利用の経験を積み重ねた。

B. 2009 年度の成果

(1) 海外での環境問題を用いた数学教育の

調査について

昨年度の第 11 回数学教育国際会議 (ICME11) の内容の分析と、アメリカでの環境教育のテキストの調査、オーストラリアでの環境教育の分析に重点をおいて研究を行った。テクノロジーを用いた数学教育が世界的に定着してきているなかで、環境教育という面からのデータの分析を数学的に行なうという点ではなどまだまだ不十分である。WEB や各種のメディアが利用可能となっている中で、それを活用するような環境問題の教育が現在の重要な課題であると考えられる。昨年度から継続しているオーストラリアでの環境教育の分析からは、教材開発について数学的な部分の充実が重要であることが示唆されている。

(2) 温暖化モデルやエコシステムの教材化、ローカルモデルの検討

海外の調査などで明らかになったのは、温暖化のモデルの定性的な説明には、ビデオを積極的に活用した教材などが豊富であったことである。これらのことから、データの可視化、グラフ化とその解析のために統計的処理、関数としての近似化などが必要でありかつ有用であることが分かった。この点でグローバルなデータと地域的なデータの両方を用いた教材が必要であると考え、データの収集と利用法の研究に入った。温暖化の数学的モデルは IPCC 報告と関連する研究で示された見地の分析を進めている。

(3) 授業での利用その他

実際のデータを用いた授業については、SPP(2009 年度)等での実験数学授業に参加し活用方法の経験を得ている。WEB での教材公開は URL を取得し現在準備中である。

C. 2010 年度の成果

(1) 海外での環境問題を用いた数学教育の調査について

昨年度までの研究活動としておこなった、第 11 回数学教育国際会議 (ICME11) の内容の分析にもつぎ、オーストラリア (ビクトリア州) での環境教育の分析、アメリカでの環境教育のテキスト (Environmental Science2 冊) の分析を行った。実際のデータを用いて教育を行なっている実態はよく読み取ることが出来た。一方それらを数学的にもうまく活用していく点では、テクノロジーを用いた数学教育が世界的に定着してきているなかで、十分とは言えないことが明らかとなってきた。WEB や各種のメディアが利用可能となっている中で、環境問題の実際のデータを活用するような教育が世界的には整備されてきている中でその数学的な取り扱いについての数学教育の側からのコミットが更に必要であると思われる。

(2) 温暖化モデルやエコシステムの教材化、ローカルモデルの検討

海外の調査などで明らかになったのは、温暖化モデルの定性的な説明には、視覚教材を用いた直感的な教材が多いことである。一方で、提供されるデータの分かり易い可視化やグラフ化を行なう上で、多くの統計的処理と様々な近似化のための関数が必要であることが一層明らかになった。この点で典型的な事例とそれをデフォルメした仮想的な事例の作成が当面必要であると判断した。実際のデータとしては、グローバルなデータと地域的なデータの両方が必要であると考え、データの収集と利用法の研究を行なった。グローバルなデータはよく整理されているがローカルデータは扱いが困難である。温暖化の数学的モデルはについては最近の IPCC 報告と関連する研究で示された見地の分析を引き続き進めている。

(3) 授業での利用その他

今年度は環境科学の面から生態系を扱った授業実践を行なった。本質的には 2 種の生命種からなるシステムについてのロトカボルテラ方程式などを用いてのものである。WEB での教材公開は URL を取得し現在準備中である。

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 3 件)

① 坪川武弘, 「オーストラリアにおける数式処理機能の利用」 T3Japan 第 10 回年会予稿集, 査読なし, 16-17, 2008 年

② 坪川武弘, 「オーストラリアでのテクノロジー利用から見えてくるもの」 T3Japan 第 11 回年会予稿集, 査読なし, 34-37, 2009 年

③ 坪川武弘, 「生態系における個体数増減を題材とした教材」 日本数学教育学会第 92 回 (新潟大会) 総会特集号, 査読なし, 496, 2010 年 8 月

〔学会発表〕 (計 4 件)

① 「オーストラリアにおける数式処理機能の利用」 T3Japan 年会 2008 年 8 月

② 「オーストラリアでのテクノロジー利用から見えてくるもの」 T3Japan 年会 2009 年 8 月

③ 「CAS 利用の高校数学と認定試験-Victoria(AU)での例」 数式処理学会, 2008 年 11 月

④ 「生態系における個体数増減を題材とした教材」 日本数学教育学会第 92 回 (新潟大会) 高専大学部会, 2010 年 8 月

[その他]
ホームページ等

http://www.ge.fukui-nct.ac.jp/~math/graph_art/