

平成 31 年 4 月 10 日現在

機関番号：17701

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15H03506

研究課題名(和文)理科教育における自然のモデル化・数学化能力育成の基礎的研究

研究課題名(英文) Basic research on fostering competencies of modelling/mathematisation of nature in science education

研究代表者

内ノ倉 真吾 (Uchinokura, Shingo)

鹿児島大学・法文教育学域教育学系・准教授

研究者番号：70512531

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 11,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、モデルの理論的な検討、諸外国の理科/数学カリキュラムの構造分析を踏まえて、子どもの自然のモデル化・数学化能力の認知的な特性の把握を把握した。その結果として、モデル論の知見に基づくと国内外のカリキュラムの内容構成に課題があること、モデリング能力は表象能力と関連付けて検討する必要性があること、学習者の実態として、図的表現とモデルを同一視する傾向があること、モデルの数学的表現についての理解が十分ではないという学習者の実態があることなどが明らかとなってきた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

諸外国の理科・数学カリキュラムや教科書におけるモデリングの位置付けや子どものモデル化・数学化能力の一端が明らかとなった。これらは、科学的な能力を育成するのに資する授業開発・改善の視点を与えるものとなりうる成果と言える。その一方で、理科カリキュラムの系統化・構造化に向けて、最新のモデル論の知見を踏まえた上で、多様な表現様式に着目して、子どものモデリング能力の発達の過程をさらに解明していく必要性が示唆された。

研究成果の概要(英文)：In this study, through examining the theoretical examination of models and structural content analysis of science/mathematics curricula in other countries, the cognitive characteristics of children's natural modelling/mathematization competence were explored. As a result, by referring modelling theory in science studies, theoretical problems in the content construction of modelling in the science standards were argued. The implication of the study was as follows. Students' representational competence had a close relationship with their modelling competence. Students tended to regard diagrammatic representation in the same light as a model. They did not understand mathematical representation as much as other representations relating to modelling.

研究分野：理科教育学

キーワード：理科教育 モデル化 数学化 表象

様式 C-19, F-19-1, Z-19, CK-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

資質・能力の観点からのカリキュラムの開発と実施が指向される今日において、理科教育での能力（コンピテンシー）として重視されているものの一つが、自然の「モデル化（modeling）」「数学化（mathematisation）」である。しかしながら、日本の理科カリキュラムでは、当該能力の意識的・計画的・系統的な育成までは考えられていない。内容知識やメタ認知的な知識などの複合的な知識が関わるとされるモデル化能力の発達の有り様は、カリキュラム開発に向けてなお一層の実証的な研究が必要と認められている。一方、数学カリキュラムでは、数学的活動として自然の数学化が扱われているが、科学的な知識や探究活動と関連付けられてはいない。

2. 研究の目的

本研究では、モデルの理論的な検討、子どもの自然のモデル化・数学化能力の認知的な特性の把握、諸外国の理科／数学カリキュラムの構造分析を踏まえた上で、理科教育における自然のモデル化・数学化能力の育成方法の基本的な枠組みを構築することを目的とした。

3. 研究の方法

理科教育学（モデル・アナロジー、探究活動、概念形成、ICT活用が専門）の研究者から構成される理科班と数学教育（現実の数学化、数学的活動が専門）の研究者から構成される数学班、学校での調査の協力者である学校班、海外での協同研究を進める理科教育学研究者である海外班を組織・編制した。調査・検討対象に応じて、各班が連携・分担して、文献調査、国際比較調査、教科間比較調査、フィールド調査を行った。

(1) 文献調査

科学論におけるモデルや数学化論、理科教育におけるモデル・アナロジー論、数学教育におけるモデリング論、理科／数学教育におけるICTを活用したモデリング研究に関して、文献・資料の収集・分析を行い、自然のモデル化・数学化に関する基本的な知見を整理・集約した。

(2) 国際比較調査

アメリカ・ドイツに着目して、初等・中等学校の科学／数学スタンダード、科学／数学教科書を収集し、その内容構成を分析した。ドイツの研究協力者であるベリーナ・ピーツナー教授（オルデンブルク大学）を訪問し、同国の科学／数学スタンダードや教科書の内容構成、自然のモデル化・数学化の指導方法に関する実践・研究動向に関する研究討議を行った。

(3) 教科間比較調査

日本の小学校および中学校の理科／算数・数学教科書に見られる自然のモデル化・数学化の観点を抽出し、その特徴を分析した。また、理科教育研究者と数学教育者として研究協議を行い、カリキュラムや授業構成レベルでの教科間の比較検討を行った。

(4) フィールド調査

小学生・中学生のモデル化・数学化能力の評価方法の理論的な検討を行った。また、モデル化能力の一端として、児童や生徒の図的表現に関する態度や手続き的知識・認知的知識に関する実態調査を行った。

4. 研究成果

(1) 科学論・理科教育論におけるモデル論の検討

自然のモデル化・数学化の理論的な枠組みとして、近年科学論研究におけるモデル論として注目されるようになってきた、エージェントを基盤とするモデル論（Agent-Based Model）からのアプローチに着目し検討を進めた。これまでの理科教育におけるモデルの活用に関する実践・研究は、自然（対象）とそのモデル（表象）との対応関係に焦点を当てた「表象としてのモデル」や一定の評価を得たモデルに焦点を当てた「所産としてのモデル」、すなわち、*models of* の学習であった。例えば、DNAの二重らせんモデルなどの科学史上重要なモデルや電流の群衆モデルのような教授のために考えられたモデルを学習することに相当する。*models of* の学習だけでは、モデルと表象を同一視したり、教えられるモデルを受容するだけの学習に留まるなどの、従来のモデルに関わる学習上の課題を再生産していくことになりかねない。一方、モデリング能力という点から見れば、特定の認識関心の下で自然のモデルを構成し、評価していく「認識的道具（epistemic tools）としてのモデル」、すなわち、*models for* の学習が重要となってくるのである。*models of* と *models for* との関係は、*model-based learning* と *modeling-based learning* との相違としても議論されるようになってきている。また、数学教育の文脈でも、モデリング能力を捉える理論的な枠組みとして検討されている。しかしながら、モデリングを重視する代表的な科学スタンダードの基底にある基本的な考え方は、*models of* の学習であり、*models for* の学習も取り入れて、カリキュラムの理論的再検討が必要とされる。

(2) 理科カリキュラム・教科書におけるモデル化・数学化の内容構成の分析

①日本の小学校・中学校理科教科書における図的表現としてのグラフの内容構成の特質

小・中学校理科教科書に見られる図的表現（あるいは数学的表現）としてのグラフを、変数及びグラフの種類に着目した量的傾向の調査と、グラフの構成・解釈の指導に関する内容構成の調査を行った。その結果、四点明らかとなった。一点目として、中学校の方が小学校に対し、総計、1頁当たりともに教科書に見られるグラフ数は多かった。二点目として、小学校から中学校へと校種が移行すると、教科書に見られるグラフの種類および変数の種類の割合が変化していた。三点目として、小学校の教科書に見られる直線・曲線グラフは点、軸の名称、変数の単位など一般的なグラフの構成要素を多く含んでいたのに対し、中学校では、具体的な数値を特定せずに変化の傾向のみを捉える、より抽象度の高いグラフの割合が高くなっていった。四点目として、日本の個別教科書の事例検討を通じて、当該教科書におけるグラフの構成・解釈の指導は、グラフで表す目的、グラフの構成の手続き、測定の不確実性など、グラフの構成に焦点を当てていた。一方、変数の性質や目的を踏まえたグラフの種類選択、グラフの解釈、独立変数・従属変数の説明、近似線の数式化については、言及されていなかった。

②アメリカの中等科学教科書におけるモデルの開発・利用に関する内容構成の特質

日本の中学校理科教科書と比較し、アメリカの代表的な中等科学教科書であるホルト科学教科書を事例として、モデルの開発と利用に関する内容構成の特質を抽出し、日本への示唆を引き出すことを試みた。ホルト科学教科書では、モデルに関するメタ科学的知識が明示的に教授され、モデルの種類、機能や性質が中心的な内容と位置付けられていた。手続き的知識としてのモデルの作成は、少なくとも教材数では重点化されていた。モデルの作成の学習活動は、単なる工作的な活動だけに留まらず、モデル作成の対象化とメタ科学的知識の習得、科学的な探究過程との関連付けが基本的な教材選択の視点であることを確認した。日本への示唆として、モデリング能力の育成を進めるために、メタ科学的知識を明示的に教授すること、モデルについての理論的な整理を図ることなどの改善点を提示した。また、日本の教科書に限らず、モデルの開発・利用の学習を促進する上で、概念的知識（内容知識）、手続き的知識、メタ科学的知識の相互の関連付け、概念的モデル・数学的モデルの教材の開発・選択という点で、今後検討すべき課題があることを指摘した。

(3) 児童や生徒の図的表現に関する態度や手続き的知識・認識的知識の解明

①小学生の理科学習における図的表現に対する認識の特徴

小学校第6学年の児童を対象として、理科学習における言語的表現・図的表現に関する質問紙調査を実施し、ラッシュ分析等を通じて、小学生の図的表現に対する認識の特徴を探った。第一に、今回開発した図的表現に関する質問紙調査（29項目）は、多値ラッシュモデルに従うことが確認された。なお、調査対象の男子と女子の間には、統計的な有意差は確認されなかった。第二に、小学生の図的表現に対する認識については、次のような特徴が認められるのであった。図的表現に対する態度に関して、理科学習の一つとしての図的表現の活動は、言語的表現と比べて、図的表現の方が好きだと感じていた。また、言語的・図的に表現することの大切さを認めている一方で、それらの表現には有能感を感じていない傾向が認められた。図的表現のわかりやすさの評価に関して、図的表現の構成者によらず、図的表現はわかりやすいと評価する傾向が見られた。図的表現を通じた学習の関与に関して、図を使って、自然の事物・事象の仕組み・様子や自分の考えを表現することについては、言語的に表現することと比べて、自分が取り組んでいる学習活動としては認識されていなかった。図的表現を用いたコミュニケーションに関して、図を用いて、グループで話し合うこと、ものごとの仕組み・様子や自分の考えを伝達すること、他者から説明を受けることについては、当該児童にとっては、取り組んでいる学習活動として最も認めにくいものであった。これらのことを踏まえて、小学校の理科学習における図的表現の活動への示唆として、図的に表現することを学習することと、社会的な実践として図的表現を学習し、その有用性が実感できることの必要性を指摘した。

②中学生・高校生が保持するグラフの構成・解釈に関する認識的知識と手続き的知識の関係

中学生・高校生が保持するグラフの構成・解釈に関する認識的知識と手続き的知識の実態を質問紙にて調査した。グラフの構成・解釈に関わるメタ的知識については、第一に、高校生の方が中学生に比べグラフで表す目的・利点について適切に認識していた。第二に、中学生・高校生はグラフの軸の取り方について一貫した認識を持っていなかった。グラフの構成・解釈に関わる手続き的知識については、第一に、中学生の方が高校生に比べグラフを正しく描ける割合が高くなっていった。第二に、内挿を行う生徒の割合は高かったが、その理由については答えられない生徒が多かった。第三に、中学生は高校生に比べグラフの解釈ができないことから、グラフを描くことが目的になっていると考えられた。グラフの構成・解釈のメタ的知識と手続き的知識との関係については、第一に、変数の名称・単位について書く必要があると認識しているが実際には書けない中学生・高校生が多かった。第二に、正しく内挿するには適切に認識しておく必要があることがわかった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 27 件)

1. 廣直哉, 内ノ倉真吾, 「中学生による科学的に探究可能な問いの判断と生成の実際事象の観察から-大学生との比較との比較に基づいて-」『理科教育学研究』60 (1) (印刷中), 査読有.
2. 板橋夏樹 (2019) 「科学絵本を活用した幼稚園～小学校段階のエネルギー教育に関する研究」『発達科学研究』19, 37-46, 査読有.
3. 戸水吉信, 北室好章, 北村悟朗, 伊藤伸也 (2019) 「数学科」『金沢大学附属中学校 研究紀要』61, 53-69, 2019, 査読無.
4. 竹内聖彦, 高橋聡, 白井朗, 伊藤仁一 (2019) 「数学リテラシー概念に基づく数学教員養成カリキュラム改革の試み(III)」『椋山女学園大学教育学部紀要』12, 233-242, 査読無.
5. 高橋聡 (2019) 「研究者による探究を視点とした算数科における探究の再点検」『新しい算数研究』577, 36-37, 査読無.
6. 内ノ倉真吾, 北原深志, 下古立浩 (2018) 「小学生の理科学習における図的表現に対する認識の特徴-言語的表現に対する認識との比較に基づいて-」『理科教育学研究』59 (2), 217-227, 査読有.
7. Uchinokura, S. (2018). Students' Use of Representations and Particle Models for Dissolution. In Finlayson, O., McLoughlin, E., Erduran, S., & Childs, P. (Eds.), *Electronic Proceedings of the ESERA 2017 Conference. Research, Practice and Collaboration in Science Education, Part 2* (co-ed. R. Tytler, & G. S. Carvalho), (pp. 168-180). Dublin City University, Peer-reviewed.
8. 末廣渉, 内ノ倉真吾 (2018) 「小・中学校理科教科書に見られるグラフとその指導の特徴 -グラフの構成要素に着目した内容分析から-」『理科教育学研究』59 (1), 67-77, 査読有.
9. 末廣渉, 内ノ倉真吾 (2018) 「中学生・高校生のグラフの構成・解釈のメタ的知識と手続的知識の関係-おもりとばねの長さの関係を表すグラフの構成・解釈を事例として-」『日本科学教育学会研究会報告』33 (2), 61-64, 査読無.
10. 太田和希, 内ノ倉真吾 (2018) 「理科教育における大学生と教師のものづくりに関する認識の調査」『日本科学教育学会研究会報告』33 (2), 55-60, 査読無.
11. 板橋夏樹 (2018) 「米国の幼稚園・小学校段階におけるエネルギー教育についての研究-Picture-Perfect Science を事例として-」『日本科学教育学会研究会報告』33 (1), 21-24, 査読無.
12. 伊藤伸也 (2018) 「オランダにおける“Realistic Geometry”とその特質」『新しい算数研究』575, 36-37, 査読無.
13. Semmler, L., Uchinokura, S., & Pietzner, V. (2018). Comparison of German and Japanese Student Teachers' Views on Creativity in Chemistry Class. *Asia-Pacific Science Education*, 4(1), 1-29, Peer-reviewed.
14. 内ノ倉真吾, 廣直哉 (2017) 「理科教育における「問いの設定」の学習内容の構成-アメリカの科学スタンダード・教科書に着目して-」『日本科学教育学会研究会報告』32 (3), 41-46, 査読無.
15. 板橋夏樹 (2017) 「米国の幼稚園・初等・中等教育段階におけるエネルギー概念の取り扱いに関する研究-NGSSにおけるエネルギーに関する記述内容を事例として-」『発達科学研究』17, 1-10, 査読無.
16. 板橋夏樹 (2017) 「小学校教員養成課程(理科)におけるプログラミング教育に関する一考察」『日本科学教育学会研究会報告』32 (3), 13-16, 査読無.
17. 松島信二, 田中紘希, 伊藤伸也 (2017) 「実生活を文脈とする数学科の教材の開発-RMEとMascilを手がかりとして-」『日本科学教育学会研究会報告』32 (4), 47-50, 査読無.
18. 高橋聡 (2017) 「学習者がもち得る観念としての線対称」『新しい算数研究』553, 38-39, 査読無.
19. 内ノ倉真吾 (2016) 「アメリカ中等科学教科書におけるモデルの開発・利用に関する内容構成の特質-ホルト科学教科書と日本の理科教科書との比較に基づいて-」『教材学研究』27, 117-124, 査読有.
20. 内ノ倉真吾 (2016) 「長期の理科学習者としての理科系大学生のアナロジーの使用-「物質の状態変化」の学習の振り返りに基づいて-」『鹿児島大学教育学部研究紀要(教育科学編)』67, 13-33, 査読無.
21. 内ノ倉真吾 (2016) 「科学領域の熟達者のアナロジーの使用-問題解決および科学的な探究過程に着目して-」『鹿児島大学教育学部研究紀要(人文・社会科学編)』67, 49-70, 査読無.

22. 廣直哉, 内ノ倉真吾 (2016) 「理科授業における中学生の事象の観察と疑問の生成との関係-物質の状態変化を事例にして-」 『日本科学教育学会研究会報告』 31 (2), 39-52 頁, 査読無.
23. 内ノ倉真吾 (2016) 「アメリカにおけるSTEM教育の推進方策-スタンダード・プログラムの開発と学習環境の向上に着目して」 『理科の教育』 65 (4), 9-12, 2016, 査読無.
24. 内ノ倉真吾 (2016) 「理科教育におけるアナロジーとモデルの開発と利用-育成したい科学的な能力という観点から-」 『理科の教育』 65 (7), 5-8, 査読無.
25. 松井淳, 内ノ倉真吾, 稲田結美 (2016) 「大学生における科学的モデルに対する限界性の認識-肺の呼吸モデルと状態変化の粒子モデルに着目して-」 『日本科学教育学会研究会報告』 30 (4), 5-10, 査読無.
26. 徳田凌, 原佑輔, 伊藤伸也 (2016) 「数学学習の意義や数学の必要性を実感しうる数学科の教材の開発-RME 理論とmascil を手がかりとして-」 『日本科学教育学会研究会報告』 30 (4), 53-56, 査読無.
27. 浪川幸彦, 高橋聡, 竹内聖彦, 白井朗 (2016) 「数学リテラシー概念に基づく数学教員養成カリキュラム改革の試み (II)」 『椋山女学園大学教育学部紀要』 9, 49-61, 査読無.

[学会発表] (計 16 件)

1. 末廣渉, 内ノ倉真吾, 「中学生・高校生のグラフの構成・解釈のメタ的知識と手続き的知識の関係-おもりとばねの長さの関係を表すグラフの構成・解釈を事例として-」 『日本科学教育学会平成 30 年度第 2 回研究会』, 2018.
2. 太田和希, 内ノ倉真吾, 「理科教育における大学生と教師のものづくりに関する認識の調査」 『日本科学教育学会平成 30 年度第 2 回研究会』, 2018.
3. 末廣渉, 内ノ倉真吾, 「中学生・高校生のグラフの構成・解釈に関する認識の調査」 『日本理科教育学会九州支部大会』, 2018.
4. Yuhei Yamane, Hiroshi Unzai, Yumi Inada & Shigeki Kadoya, Survey on Recognition of Elementary School Students on Flood Damage, *the 2018 International Conference of East-Asian Association for Science Education*, 2018.
5. 高木正之, 角屋重樹, 稲田結美, 雲財寛 「小学校第 6 学年の自然事象に関する類推する力の実態」 『日本教科教育学会第 44 回全国大会』, 2018.
6. 阪本秀典, 石井雅幸, 雲財寛, 稲田結美, 角屋重樹 「理科の問題解決過程の連関性に関する教師の指導の実態」 『日本教科教育学会第 44 回全国大会』, 2018.
7. 稲田結美 「中学校入学時の理科学習に対する意識・態度の男女差」 『日本科学教育学会第 42 回年会』, 2018.
8. 山根悠平, 雲財寛, 稲田結美, 角屋重樹 「新単元「雨水の行方と地面の様子」に関わる児童の先行知識」 『日本理科教育学会第 68 回全国大会』, 2018.
9. 板橋夏樹 「米国の幼稚園・小学校段階におけるエネルギー教育についての研究 - Picture-Perfect Science を事例として -」 『日本科学教育学会平成 30 年度第 1 回研究会』, 2018.
10. Itoh, S., Collaborative design of realistic mathematics lessons for lower secondary school students in Japan, *The 6th International Realistic Mathematics Education Conference*, 2018.
11. Shingo Uchinokura, Students' Use of Representation and Particle Models for Dissolution, *European Science Education Research Association 2017*, 2017.
12. 末廣渉, 内ノ倉真吾 「小・中学校理科教科書に見られるグラフの特徴-変数及びグラフの種類・抽象度に着目して-」 『日本理科教育学会第 64 回全国大会』, 2017.
13. 廣直哉, 内ノ倉真吾 「中学生による科学的に探究可能な問いの判断と生成の実際-大学生との比較に基づいて-」 『日本科学教育学会平成 29 年度第 2 回研究会』, 2017.
14. 内ノ倉真吾 「中学生の理科学習を通じたモデルについての理解」 『日本科学教育学会第 40 回年会』, 2016.
15. 内ノ倉真吾 「アメリカの科学スタンダードにおける数学的能力- "Next Generation Science Standards" の内容構成に着目して-」 『日本科学教育学会第 39 回年会』, 2015.
16. 内ノ倉真吾 「アメリカ中等科学教科書に見られるモデルの開発と利用-ホルト科学教科書の内容構成を事例にして-」 『日本教材学会第 27 回研究発表大会』, 2015.

[図書] (計 9 件)

1. 高橋聡 (2019) 「学力調査にみる算数科教育の課題と展望」 清水美憲 (編著) 『初等算数科教育』 (pp.159-172) ミネルヴァ書房.
2. 内ノ倉真吾 (2018) 「初等理科の基礎的な学習理論とそれを踏まえた指導」 大高泉 (編著) 『初等理科教育』 (pp. 95-104) ミネルヴァ書房.
3. 稲田結美 (2018) 「初等理科教育の内容の柱②-粒子とその認識-」 大高泉 (編著) 『初

- 等理科教育』(pp. 49-60) ミネルヴァ書房.
4. 板橋夏樹 (2018) 「初等理科教育の内容の柱①ーエネルギーとその認識ー」大高泉 (編著) 『初等理科教育』(pp. 39-47) ミネルヴァ書房.
 5. 内ノ倉真吾 (2017) 「理科教育におけるアナロジーとその有用性」大高泉 (編著) 『理科教育基礎論研究』(pp. 41-55) 協同出版.
 6. Springub, A., Semmler, L., Uchinokura, S., & Pietzner, V. (2017). Chemistry Teachers' Perceptions and Attitudes Towards Creativity in Chemistry Class. In K. Hahl et al. (eds.). *Cognitive and Affective Aspects in Science Education Research* (pp. 41-54). Springer International Publishing.
 7. 稲田結美 (2017) 「女子の理科学習の課題と展望」大高泉 (編著) 『理科教育基礎論研究』(pp. 225-239) 協同出版.
 8. 板橋夏樹 (2017) 「アメリカの科学教育におけるエネルギー概念の導入と指導」大高泉 (編著) 『理科教育基礎論研究』(pp. 95-109) 協同出版.
 9. 伊藤伸也 (2017) 「H.フロイデントールの数学教育論とその基底的観念」大高泉 (編著) 『理科教育基礎論研究』(pp.36-50) 協同出版.

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：伊藤 伸也
ローマ字氏名：Shinya Itoh
所属研究機関名：金沢大学
部局名：学校教育系
職名：准教授
研究者番号 (8 桁)：10570434

研究分担者氏名：高橋 聡
ローマ字氏名：Satoshi Takahashi
所属研究機関名：椋山女学園大学
部局名：教育学部
職名：講師
研究者番号 (8 桁)：20613665

研究分担者氏名：稲田 結美
ローマ字氏名：Yumi Inada
所属研究機関名：日本体育大学
部局名：児童スポーツ教育学部
職名：准教授
研究者番号 (8 桁)：30585633

研究分担者氏名：板橋 夏樹
ローマ字氏名：Natsuki Itahashi
所属研究機関名：宮城学院女子大学
部局名：教育学部
職名：准教授
研究者番号 (8 桁)：90733212

(2) 研究協力者

研究分担者氏名：ベリーナ ピーツナー
ローマ字氏名：Verena Pietzner

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。