

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

原田 和雄*¹・松川 正樹*²・吉野 正巳*²・長谷川 正*³

理科教員高度支援センター

(2019年5月23日受理)

HARADA, K., MATSUKAWA, M. YOSHINO, M. and HASEGAWA, T.: Reevaluation of Process Skills Necessary for In-service Teacher-training Workshops Aimed at Nurturing Scientific Thinking. Bull. Tokyo Gakugei Univ. Div. Nat. Sci., 71: 159-165 (2019) ISSN 2434-9380

Abstract

Science process skills for education, the skills used in scientific research and in everyday life for fair test experiments, have been considered to be important for nurturing scientific thinking and problem-solving abilities in school children. Process skills and science practices have been used in inquiry-based observation and experiments in the classroom. At the Advanced Support Center for Science Teachers (ASCeST), in-practice teacher-training workshops that introduce teaching methods for nurturing scientific thinking are being developed. In these workshops, instructional charts, which are a form of a teaching plan where the flow of the scientific concepts and the process skills are identified, are used for this purpose. In this study, the skills for scientific investigation were redefined and organized into a modified set of process skills that will act as the framework for developing instructional charts for in-practice teacher-training workshops.

Keywords: Scientific Thinking, Problem-solving Abilities, Process Skills, Science Practices, Teacher-training Workshops, Instructional Charts

Advanced Support Center for Science Teachers, Tokyo Gakugei University, 4-1-1 Nukuikita-machi, Koganei-shi, Tokyo 184-8501, Japan

要旨： 児童・生徒に科学的思考力と問題解決能力を身につけさせるためには、科学の方法、すなわち、自然科学の研究や身の回りの事柄を論理的・実証的に検証するための技法（スキル）の育成が重要である。このようなスキルは、プロセス・スキルやサイエンス・プラクティスとして観察・実験による授業等の指導に用いられてきた。東京学芸大学の理科教員高度支援センター（ASCeST）では、科学的思考力の育成のための指導法を導入した教員研修を開発するため、科学的概念獲得の流れ（コンセプト・フロー）とともに、プロセス・スキルを意識的に取り入れた指導チャートの設計法を開発した。本研究では、理科の教員研修のための指導チャートの特性に合ったスキルを再検討・整理し、指導チャートを作成するための改良型プロセス・スキルを提案する。

* 1 東京学芸大学 広域自然科学講座 生命科学分野 (184-8501 小金井市貫井北町 4-1-1)

* 2 東京学芸大学 理科教員高度支援センター

* 3 東京学芸大学 名誉教授

1. はじめに

児童・生徒に理科を教える際には、科学的な知識を教えるとともに、それを活用して科学的思考力を身につけさせる必要がある。これにより初めて科学的概念を基盤とした問題解決能力を育成させることができる。科学的思考力の育成は、新しい学習指導要領において重要視されている(文部科学省, 2017a, 2017b)。米国の理科教育においては、科学的思考力を養うためにアメリカ科学振興協会(AAAS)により提唱されたプロセス・スキルや次世代科学スタンダード(NGSS)のサイエンス・プラクティスの手法が用いられている(Livermore, 1964; NGSS Lead States, 2013)。プロセス・スキルとサイエンス・プラクティスは、科学的な研究や探求活動を行う際に用いるスキル(技法)を指す。科学的思考力を育成する観察・実験を取り入れた教育では、「観察(Observing)」、「分類(Classifying)」、「測定(Measuring)」、「伝達・データの収集(Communicating)」、「予想(Predicting)」、「仮説の設定(Formulating Hypotheses)」など、自然科学を研究する上で用いられる方法を体験させている。観察や実験を行う際に、これらの手法を意識的に用いる指導法により、「主体的・対話的で深い学び」の視点からの授業改善につながり(文部科学省, 2017a, 2017b)、科学の方法を理解し、科学的思考力や問題解決能力が育成できると考えられる。

東京学芸大学の理科教員高度支援センター(ASCeST)では、教員研修の内容を体系的に構築するための一般性のある方法として、概念獲得の流れ(コンセプト・フロー)とサイエンス・プラクティスを意識的に連動させた指導チャートの設計法を含むInstructional Charts for nurturing Scientific Thinking(ICST)システムを開発した(原田, 2018)。教員研修の中で指導チャートの作成手順について受講者に理解を促すことにより、学校の授業における「主体的・対話的で深い学び」が実践可能となり、児童・生徒の科学的思考力の育成に役立つことが期待される。指導チャートを開発するにあたり、科学的・探求的な活動を行う時のスキルとして米国の新しい理科教育のスタンダードであるNGSSのサイエンス・プラクティスを導入した。サイエンス・プラクティスにおけるスキルは、プロセス・スキルを基盤として開発された8つの項目からなる(図1)。本研究では、理科の教員研修のための指導チャートの特性に合ったスキルについて検討・整理し、指導チャートを作成するための改良型プロセス・スキルを提案する。

2. プロセス・スキルとサイエンス・プラクティス

1962年にアメリカ科学振興協会(AAAS)によりCommission on Science Educationが設立され、新しい理科教材の開発について大学の研究者と教育界のリーダーにより検討された。その中で、知識の獲得と同時に、児童・生徒が科学のプロセスに必要なスキルを獲得する理科教育における「プロセス・アプローチ」の重要性が提唱され、獲得させるべきスキル(技法)が整理された(表1, AAAS Commission)(Livermore, 1964)。初等教育段階での「基礎的(basic)」なスキルとして、「観察する(Observing)」、「分類する(Classifying)」、「測定する(Measuring)」、「記録し、伝達する(Communicating)」、「推論する(Infering)」、「予測(予想)する(Predicting)」、「事象を時間・空間に関連づける(Recognizing Space/Time Relations)」、「数的関係を認識する(Recognizing Number Relations)」の8つのスキルが抽出された。小学校高学年では、これら8つのスキルに加えて、「仮説をつくる(Formulating Hypotheses)」、「操作的定義をする(Making Operational Definitions)」、「条件を制御する(Controlling and Manipulating Variables)」、「実験をする(Experimenting)」、「データを解釈する(Interpreting Data)」、「モデルをつくる(Formulating Models)」の6つの「統合的(Integrated)スキル」が追加された。これら合計14のスキルは、科学者が研究する時、あるいは、我々が身の回りの事柄について科学的に検証し理解する際に組み合わせて使われるものである。低学年の児童は、主に「観察する(Observing)」や「記録し、伝達する(Communicating)」のスキルを用いるが、高学年になるに従って「推論する(Infering)」や「予測(予想する)(Predicting)」を用いるようになる。「分類する(Classifying)」や「測定する(Measuring)」のスキルは、どの学年でも均等に使われるが、学年進行によりその手法の複雑さが変化する。また、小学校高学年から中学校の児童・生徒は、「仮説をつくる(Formulating Hypotheses)」、「条件を制御する(Controlling and Manipulating Variables)」、「実験をする(Experimenting)」、「データを解釈する(Interpreting Data)」などの統合的なスキルを用いるようになる。

AAAS(1964)により理科教育にプロセス・スキルを取り入れることが提案されて以来、いくつかの改訂版プロセス・スキルが対象とする学年やカリキュラムにより整理し直されている。AAAS Commissionの基礎的なスキルをベースとした6つのスキルとして、

表1 AAAS Commission (1964)・加藤 (2012)・Harlen (2001) のプロセス・スキル, NGSS のサイエンス・プラクティスを基盤とした指導チャートのための ASCeST 版プロセス・スキルの整理: Harlen (2001) と ASCeST (this study) の表内にカッコで示されたスキルは, その上位スキルに含まれることを意味している。

AAAS Commission(Process skills) (1964) ¹⁾	NGSS (Science Practices) (2013)	Harlen (Process Skills) (2001)	ASCeST (Process Skills) (this study)
観察する (Observing)		Observing (including measuring)	観察(測定を含む)
分類する (Classifying)		(Interpreting information obtained)	(データの分析・解釈)
測定する (Measuring)		(Observing)	(観察)
記録し, 伝達する (Communicating)	情報を収集・評価し, 伝達する (Obtaining, Evaluating, and Communicating Information)	Communicating (recording, reporting, discussing)	情報の収集・評価・伝達(議論を含む)
推論する (Inferring)		(Interpreting information obtained)	(データの分析・解釈)
予測 (予想) する (Predicting)		Predicting (saying what may happen on the basis of a hypothesis)	予測
事象を時間・空間に関連づける (Recognizing Space/Time Relations)			(データの分析・解釈)
数的関連を認識する (Recognizing Number Relations)	数学およびコンピュータを活用した思考を用いる (Using Mathematics and Computational Thinking)		(データの分析・解釈)
	疑問 (問題) を発見 (明確化) する (Asking Questions)	Raising Questions (distinguishing between investigable and noninvestigable ones)	問題の明確化
仮説をつくる (Formulating Hypotheses)	仮説を立てる (Constructing Explanations)	Hypothesizing (proposing possible explanations)	仮説の設定
操作的定義をする (Making Operational Definitions)			(データの分析・解釈)
条件を制御する (Controlling and Manipulating Variables)			(観察・実験の計画・実行)
実験をする (Experimenting)	観察・実験を計画・実行する (Planning and Carrying Out Investigations)	Planning and Carrying Out Investigations (including fair testing)	観察・実験の計画・実行
データを解釈する (Interpreting Data)	データを分析し, 解釈する (Analysing and Interpreting data)	Interpreting Information Obtained (pattern finding, inferring, drawing conclusions)	データの分析・解釈(分類, 推論等を含む)
モデルをつくる (Formulating Models)	モデルを構築し, 利用する (Developing and Using Models)		モデルの作成
	科学的根拠に基づいて議論する (Engaging in Argument from Evidence)	(Communicating)	(情報の収集・評価・伝達)
			仮説・モデルの再評価・検証

1) AAAS Commission のプロセス・スキルの日本語訳は, 文部省 (1970) に従っている。

「観察する (Observing)」, 「分類する (Classifying)」, 「測定する (Measuring)」, 「記録し, 伝達する (Communicating)」, 「推論する (Inferring)」, 「予測 (予想) する (Predicting)」がしばしば用いられる。加藤 (2012) は, 小学生に身に付けさせたい問題解決能力としてのプロセス・スキルを 11 のスキルに整理している。これは, AAAS Commission の 14 のスキルから 3 つのスキル (時空間的な関係の認識, 数的関係の認識, 操作的な定義) を削除したものである。Harlen (2001) はプロセス・スキルを 7 つのスキルに整理している (表 1)。いくつかのスキルを一つに統合するとともに, 「問題の明確化 (Raising Questions)」を加えている。スキルを統合した例として, 「測定する (Measuring)」は「観察する (Observing)」に含めていることが挙げられる (表 1)。一方, NGSS のサイエンス・プラクティスは, プロセス・スキルを基盤としながら, Harlen (2001) の場合と同様に, いくつかのスキルを一つに統合するとともに, 「科学的根拠に基づいて議論する (Engaging in Argument from Evidence)」のような新しい項目を加えている (表 1)。

3. 指導チャートを用いた教員研修

原田ら (2018) は, 科学的思考力の育成のための指導法を導入した教員研修を開発するため, 指導チャートの設計法を開発した。指導チャートは, 学習指導案を発展させたものであり, 研修における概念獲得の流れ, 理解すべき内容に焦点をあてた質問事項, 科学的に問題解決をする上での技法等を整理したものである。教員研修用の指導チャートとして, これまでに生物分野の研修「接触グロー放電」, および, 研修「地質野外観察会 - 130 万年前の東京の自然を復元しよう」を作成し, 研修を実施してきた (原田, 2018)。教員研修の中で, 指導チャートの作成手順について受講者に理解を促すことにより, 科学的思考法をより強く意識するようになった受講者が増加したことが明らかになった (松川ほか, 2019)。また, 高等学校の授業「恒星の進化」における実践用の指導チャートを作成し, 授業後のアンケートにより用いた教材, および, 授業を評価した。その結果, 指導チャートを用いることにより, 生徒の科学的思考力の育成に効果があることが認められた。

指導チャートを作成するにあたっては, NGSS のサイエンス・プラクティスを用いた。これは, 米国において, NGSS のサイエンス・プラクティスを導入した学校教材が開発され, 授業実践が進んでいるためであ

る。プロセス・スキルは, 科学者が研究を行う時に用いる技法として整理されたものであるが, サイエンス・プラクティスは広い意味での調査・研究 (Inquiry) を説明するために開発された (NGSS Lead States, 2013)。そのため, 自然の事象について観察・実験を行う際に用いる「観察」や「分類」が含まれていない。また, 従来のプロセス・スキルには存在しなかった「数学およびコンピュータを活用した思考を用いる」は, 「測定」や「データの分析・解釈」における定量的な分析に含まれていると考えられる。さらに, 「科学的根拠にもとづいて議論する」ことは, 他のスキルを複合的に用いることで理解できる。

観察・実験に基づいた教員研修, および, 学校の授業において, プロセス・スキルやサイエンス・プラクティスを意識的に用いる場合は, それぞれのスキルやプラクティスを直感的に理解することが必要である。これは, 観察・実験に基づいて探求を行う場合, 同時に複数のスキルやプラクティスを組合せて用いるため, 容易にこれらを分離し, 特定しなければならないためである。

4. 指導チャートのためのプロセス・スキルの整理

本研究では, Harlen (2001) のプロセス・スキルを基にして, 指導チャートに合致したプロセス・スキルを再定義した。これにより, 指導チャートを作成するにあたり, スキルを特定することを容易にすることができるかと期待される。

Harlen (2001) は, 様々な理科教育のスタンダードやカリキュラムのプロセス・スキルにおいて共通に見られるプロセス・スキルを表 1 のようにまとめた。その特徴は, AAAS Commission (1964) の基礎的なスキルをベースとした 6 つのスキルである「観察する (Observing)」, 「分類する (Classifying)」, 「測定する (Measuring)」, 「記録し, 伝達する (Communicating)」, 「推論する (Inferring)」, 「予測 (予想) する (Predicting)」に加えて, サイエンス・プラクティスにおける「疑問 (問題) を発見 (明確化) する (Asking Questions)」, 「仮説を立てる (Constructing Explanations)」, 「観察・実験を計画・実行する (Planning and Carrying Out Investigations)」, 「データを分析し, 解釈する (Analysing and Interpreting data)」を含んでいることである (表 1)。

Harlen (2001) のプロセス・スキル (表 1) では, それぞれのスキルがカバーする範囲を括弧内に示している。「観察」は, 「測定を含む」とし, 「Observing

(including measuring)」としている。これは、観察には感覚だけに頼る「定性的な観察」の他、測定を伴う「定量的な観察」が含まれると考えられるためである。そこで、表1のASCeST (Process Skills) (this study)の「観察」は「観察(測定を含む)」とし、AAASの「測定する(Measuring)」に相当する欄は、「観察」に含まれることを示すため、「(観察)」と記載した。また、Harlen (2001)は、AAASの「データを解釈する(Interpreting Data)」に「分類する(Classifying)」と「推論する(Inferring)」を含めて「Interpreting Information Obtained (pattern finding, inferring, drawing conclusions)」としており、さらに、AAASの「記録し、伝達する(Communicating)」には、「記録、伝達、議論」が含まれると考え「Communicationg (recording, reporting, discussing)」としている。これに基づいて、NGSS (Science Practices)の「科学的根拠に基づいて議論する(Engaging in Argument from Evidence)」に相当する欄は、「情報の収集・評価・伝達」に含まれることを示すため、「(情報の収集・評価・伝達)」と記載した。以上のように、Harlen (2001)のプロセス・スキルは、これまでのプロセス・スキル、および、サイエンス・プラクティスにより特定された16スキルの中の11スキルをカバーしている。

プロセス・スキルを再定義するにあたり、AAAS Commission (1964)やサイエンス・プラクティスにおいて整理されたスキルの中で、Harlen (2001)に含まれていない項目について検討した(表1)。AAASの「事象を時間・空間に関連づける(Recognizing Space/Time Relations)」は、例えば、生物の二次元的な顕微鏡画像からその三次元的な構造を視覚化するプロセスを指し、「数的関連を認識する(Recognizing Number Relations)」は、科学実験における定量的な考え方を指す。これらの技法や考え方は、AAASの「データを解釈する(Interpreting Data)」に含めることができると考えられる。同様に、AAASの「操作的定義をする(Making Operational Definitions)」は、例えば、ある物体の質量と体積を測定してその密度を求めるとともに、密度が測定可能で数量化可能な一般性を持った概念であることを理解することを指し、「データを分析し、解釈する(Analyzing and Interpreting Data)」に含めることができると考えられる。以上のことから、これら4つのスキルは、ASCeST (Process Skills)では、「データの分析・解釈」とし、対応する欄には「(データの分析・解釈)」と記載した。

AAAS Commission (1964)の「条件を制御する(Controlling and Manipulating Variables)」は、例えば、実験において光の量や温度などを一定に保つことの重要性や実験を計画する際に条件を変えることを指し、AAASの「実験をする(Experimenting)」、および、NGSS (Science Practices)の「観察・実験を計画・実行する(Planning and Carrying Out Investigations)」に含めることができると考えられる。そこで、AAASの「条件を制御する(Controlling and Manipulating Variables)」は、ASCeST (Process Skills)では、「観察・実験の計画・実行」とし、対応する欄には「(観察・実験の計画・実行)」と記載した。

AAAS Commission (1964)の「モデルを作る(Formulating Models)」は、NGSS (Science Practices)の「モデルを構築し、利用する(Developing and Using Models)」として継承され、観察した現象をメンタル・モデルとして図や模型として、あるいは、数学的に説明することを指す。このスキルは、最も創造的なスキルとして、ASCeST (Process Skills)では、「モデルの作成」とした。

自然科学の研究では、仮説やモデルを評価・検証して論理性や実証性を高める。評価・検証では、観察や実験で得られたデータの見直し、再観察や再実験を実施し、演繹的に進める。そして、確かな結論を得るため、自然科学の研究ではこれに多く労力と時間を費やす。理科教育では科学的思考力を育成するために、探究的な学習として自然科学の研究手法が用いられている。このため、プロセス・スキルの一つとして、仮説やモデルの評価・検証を加える必要がある。本論文では、「仮説・モデルの再評価・検証」をスキルとして加えることを提案する。

以上のことを踏まえて、指導チャート用のプロセス・スキルを表1に示した9つにまとめた。これら9つのスキルにより、これまでのプロセス・スキル、および、サイエンス・プラクティスにより特定された16スキルを全てカバーできる。また、これまでに抽出されなかったスキルとして、「仮説・モデルの再評価・検証」を加えた(表1)。図1には、9つのスキルを上位のプロセス・スキルとし、その他の下位のスキルとの関係を示した。また、表2には、9つのスキルを用いている時に具体的にどのような作業を行っているか示した。観察・実験を伴う教員研修用指導チャート等を作成する際に、実習者に習得させるスキルを具体化・明確化できるので、研修効果を高めることができると考えられる。また、研修修了者が理科の観察・実験の授業にこれらのスキルを導入して、見

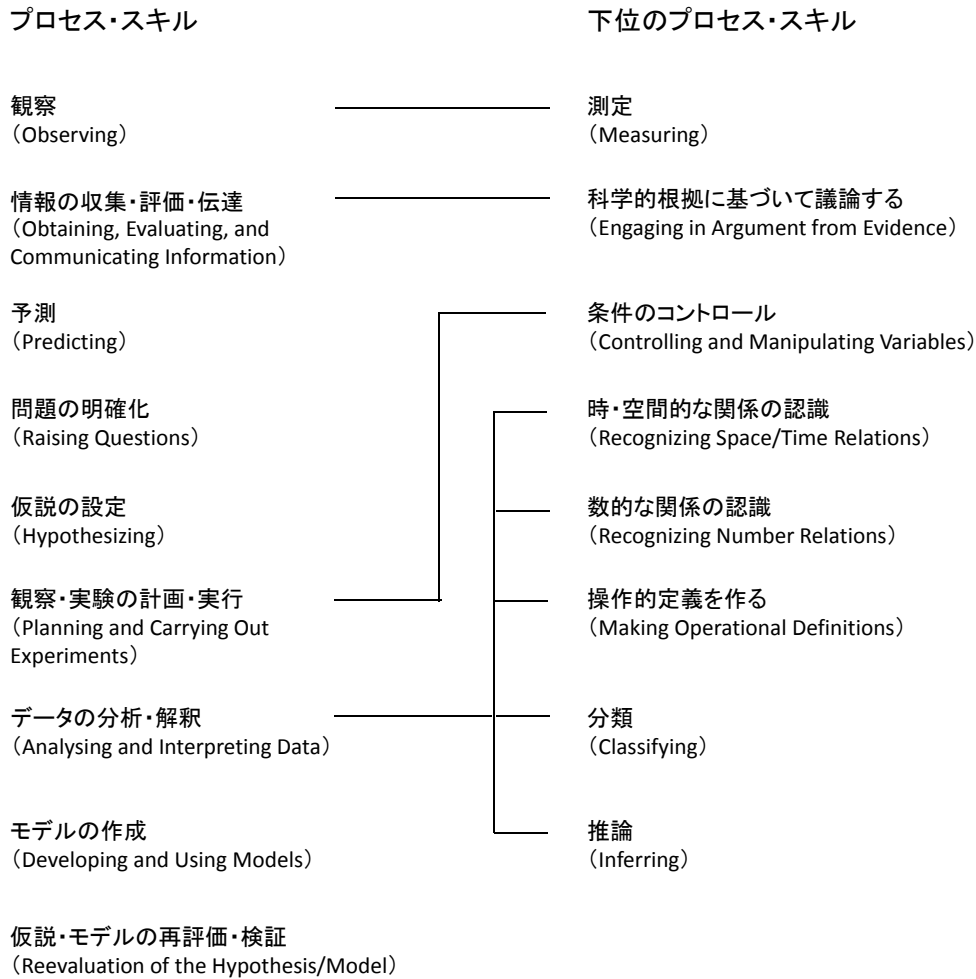


図1 ASCeST版プロセス・スキル(9項目)と下位のプロセス・スキル

表2 ASCeST版プロセス・スキル(9項目)の内容

	プロセス・スキル(ASCeST)	内容
1	観察(Observing)	感覚と適切な道具を用いて、事物や現象についての情報を集めること;測定すること、類似点や相違点を見つけることを含む
2	情報の収集・評価・伝達 (Obtaining, Evaluating, and Communicating Information)	議論、図の作成、発表などを通して、観察したこと、仮説、モデル、結論を伝達すること;より知識を持つ人と話すこと、文献を参照することを含む
3	予測(Predicting)	仮説に基づいて、未知の現象について期待される結果を考え付くこと
4	問題の明確化(Raising Questions)	ある事物や現象についての疑問(問題)を発見し明確にすること;検証可能な問題を見つけること、問題を解決する手段を提案することを含む
5	仮説の設定(Hypothesizing)	ある事物の性質や現象についての経験に基づいて、それを説明するための仮説を立てること;推論することを含む
6	観察・実験の計画・実行 (Planning and Carrying Out Experiments)	仮説を検証するための観察・実験を計画し実行すること;観察・実験の結果に影響する要因・条件を発見すること、測定方法について考え計画に取り入れること、測定機器を用いることを含む
7	データの分析・解釈(Analysing and Interpreting Data)	観察・実験の結果などの根拠に基づいて、結論を導くこと(推論);データからパターンやその他の意味を見出すこと(分類、時空間的な関係の認識、操作的な定義を作る)、統計的にデータを解釈すること(数的な関係の認識)、観察実験上の間違いを見つけること、必要と考えられる場合は追加の観察・実験を提案することを含む
8	モデルの作成(Developing and Using Models)	事物や現象を概念的に分かりやすく表現(説明)するためのモデルを作成すること;モデルは、物的、数学的、視覚的、コンピュータを利用したものを指す
9	仮説・モデルの再評価・検証 (Reevaluation of the Hypothesis/Model)	観察や実験で得られたデータの見直し、再観察や再実験を実施することにより、仮説・モデルの論理性・実証性を高める

童・生徒に問題解決をさせることにより, 児童・生徒が科学の方法を体験的に理解し, 科学的思考力を身につけることができる。

5. 結論

児童・生徒に科学的思考力を身につけさせるためには, 科学の方法, すなわち, 自然科学の研究や身の回りの事柄を科学的に検証するための技法(スキル)を習得させることが重要である。プロセス・スキルは, 科学者が研究を行う時に用いる技法としてアメリカ科学振興協会(AAAS)のCommission on Science Educationにより16のスキルに整理された(Livermore, 1964)。プロセス・スキルは, 対象とする学年やカリキュラムにより様々なスキルの組合せとして整理しなおされ, 代表的なものとしてHarlenにより7つのスキルに整理されたものがある(Harlen, 2001)。一方, サイエンス・プラクティスは広い意味での調査・研究(Inquiry)の技法を説明するために開発されたが, 自然の事象について観察・実験の際に行う「観察」や「分類」が含まれていないなどの特徴がある(NGSS Lead States, 2013)。本研究では, 理科の教員研修のための指導チャートの特性に合ったスキルとは何か改めて検討・整理した。具体的には, Harlen (2001)のプロセス・スキルに基づいて, 指導チャートに合致したプロセス・スキルを再定義した(図1, 表2)。また, 自然科学の研究の際に用いるスキルとして, 「仮説・モデルの再評価・検証」を加えることを提案した。これにより, 指導チャートを作成するにあたり, 習得すべきスキルを明確にし, 研修効果を高めると期待される。

謝辞

本研究は, 科学研究費補助金(19H01665)の支援を受けて実施されました。

引用文献

- Harlen, W., 2002. Why Science? What Science? In "Primary Science – Taking the Plunge", 2nd ed., Heineman, Portsmouth, NH, pp. 1–13.
- 長谷川正・原田和雄・松川正樹, 2017. 理科教員研修のデザイン—科学的思考と問題解決能力の育成を目指して—, 東京学芸大学紀要 69, 321–334.
- 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 42, 407–418.
- 加藤尚裕, 2012. プロセス・スキルに視点を当てた問題解決能力の指導に関する予備的研究—小学校理科におけるメタ認知ツールの開発を目指して—, 国際経営・文化研究 16, 67–76.
- 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 70, 151–159.
- Livermore, A. H., 1964. The Process Approach of the AAAS Commission on Science Education. Journal of Research in Science Teaching 2, 271–282.
- 松川正樹・原田和雄・吉野正巳・長谷川正, 2019. 理科の教員研修による研修受講者への効果. 東京学芸大学紀要, 自然科学 71, 175–181.
- 文部省, 1970. 中学校指導書理科編, 大日本図書, pp. 35–57.
- 文部科学省, 2017a. 小学校学習指導要領(平成29年告示). http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/_icsFiles/afiedfile/2018/05/07/1384661_4_3_2.pdf
- 文部科学省, 2017b. 中学校学習指導要領(平成29年告示). http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/_icsFiles/afiedfile/2018/05/07/1384661_5_4.pdf
- NGSS Lead States, 2013. Next Generation Science Standards: For States, By States, National Academies Press.