

令和 5 年 6 月 21 日現在

機関番号：12604

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H01665

研究課題名(和文) 児童・生徒の科学的思考力を育成する理科の教員研修法の構築

研究課題名(英文) Development of teacher training programs for nurturing children's scientific thinking

研究代表者

長谷川 正 (HASEGAWA, Tadashi)

東京学芸大学・教育学部・名誉教授

研究者番号：40134770

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、次世代を担う児童・生徒に科学的思考法に基づいて自然の事象を理解させ、自ら問題を解決するのに必要なスキルを身につけるための教員研修開発の理論と実践方法を体系化することを目的とした。そこで、科学的思考力と問題解決能力において必要な「日本型」の指導法の理論を構築し、それに基づき授業を実施するための設計図となる「指導チャート」を考案し授業を実践した。授業実践では、集団比較実験計画法の手法により、ICSTシステムを使用した授業と使用しない授業を比較して、ICSTシステムを用いた理科の授業における児童・生徒と教員への効果を議論した。これに基づき、理科の教員研修プログラムを幾つかを具体化した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、科学的思考力と問題解決能力において必要な「日本型」の指導法の理論を構築し、それに基づき授業を実施するためのICST (Instructional Charts for nurturing Scientific Thinking) システムを体系化させた。特に、論理的な文章表現力を育成するための方法について、帰納的な手法を用いた授業を通して児童・生徒の科学的思考力を活用させる上で効果が得られることがわかった。これにより、小中高等学校の多くの単元の内容を教材化し、児童・生徒の科学的思考力と問題解決力を育成する授業をどの学校でも実践できるようになることが期待される。

研究成果の概要(英文)：The objective of this research is to establish a systematic method for developing teacher training programs aimed at nurturing the student's ability to understand natural phenomena based on scientific thinking and to acquire the skills necessary to solve problems on their own. To do so, a theory for "Japanese-style" teaching necessary for scientific thinking and problem-solving ability was developed, and based on this theory, "teaching charts" that serves as a blueprint for conducting classes were constructed and put into practice. In class practice, we compared classes using the ICST system and classes without using the ICST system by the group comparison experiment design method, and discussed the effects on children/students and teachers in science classes using the ICST system. Based on this, several science teacher training programs have been developed.

研究分野：理科教育

キーワード：ICSTシステム 科学的思考 問題解決能力 コンセプト・フロー 指導チャート 論理的表現力 帰納的な手法

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、研究者個人に帰属します。

1．研究開発当初の背景

理科の学習では、児童・生徒が観察・実験し、その結果を科学的に解釈することにより科学的概念を形成し、問題解決能力を身につけながら科学的思考力を育成していくことが重要である。児童・生徒の科学的思考力を育成するためには、教員養成を充実させるとともに、現職教員の指導力向上を支援することが必要である。そこで、科学的思考により問題解決ができる能力を育成する具体的な方法として、科学的な概念を理解し、科学的に問題解決する上で用いられる技法等を整理し、授業指導で活用できる「指導チャート」を開発した(原田ほか、2018)。指導チャートは、学校教員が授業を実施する際に作成する指導案に類似し、学習指導要領の単元の授業設計図として位置づけられるものである。指導チャートを作成するには、まず、学習する授業の単元や研修のテーマを選定し、児童・生徒や研修の受講者に形成させる到達目標となる概念(コンセプト)を設定する。そして、目標に到達するために必要とする科学的概念を幾つも抽出し、それらを階層構造的に配置し、科学的概念を理解するための質問(フォーカス・クエスチョン)を設定する。この質問により形成される科学的概念が上位概念となる。これを繰り返して、児童・生徒や研修の受講者に、到達目標となる最上位の概念に到達させる。この一連の流れをコンセプト・フローとして図で示し、概念を形成させる質問事項をフォーカス・クエスチョンとして設定する。次に、このように作成したコンセプト・フローとフォーカス・クエスチョンに基づいて、指導チャートを作成する。

2．研究の目的

本研究は、次世代を担う児童・生徒に、科学的思考法に基づいて自然の事象を理解させ、自ら問題を解決するのに必要なスキルを身につけるための理科の教員研修開発の理論と実践方法を体系化することを目的とした。そこで、これまでに開発・実践した指導チャートを基盤として、児童・生徒の科学的思考力と問題解決能力を育成するための ICST (Instructional Charts for nurturing Scientific Thinking) システムと称する「日本型」指導法の理論の構築を目指した。これは、小中高等学校理科の単元について、ICST システムに基づいた授業、および、教員研修プログラムを網羅的に設計し、実施することにより行う。研修の受講者の教員は、指導チャートの作成により、理科の授業の過程は具体から抽象化・一般化、帰納から演繹へと科学的方法論に従った階層構造からなることを理解し、これにより、科学的思考法を用いた問題解決力を育成していくことができることが期待された。

3．研究の方法

本研究は、研究代表者らが 2010 年に設立した東京学芸大学理科教員高度支援センターのほか、研究協力者が勤務する学校等で授業を実践した。本研究では、以下の 3 つの内容について実施した：

- 1) 科学的思考力と問題解決能力の育成に必要な「日本型」の指導法の理論の構築
- 2) 小学校の理科の内容に則した教員研修用指導チャートの開発と研修の実施
- 3) 中・高等学校教員研修用指導チャートの開発と研修の実施

本研究を進めるにあたり、研究協力者とともに「ICST システム研究会」を年に 1 回開催し、ICST システムを用いた授業の開発に関する研究発表と情報交換等を行なった。授業実践では、集団比較

実験計画法の手法により、ICSTシステムを使用した授業と、使用しないと授業を比較して、ICSTシステムを用いた理科の授業における児童・生徒と教員への効果を議論した。そして、これに基づき、小中高等学校理科の単元について教員研修プログラムの幾つかを具体化した。

< ICSTシステム研究会 >

第1回（2019年8月6日）東京学芸大学で対面式

第2回（2020年2月29日）東京学芸大学で対面式

第3回（2021年2月27日）オンライン形式

第4回（2022年2月19日）オンライン形式

第5回（2023年2月18日）東京学芸大学で対面式とオンライン形式のハイブリッド形式

4. 研究成果

（1）科学的思考力と問題解決能力の育成に必要な「日本型」の指導法の理論の構築

研究代表者らは、科学的思考力と問題解決能力に必要な演繹的な考え方を養うための指導チャートを開発した(原田ほか、2018)。一方、問題解決を行うためには、帰納的に考える「発想力」も必要であり、発想力は独創性や創造性の源となる。「発想力」や「不思議と思う感性」も科学的思考力を働かせる上で必要な要素であると考え、その源泉となる”creative understanding”を重視してきたイギリスにおける理科教育について調査するため、ハル(Hull)大学やダーラム(Durham)大学 School of Education との連携体制を確立し調査を行った。その結果、イギリスにおける言語教育を重視した勉強に注目した。イギリスでは、各教科の学習では教科書を使用せず、児童・生徒は各自の学習記録帳に教師が話したことを記録し、配布物を必要に応じて貼り付け、学習記録帳には自分の言葉で説明を書き加えるため、論理的な思考(理科の場合は科学的な思考)が用いられる。そこで、本研究では、ICSTシステムによる授業を開発するにあたり、児童・生徒による概念の理解を評価する方法として、論理的な文章で表現する能力の形成について検討した。具体的には、児童・生徒の論理的な文章化を可能とする方法を考案し、実践した。

また、米国カリフォルニア大学ローレンスホール教育研究所が開発し、実践している FOSS システムの理論を調査し、それに基づく、現地小中学校での授業を参観した。FOSS システムでは、コンセプト・フローとフォーカス・クエスチョンにより授業が展開され、児童・生徒の科学的思考力や問題解決力を育成する。また、教科書、教材キット、指導書などからなるモジュール授業として完成しており、授業者の汎用性が高く、実用化されていた。しかし、1テーマ(日本の学習指導要領の単元に相当)に、約1学期間を費やすことなど、日本の学習指導要領の拘束の現状と比較すると、これの導入は至らないことがわかった。そこで、本研究では、日本の児童・生徒の科学的思考力や問題解決力を育成するための指導法の理論を構築するため、FOSS システムの要素を抽出した。また、米国サンフランシスコの Exploratorium の Next Generation Science Standard (NGSS) の研修に参加し、米国における最近の理科教育の動向を体感し、これに基づいて ICST システムを構築した。特に、授業者は、授業や研修の流れを示すコンセプト・フローを作成し、児童・生徒や研修の受講者の「発想力」を働かせるため、到達目標である最上位の概念を帰納的に形成させる方法について検討した。

(2) 小学校の理科の内容に則した教員研修用指導チャートの開発と研修の実施

小学校学習指導要領の4つの領域「エネルギー」、「粒子」、「生命」、「地球」のいくつかの項目について、指導チャートを作成し、ICSTシステムを用いた授業の実践を行なった。小学校理科第3学年「風とゴムの力の働き」(荒井ほか、2023)、および、小学校第4学年の「人の体のつくりと運動」(小荒井・松川、2021)では、児童は、実験・観察を通して、下位の概念から到達目標とする最上位の概念を形成できることがわかった。この時、児童による論理的な文章表現による科学的概念の理解や科学的思考力の育成とそれを評価した。小学校理科第3学年「風とゴムの力の働き」では、論理的な考えを文章として表現するための3つの方法：1)論理的な文章の空欄穴埋め式；2)概念を答える基礎的な文章表現；3)概念を活用する応用的な初見の記述式を考案し、それらを用いた。これにより、児童は論理的に考え文章化し、科学的思考力が形成されることが示された(荒井ほか、2023)。

(3) 中・高等学校教員研修用指導チャートの開発と研修の実施

中学校学習指導要領の第1分野(田子ほか、2020；浅原ほか、2021；小野寺ほか、2022)、中学校理科の第2分野(田子ほか、2021)で生徒は、実験・観察を通して、下位の概念から到達目標とする最上位の概念を形成できることがわかるとともに、生徒の科学的思考力の育成に効果があると判断された。中学校理科第1分野「光とものの見え方」の授業実践では、生徒だけではなく、授業者が論理的に問題解決を導くために必要な科学的な思考過程を整理する機会となることがわかった(田子ほか、2020)。中学校理科第1分野「状態変化」と「気体の発生と性質」の授業実践では、生徒は、観察や実験で得られるデータ、学習してきた内容などを用いて、概念を形成し、フォーカス・クエスチョンにより、さらに上位の概念を形成することになり、系統性や論理性を習得させることができることが分かった(浅原ほか、2021)。中学校理科第1分野「電流と電圧の関係」の授業実践では、生徒が帰納的に電流と電圧について学ぶことができるよう配列し、抽象的な概念形成が苦手な生徒でも、能動的に学習できる場面を増やした。そして、実験群の授業と、教科書の流れに従う統制群による授業を実施した。授業後、両者の比較のため、同一チェック・テストを行った結果、実験群の方が、統制群より、概念の理解に対して肯定的な評価が多く認められ、ICSTシステムの授業による効果と判断された(小野寺ほか、2022)。中学校理科第1分野「仕事とエネルギー」の内容は、生徒の日常の生活の経験からその概念が形成されることは殆どない。そのため、生徒が帰納的に仕事とエネルギーについて学ぶことができるように設計し、抽象的な概念形成が苦手な生徒でも、能動的に学習できる場面を増やした。そして、生徒に、「仕事とエネルギー」の概念を形成させ、それを科学的に、文章を通して説明させることを試みた。そのため、チェック・テストや文章の練習(センテンス・プラクティス；SP)の方法を用いた。その結果、論理的に文章化し、説明できる生徒が増加した。このことから、ICSTシステムを用いた授業で、生徒が科学的思考の方法を習得することができ、チェック・テストとSPにより、生徒が論理的に文章で説明できるようになることが示された(小野寺ほか、2023)。中学校理科第2分野の「気象とその変化」では、生徒の観察に基づき、創造的、論理的に推論し、結論を導き出すよう「帰納的」な手法を用いて授業実践を行なった結果、生徒の科学的思考力を活用させる上で効果が得られることがわかった(田子ほか、2021)。中学校理科第2分野の「自然と人間」の単元を野外観察(生態系)に基づいた授業実践では、8割以上の生徒が生態系を「生

物のつながりの仕組み」と捉える概念を形成できたことが分かった。また、受講した生徒の科学的思考力の活用について、記述式のチェック・テストを実施した結果、エネルギーが下位から上位へと引き継がれる過程と生態ピラミッドの形との関係性を正しく理解できていない生徒が存在したこと、論理的な文章表現力が不足しているため、因果関係が説明できない生徒が多くいることを把握した。ICSTシステムを用いた野外観察を取り入れた授業の効果として、生徒が生態系などの主テーマについて、実感を伴って理解ができること、その後の授業展開で、事物をイメージした考察が期待できることが分かった。野外観察に基づく授業に、ICSTシステムを用いると、自然の事象・現象とその仕組みを科学的に理解できることが分かった。これは、室内における授業と同様である（宮口ほか、2023）。

高等学校学習指導要領の、高等学校理科(生物基礎)「生物の体内環境とその維持」の授業実践では、大単元全体のコンセプト・フローを生徒と共有することによる体系的な理解のための有効性が示された（菊池ほか、2019）。高等学校理科(生物基礎)「遺伝子とその働き」の授業実践では、科学的概念の形成について、ループリック方式や自由記述方式についても実施し、評価方法の検討を行った（棚村・原田、2021）。高等学校理科(地学基礎と地学)「恒星の進化」では、ICSTシステムを用いた授業では、生徒だけではなく、授業者が論理的に問題解決を導くために必要な科学的な思考過程を整理する機会となることがわかった（小荒井ほか、2018）。

今後は、ICSTシステムにより、小中高等学校の多くの単元の内容を教材化し、児童・生徒の科学的思考力と問題解決力を育成する授業をどの学校でも実践できるようにしたい。さらに、ICSTシステムによる授業の実用化について、教員研修を媒体とするほか、幾つかの方法が見いだされたので、それを実践し、検討する予定である。

<引用文献>

原田和雄・松川正樹・吉野正巳・長谷川正（2018）科学的思考力を育成する理科教員研修の体系的な構築法—指導チャートの意義—。科学教育研究（査読あり） 42、 407-418。

小荒井千人・松川正樹・原田和雄（2018）科学的思考力を育成するための方法を用いた高等学校理科(地学)「恒星の進化」の授業実践。東京学芸大学紀要・自然科学（査読なし） 70、151-159。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計14件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 14件）

1. 著者名 菊池涼夏・多部田宏光・原田和雄	4. 巻 71
2. 論文標題 科学概念獲得の流れ（コンセプト・フロー）を用いた高等学校理科(生物)「生物の体内環境とその維持」の 実践授業	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 東京学芸大学紀要, 自然科学系	6. 最初と最後の頁 167-174
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 松川正樹・原田和雄・吉野正巳・長谷川正	4. 巻 71
2. 論文標題 理科の教員研修による研修受講者への効果	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 東京学芸大学紀要, 自然科学系	6. 最初と最後の頁 178-181
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 原田和雄・松川正樹・吉野正巳・長谷川正	4. 巻 71
2. 論文標題 科学的思考力を育成するための教員研修とプロセス・スキルの再検討	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 東京学芸大学紀要, 自然科学系	6. 最初と最後の頁 159-165
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 田子 豪・小荒井 千人・原田 和雄・松川 正樹	4. 巻 72
2. 論文標題 ICST システムを用いた理科の授業における生徒と教員への効果 中学校理科第 1 分野「光とものの 見え方」を例として	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 東京学芸大学紀要 自然科学系	6. 最初と最後の頁 97-109
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 田子 豪・小荒井 千人・原田 和雄・松川 正樹	4. 巻 73
2. 論文標題 ICSTシステムの授業で、帰納的なアプローチを取り入れる試み：中学校理科気象分野の指導を例に	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 東京学芸大学紀要 自然科学系	6. 最初と最後の頁 48-69
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 棚村 慧史・原田 和雄	4. 巻 73
2. 論文標題 ICSTシステムによる授業における生徒の概念獲得の評価の試み：高等学校理科 (生物基礎) 「遺伝子とその働き」の授業実践を例に	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 東京学芸大学紀要 自然科学系	6. 最初と最後の頁 70-78
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 浅原 拓麻・小荒井 千人・松川 正樹	4. 巻 73
2. 論文標題 ICSTシステムを用いた中学校理科「状態変化」と「気体の発生と性質」の授業実践	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 東京学芸大学紀要 自然科学系	6. 最初と最後の頁 189-202
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 小荒井 千人・松川 正樹	4. 巻 73
2. 論文標題 ICSTシステムを用いた小学校理科第4学年「人の体のつくりと運動」の新しい指導方法の開発と実践	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 東京学芸大学紀要 自然科学系	6. 最初と最後の頁 203 - 212
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 原田 和雄・松川 正樹・吉野 正巳・犀川 政稔・佐藤 公法・林 慶一・長谷川 正	4. 巻 45
2. 論文標題 研究者の研究過程を考慮した理科の探究活動とその指導の在り方	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 科学教育研究	6. 最初と最後の頁 316-330
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14935/jssej.45.316	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 小野寺達郎・小荒井千人・松川正樹	4. 巻 74
2. 論文標題 集団比較実験計画法による ICSTシステムを用いた理科の授業における生徒と教員への効果 中学校理科第1分野「電流と電圧の関係」を例として	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 東京学芸大学紀要・自然科学	6. 最初と最後の頁 105-122
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 吉野正巳・勝木知昭・朝日俊介・沼田朋大・松川正樹・原田和雄・長谷川 正	4. 巻 75
2. 論文標題 ヒト心音図と心電図の測定に基づく中学校理科2学年2分野における「動物の体のつくりと働き」の授業：ICSTシステムの適用	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 東京学芸大学紀要・自然科学	6. 最初と最後の頁 印刷中
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 小野寺達郎・小荒井千人・松川正樹	4. 巻 75
2. 論文標題 ICSTシステムを用いた理科の授業における科学的思考力の育成 中学校理科第 1分野「仕事とエネルギー」を例として	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 東京学芸大学紀要・自然科学	6. 最初と最後の頁 印刷中
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 宮口真木子・松井美智子・松川正樹	4. 巻 75
2. 論文標題 ICSTシステムによる東京学芸大学構内の生態系の授業実践：中学校理科の野外観察への適用	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 東京学芸大学紀要・自然科学	6. 最初と最後の頁 印刷中
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 荒井勉・小荒井千人・松川正樹・原田和雄	4. 巻 75
2. 論文標題 ICSTシステムを用いた小学校理科第3学年「風とゴムの力の働き」の指導方法の開発と実践	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 東京学芸大学紀要・自然科学（査読なし）、75、印刷中	6. 最初と最後の頁 印刷中
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 -

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔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	原田 和雄 (HARADA Kazuo) (00301169)	東京学芸大学・教育学部・教授 (12604)	
研究分担者	松川 正樹 (MATSUKAWA Masaki) (30127914)	東京学芸大学・教育学部・名誉教授 (12604)	

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
---------	---------