

令和 4 年 4 月 5 日現在

機関番号：17701

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H01680

研究課題名(和文) マルチモダリティの視点に基づく科学的モデリング能力の発達の過程の解明

研究課題名(英文) Exploration of the developmental process of scientific modeling ability from the viewpoint of multi-modality

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) 13,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、科学論・理科教育論におけるモデル論の理論的検討を踏まえて、表現の多様性・複合性の視点に基づき、表象能力や視空間的思考との関連から、科学的モデリング能力の発達の過程を解明することを目指した。その結果、科学的モデリング能力は、イノベーション指向の国際的な理工系教育改革であるSTEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics) 教育でも重視されており、表象能力との関連性が強いことが示唆された。また、科学的モデリング能力を育成するために必要なカリキュラム構成要素の一端を明らかにすることができた。

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科学的モデリング能力の発達状況や学習状況の一端が明らかとなった。これらは、科学的モデリング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である。その一方で、科学的モデリング能力に関連が深い表象能力の促進方策などの解明を進めて行く必要性が示唆された。特に、表象能力については、言語的な表現のみならず、図的な表現や数学的な表現について、体系的な指導を検討していくことが今後の課題である。

研究成果の概要(英文)：In this research project a developmental process of childrens' modelling competence was explored, based on the theoretical framework of model and modelling theory in science education, and referring to studies on multimodality and representational competence and visuospatial thinking skills. As a result, it was suggested that scientific modelling competence is emphasized in STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics) education, which is an innovation-oriented international science and engineering education reform and was strongly related to representational competence. In addition, the implications of science curriculum improvements from this project were identified.

研究分野：理科教育学

キーワード：モデリング能力 表象 STEM教育

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

理科教育では、科学的モデリング能力は、科学的能力の一つとしてカリキュラムの重要な構成要素となっている。しかしながら、科学的モデリング能力の発達の過程が実証的に十分に解明されているわけではない。また、理科カリキュラムの内容構成についても、今日のモデル論から見て理論的な課題も指摘されている。さらには、モデルの多様な表現様式（言語的／図的／数学的／物質的表現）を活用する能力や視空間的思考との関連も考慮する必要がある。

2. 研究の目的

本研究では、科学論・理科教育論におけるモデル論の理論的検討を踏まえて、表現の多様性・複合性（マルチモダリティ）の視点に基づき、表象能力や視空間的思考との関連から、科学的モデリング能力の発達の過程を解明することを目的とした。

3. 研究の方法

理科教育学を専門とする研究代表者・研究分担者と大学院生（研究協力者）から構成される理科班と数学教育学（カリキュラム論、数学教授論が専門）を専門とする研究分担者から構成される数学班、各地の小学校・中学校・高等学校の現職教員から構成される学校班、海外（ドイツ）で共同研究を進める理科教育学を専門とする研究協力者からなる海外班を組織・編制した。本研究での研究内容を調査手法に即して、文献調査、国際比較調査、教科間比較調査、フィールド調査の4つに細分化し、各研究者で役割を分担して実施した。

(1) 文献調査

文献調査では、科学論・理科教育論におけるエージェントを基盤とするモデル論、理科教育・数学教育における表象能力論や視空間的思考論を収集・整理し、本研究の理論的な基礎付けを行った。また、ラーニングプログレッションズ論や科学の性質（Nature of Science）論、学習成果を基盤とするカリキュラム論の批判的検討を通して、モデリング能力の構成要素や発達の過程の基本的な枠組みを検討した。

(2) 国際比較調査

コンピテンシーを基盤とするスタンダードの開発と実践が進められている諸外国の科学／数学のスタンダード教科書や授業実践などに見られるモデリング能力の位置付けを探った。

(3) 教科間比較調査

資質・能力の育成が標榜されている平成29年改訂学習指導要領の全面实施を受けて、小学校・中学校の理科および算数科・数学科でのモデル・モデリングに関する指導の実施・計画状況の実際を探ることとする。教科間でのモデリング（数学化を含む）の指導の共通点・相違点などを抽出した。

(4) フィールド調査

小学校・中学校・高等学校の児童・生徒を対象とする各表象様式（言語的／図的／数学的／物質的表現）に着目したモデリング能力の評価方法を検討した。数学的表現に関連して、科学的な測定における不確かさの認識的知識を探る調査問題を開発し、中学生・高校生・大学生を対象として質問紙調査を実施した。また、図的表現に関連して、小学生を対象とした視空間認知スキルの活用を伴う調査結果の再分析を行った。これらを通じて、児童・生徒の科学的モデリング能力の発達の状況の検討を行った。

4. 研究成果

(1) 科学的モデリングに関連する科学的表象論の理論的な整理

科学的な営みにおいて、事物・現象、考えなどの認識対象について、言語や図などの社会文化的な道具を用いて構成される表現物は、表象（representation）と呼ばれる。表現者（科学者）の精神的・物理的活動によって構成される表象は、他者からは観察し得ない内在的な表象や他者から観察可能な形で表出される外在的な表象が存在する。この内在的な表象は、同一視はできないものの、言語や図などの表現様式によって、外在的な表象として表出される。その一方で、外在的な表象から、内在的な表象が形成・変容されることもある。科学的な表象は、実際の事物・現象と異なり、基本的には、①移動させやすい、②移動させても変わりにくい、③内的な関係性を変化させることなく大きさを変えられる、④再現しやすい、⑤認知的・経済的な負担が小さい、⑥他の表象と統合しやすいという特徴をもっていることを確認した。科学的な表象は、その表現形式に基づくと、文字や記号を用いる言語的・記号的な表現、図や表を用いる図的な表現、数字や数式を用いる数学的な表現、物体・材料や模型などを用いる物質的な表現などに分類される。資質・能力としての科学的な表象能力に着目すると、第一に、社会文化的な構成としての理科学習論の観点から、学習活動における言語をはじめとする科学的な表象の習得・活用が重要とされる。第二に、科学の営みでの独自の語り方や推論の仕方、行為の仕方を、そして、規範や信念、価値などを学ぶといった、科学的ディスコースの専有として理科学習が捉えられる。第三に、科

学的な表象の構成・解釈に関わる能力である表象能力 (representational competence) は、ビジュアルリテラシーとも呼ばれ、各種の科学的な表現の解釈や構成の方法に関わる手続き的な知識だけでなく、科学的な表現の解釈や構成で求められる規範や慣習などの認識論的な知識なども習得する必要性が指摘される。

(2) 理科カリキュラムにおけるエンジニアリング概念とその位置付けの解明

イノベーション創出重視の科学技術政策を進めるための理工系教育改革としての STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics) 教育の推進が国内外で注目されている。そこでは、モデリング能力が、理科のみならず、数学や工学でも重要な中核的な能力として位置付けられている。先進的な STEM 教育を展開するアメリカの科学教育では、ものづくりに関連する学習活動であるエンジニアリングデザインの導入が図られている。我が国での理科カリキュラムの開発・改善を視野に入れ、アメリカの初等・前期中等科学カリキュラムとして科学スタンダードと科学教科書に着目し、ものづくりに関連する学習活動であるエンジニアリングデザインの学習内容を探った。その結果、次のことが確認された。第一に、アメリカの科学スタンダードでは、エンジニアリングデザインは、初等・中等教育段階で一貫して学習する内容として位置付けられていた。第二に、科学教科書では、科学的な知識や技能の直接的な学習に加えて、工学的な内容を追加し、間接的・統合的な学習が意図されていた。第三に、エンジニアリングデザインは、単純に製作活動としてではなく、学習の規準 (到達基準) と制約 (前提条件) が設定された問題解決の過程として定型化され、繰り返し学習することが目指されていた。

(3) 理科カリキュラムにおける科学的な不確かさに関わる基本的な概念の抽出

今日の計量学では、測定での誤差を低減し、真の値に近い測定値を得ることを目指した誤差アプローチから、測定での不確かさを考慮し、最適な測定値の範囲を確定することを目指した不確かさアプローチへの転換がなされている。学校教育では、誤差アプローチに基づいた指導が広く行われていることから、理科カリキュラムにおいて、不確かさアプローチへと接続する方策が検討されはじめている。そこで、科学的モデリングの観点から見て、科学的な測定の不確かさを理解する上で重要でかつ基本的な概念を抽出・特定し、現状の理科カリキュラムにおける当該概念の位置付けを探ることとした。諸外国の先行研究の知見を参照して、科学的な測定の不確かさに関する基本的な概念を特定し、数学カリキュラムとの比較を踏まえて、中学校・高等学校の理科カリキュラムにおける当該概念の位置付けを探った。その結果、次の点を指摘した。理科カリキュラムでは、第一に、「誤差」が測定の不確かさを捉える中心的概念と位置付けられていた。ただし、誤差が生じる要因 (「系統誤差」「偶然誤差」を含む)、誤差を低減させる方法までは扱われていなかった。第二に、誤差との関連や「精度」という表現で、「正確さ」の意味内容が扱われていたが、「精密さ」の意味内容は明示的に導入されていなかった。第三に、測定の繰り返しと誤差の発生に関わりの深い「繰り返し」「再現性」への言及は見られなかった。

(4) 中学生・高校生・大学生の科学的測定の不確かさの理解の実態

中学生・高校生・大学生を対象として、質問紙調査 (オンライン調査を含む) により、科学的測定の不確かさとして、正確さ・精密さ概念に着目してその理解の特徴を探った。その結果、次の点を指摘した。第一に、質問紙調査では、校種間で統計的な有意差が見られ、中学生と比べて、高校生もしくは大学生の合計得点が高い傾向が示された。高校生では、測定の文脈とした物理を履修している生徒の方が、得点が高い傾向があった。大学生では、専門性による違いは、ほとんど見られなかった。第二に、測定における不確かさの発生について、生徒・学生は、必ずしも十分に理解していなかった。第三に、測定で不確かさが生じる要因について、中学生は、大学生などと比べて、人的要因や道具的要因への言及が相対的に少なかった。第四に、道具的要因としてのアナログ・デジタル測定機器の選好について、アナログ温度計の選択理由は、視認性、操作性、適時性であったのに対して、デジタル温度計のそれは、素朴な意味での正確性であった。第五に、測定での代表値や参照値の特定について、少なくとも 6 割程度の生徒・学生は、平均値を選択しており、参照値を求められていた。第六に、測定の正確さと精密さについて、生徒・学生は、双方を考慮して、測定の適切性を考えられていなかった。第七に、測定の繰返し性と再現性について、生徒・学生は、正確さよりも精密さの方が理解しており、ある一定程度に測定値が集まっているものを適切に測定できていると判断していた。

(5) 小学生の図的表現の解釈と視空間的思考スキルの使用の実態

小学生を対象として、質問紙調査により、科学的な領域と一般的な文脈での図的表現の解釈と視空間的思考スキルの使用の特徴を探った。その結果、次の点を指摘した。第一に、科学的な領域の図的表現を解釈するために必要な事実的な知識を保持している場合であっても、必ずしも児童は視点移動や視覚化などの視空間的思考スキルを自発的に使用してはいなかった。第二に、提示された現象に関連するオルタナティブコンセプトを保持している場合、それが視空間的に思考することを妨げる要因になっていることが示唆された。第三に、中等学校以降の生徒では、男子と女子の視空間的思考スキルが異なっており、女子が男子に劣る傾向が報告されていたが、今回の調査対象となった児童には、そのような男女差はほとんど見られなかった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計17件（うち査読付論文 4件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Uchinokura Shingo	4. 巻 42
2. 論文標題 Primary and lower secondary students' perceptions of representational practices in science learning: focus on drawing and writing	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Science Education	6. 最初と最後の頁 3003 ~ 3025
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/09500693.2020.1849854	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 古賀康裕, 内ノ倉真吾	4. 巻 44
2. 論文標題 理科カリキュラムにおける測定の不確かさに関わる基本的な概念	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本科学教育学会年会論文集	6. 最初と最後の頁 417-418
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 高岡門夢, 通村隆翔, 内ノ倉真吾	4. 巻 18
2. 論文標題 小学校複式学級の理科授業におけるものづくりの実践 - エンジニアリングデザインの視点を導入して -	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本理科教育学会全国大会発表論文集	6. 最初と最後の頁 240
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 板橋夏樹	4. 巻 18
2. 論文標題 『学習指導要領理科編(試案)』におけるエネルギーの内容の特徴	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本理科教育学会全国大会発表論文集	6. 最初と最後の頁 179
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 板橋夏樹	4. 巻 -
2. 論文標題 小学校理科における「エネルギー」の用語の取扱いの歴史の変遷 - 小学校理科教科書を事例として -	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本理科教育学会第59回東北支部大会論文集	6. 最初と最後の頁 8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 北村悟朗, 戸水吉信, 原田祥平, 伊藤伸也	4. 巻 63
2. 論文標題 数学科	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 金沢大学附属中学校研究紀要	6. 最初と最後の頁 43-52
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 HIROSHI Naoya, UCHINOKURA Shingo	4. 巻 60
2. 論文標題 An Examination of Junior High School Students' Ability to Identify and Ask Investigable Questions: A Comparison with University Students	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Research in Science Education	6. 最初と最後の頁 173 ~ 184
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11639/sjst.18047	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 OHTA Kazuki, UCHINOKURA Shingo	4. 巻 60
2. 論文標題 In-service and Pre-service Teachers' Perceptions on "Making" in Science Learning: Based on Teaching and Learning Experiences of "Making"	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Research in Science Education	6. 最初と最後の頁 291 ~ 300
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11639/sjst.19028	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 太田 和希、内ノ倉 真吾	4. 巻 34
2. 論文標題 中学校理科におけるエンジニアリングデザインの学習過程を導入した授業の開発と実践	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本科学教育学会研究会研究報告	6. 最初と最後の頁 41～44
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14935/jsser.34.2_41	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 内ノ倉 真吾	4. 巻 43
2. 論文標題 アメリカの初等・前期中等科学カリキュラムにおけるエンジニアリングデザイン?科学スタンダード・教科書の学習内容に着目して?	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本科学教育学会年会論文集	6. 最初と最後の頁 87～88
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14935/jssep.43.0_87	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 古賀康裕, 内ノ倉真吾	4. 巻 17
2. 論文標題 中学生の科学的測定の性質に関する認識の調査 - データの代表性・信頼性の認識に着目して -	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本理科教育学会全国大会発表論文集	6. 最初と最後の頁 369
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 太田和希, 内ノ倉真吾	4. 巻 45
2. 論文標題 中学生の酸化に関する科学的な知識と実用的な知識の実際-金属のさびを事例にして -	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本理科教育学会九州支部大会論文集	6. 最初と最後の頁 30-31
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shingo Uchinokura	4. 巻 -
2. 論文標題 Preservice Science Teachers' Perceptions on Textbooks in Japan: From the Perspectives of Teachers and Learners	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 15th IARTEM conference on textbooks and educational media	6. 最初と最後の頁 67
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 板橋夏樹	4. 巻 19
2. 論文標題 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	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 発達科学研究	6. 最初と最後の頁 37-46
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 板橋夏樹	4. 巻 43
2. 論文標題 概念地図法を用いた小学生のエネルギー概念の分析	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 科学教育研究	6. 最初と最後の頁 233～243
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14935/jssej.43.233	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 板橋夏樹	4. 巻 -
2. 論文標題 小学校各教科の食物・人体の内容における「エネルギー」の使用 - 各教科の教科書の記述内容の分析を通して -	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本理科教育学会第58回東北支部大会論文集	6. 最初と最後の頁 12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 北村悟朗, 戸水吉信, 北室好章, 伊藤伸也	4. 巻 62
2. 論文標題 数学科	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 金沢大学附属中学校研究紀要	6. 最初と最後の頁 73-84
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計7件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 板橋夏樹
2. 発表標題 小学校各教科の食物・人体の内容における「エネルギー」の使用 - 各教科の教科書の記述内容の分析を通して -
3. 学会等名 日本理科教育学会第58回東北支部大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 太田和希, 内ノ倉真吾
2. 発表標題 中学生の酸化に関する科学的な知識と実用的な知識の実際-金属のさびを事例にして -
3. 学会等名 日本理科教育学会九州支部大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 内ノ倉真吾
2. 発表標題 アメリカの初等・前期中等科学カリキュラムにおけるエンジニアリングデザイン - 科学スタンダード・教科書の学習内容に着目して -
3. 学会等名 日本科学教育学会第43回年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 古賀康裕, 内ノ倉真吾
2. 発表標題 中学生の科学的測定の性質に関する認識の調査 - データの代表性・信頼性の認識に着目して -
3. 学会等名 日本理科教育学会第69回全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shingo Uchinokura
2. 発表標題 Children's Perceptions of Representational Practices in Science Learning
3. 学会等名 ESERA 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shingo Uchinokura
2. 発表標題 Preservice Science Teachers' Perceptions on Textbooks in Japan: From the Perspectives of Teachers and Learners
3. 学会等名 15th IARTEM conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 太田和希, 内ノ倉真吾
2. 発表標題 中学校理科におけるエンジニアリングデザインの学習過程を導入した授業の開発と実践 - 単元「化学変化とイオン」を事例として -
3. 学会等名 日本科学教育学会2019年度第2回研究会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 東平 彩亜	4. 発行年 2020年
2. 出版社 北大路書房	5. 総ページ数 208
3. 書名 理工系学生のための教科教育法入門	

1. 著者名 日本教科教育学会	4. 発行年 2020年
2. 出版社 教育出版	5. 総ページ数 191
3. 書名 教科とその本質 - 各教科は何を目指し、どのように構成するのか	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	伊藤 伸也 (Itoh Shinya) (10570434)	金沢大学・学校教育系・准教授 (13301)	
研究分担者	稲田 結美 (Inada Yumi) (30585633)	日本体育大学・児童スポーツ教育学部・教授 (32672)	
研究分担者	板橋 夏樹 (Itahashi Natsuki) (90733212)	宮城学院女子大学・教育学部・准教授 (31307)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	高橋 聡 (Takahashi Satoshi) (20613665)	椛山女学園大学・教育学部・准教授 (33906)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関