

小学校理科教科書に掲載されている「問い」の生成 に関する事例的研究

－第6学年児童を対象とした調査問題の開発と評価に焦点を当てて－

本田 勇輝*・山田 健人**・田代 直幸***・栗原 淳一****・
山田 貴之*****

(令和5年12月14日受付；令和6年4月4日受理)

要 旨

本研究の第一の目的は、第6学年児童が既習の理科の内容について、教科書中の「問い」をどの程度生成できるのか、その実態を明らかにするための調査問題の開発と評価であった。そのために、調査問題を12問開発し、第6学年児童235名を対象に調査を行うとともに、得られたデータについてラッシュ分析を用いて検討した。その結果、「はい・いいえ (yes/no)」が3問、「どのように+動詞 (how+動詞)」が2問、「どのような+名詞 (how/what+名詞)」が4問の計9問に信頼性及び妥当性が認められた。続いて第二の目的は、開発した調査問題をラッシュ分析によって検討した結果から、第6学年児童の「問い」の生成に関する実態を明らかにして指導法改善に向けた示唆を得ることであった。その結果、調査問題の難易度に対応する項目測定値の平均が.00logit (SD.75)であるのに対し、児童の理解度に対応する人的測定値の平均は-.92logit (SD.98)と低い値を示した。このことから、児童の理解度に対して調査問題の難易度が高いことが明らかになり、既習の理科の内容であったとしても、第6学年児童にとって教科書中の「問い」を生成することは難しいという実態が示唆された。

KEY WORDS

elementary school science textbooks 小学校理科教科書, questions 問い, generation 生成, sixth-grade students 第6学年児童, survey problems 調査問題

1. 問題の所在

Chin & Osborne (2008)⁽¹⁾は、「問い」には4つの役割 (①学習を方向づけ、知識構築を促進する、②議論や討論を促進し、それによって話し合いの質を高める、③理解を自己評価しモニタリングすることを支援する、④知的好奇心を引き起こし、学習に対する意欲や興味を増大させる可能性を持っている)があり、科学的探究を進めていく上で必要不可欠な要素であるとしている。また、「問い」は学習者が不足している知識を獲得・構築したり、矛盾を解決したりするとともに (Chin & Brown, 2000)⁽²⁾、学習を推進していくことが報告されている (Chin & Chia, 2004)⁽³⁾。特に、優れた「問い」は深い思考を生み出し、批判的思考や創造的思考、問題解決の思考操作に寄与する思考処理スキルの1つである (Cuccio-Schirripa & Steiner, 2000; 柞磨, 2020)^(4,5)。

さらに、「問い」の種類や性質の違いについて、Scardamalia & Bereiter (1992)⁽⁶⁾は、予備知識のあるテーマでは主に「基本的な知識」を問う「問い」(basic information questions)が、あまり身近ではないテーマでは「疑問に思ったこと」の「問い」(wonderment questions)が多く、領域特有の予備知識の欠如が生徒の「問い」の種類に影響する可能性を示唆している。Chin & Kayalvizhi (2002)⁽⁷⁾もまた、「問い」を2種類に分類している。具体的には、学習者が見通しをもって調査を行い、答えを導出できるものを探究可能な「問い」(investigable questions)に、本で調べたりインターネットで検索したり、誰かに聞いたりすれば答えがわかる単純な情報(基本的な事実)を問うもの、根本的な原因を探り、分子やミクロ以下のレベルで理論的に説明する複雑な情報を問うもの、及び哲学的・宗教的な質問で科学では答えられない可能性があるものを探究不可能な「問い」(non-investigable questions)に分類している。Pedrosa de Jesus, Teixeira-Dias & Watts (2003)⁽⁸⁾においても、「問い」には例証や定義を尋ねる確認の意味を持つものと、学生の理解を再構築したり再編成したりする意味を持つものがあると述べられており、どちらの「問い」も必要不可欠であり、適切な「問い」のタイプは状況や課題の性質によって異なるとされている。

また、Cuccio-Schirripa & Steiner (2000)⁽⁴⁾によると、「問い」のレベルは1から4まであり、レベル1は最も低い

レベルで、事実に関する情報や単純な「はい」、「いいえ」の回答可能な「問い」である一方、科学的探究可能な「問い」として最も高いレベル4の回答は、因果関係を表すもので、変数が具体的で測定可能、かつ操作可能な実験計画が要求されるものとしている。併せて、7年生を対象に、探究可能な「問い」を生成するための指導を受けた生徒と受けていない生徒を比較した結果、前者の方が後者よりも高いレベルの「問い」を生成できたことを明らかにしている。

これまで述べてきたように、「問い」の研究には、役割や意義について論じたもの、種類や性質、レベルを視座とした類型化とその特徴を整理したもの、探究可能な「問い」の生成に関する授業実践の効果を明らかにしたものなどが認められる。

さて、それでは国内外の理科教育の文脈における「問い」のタイプ（種類・類型）や、学習者の「問い」に対する認識について調査した研究には、どのようなものがあるのだろうか。先行研究（論文）の収集に当たり、過去30年間分（1992～2022年）の理科教育に関する学術論文について、国内では「理科教育学研究」と「科学教育研究」、海外では“Journal of Research in Science Teaching”, “International Journal of Science Education”, “Science Education”を対象に、「問い」に関する先行研究を概観したところ、主に3つ（「問い」の生成、「問い」の変換、教科書における「問い」の傾向）に分類できるのではないかと考えた。まず、「問い」の生成に着目した国内の先行研究として、坂本ら（2016）⁽⁹⁾は、「科学的原理法則に基づく探究活動」と『「問い」の生成への介入』との組み合わせが、原理・法則に基づく科学的思考を促し、その内容を科学的な「問い」に結実させるための有効な教授方略であるとしている。廣・内ノ倉（2018）⁽¹⁰⁾は、中学生が事象の観察から生成する疑問は、事象に見られた表面的な変化や特徴に着目した疑問であること、自身で生成した疑問は科学的に探究可能だと判断しやすい傾向があることを指摘している。廣・内ノ倉（2019）⁽¹¹⁾においても、中学生による科学的に探究可能な「問い」の判断と生成に見られる特徴が明らかにされている。さらに、河原井・宮本（2021）⁽¹²⁾は、中学生を対象とした理科授業において、「何かに気付いた→何か疑問に思った→『問い』を生成した」という「問い」の生成プロセスを報告している。

一方、「問い」の生成に着目した海外の先行研究に目を向けると、Metz（2004）⁽¹³⁾は、科学的探究を中心とした理科授業において、学習者が生成した「問い」がデータの収集を通して回答できるかを考えさせる活動や、「問い」の生成にあたって配慮すべき事項をクラス全体で共有する活動を取り入れた結果、多くの小学生が観察・実験を通して実証可能な「問い」を生成できたと報告している。また、「問い」を生成することで、学習内容に対する自分の現在の理解を明確にできたり、学習者が生成した「問い」は自己評価と相互評価の重要な側面を持っていたりすることが報告されている（Black, Harrison, Lee, Marshall & Wiliam, 2002）⁽¹⁴⁾。

次に、「問い」の変換に着目した国内の先行研究として、吉田・川崎（2019）⁽¹⁵⁾は、疑問から「問い」への変換過程を調査し、「疑問の認識→仮説の設定→『問い』の設定」といった思考の順序性を明らかにしている。この研究で明らかになった順序性を基に、吉田・川崎（2020）⁽¹⁶⁾は、科学的探究における疑問から「問い」への変換過程に関する小学生の実態について調査を行い、「問い」の形式や変換に関する知識が不足していることから、「問い」を生成できないことを報告している。さらに、川崎・吉田（2021）⁽¹⁷⁾は、小学校理科の問題設定場面における「なぜ」という疑問を「何が」や「どのように」といった探究の見直しを含む「問い」への変換を促す指導法を考案している。

一方、「疑問」から「問い」の変換に着目した海外の先行研究について、吉田・川崎（2019）⁽¹⁵⁾は、「過去25年分の“Journal of Research in Science Teaching”, “International Journal of Science Education”, “Science Education”における、interrogative, question, problemに関する先行研究を概観したが、『疑問』から『問い』への変換過程に着目した研究は見られなかった」と述べている。加えて、吉田・川崎（2019）⁽¹⁵⁾では調査されていない2019～2022年における研究を精査したが、「疑問」から「問い」への変換過程に着目した論文は見られなかった。

最後に、教科書における「問い」の傾向に着目した国内の先行研究として、中山・猿田・森・渡邊（2014）⁽¹⁸⁾及び中山・猿田（2015）⁽¹⁹⁾は、「教科書中の『問い』とみなせるもの」を「問い」と定義し、それらを抽出し、小中学校理科教科書における「問い」の傾向を見いだすことを目的に教科書分析を行っている。関根ら（2012）⁽²⁰⁾及び吉田・田代・五島・稲田・小林（2012）⁽²¹⁾は、「探究の技能」^(註1)と「問い」との間には強い関連があることを明らかにしている。また、本田・山田・栗原・山田（2022a）⁽²²⁾は、Y社の2019年検定済小学校理科教科書に掲載されている141の「問い」を抽出し、「はい・いいえ（yes/no）」、「どのように+動詞（how+動詞）」、「どのような+名詞（how/what+名詞）」といった「問い」が数多く見られるとしている。山田・本田・木原・河本・山田（2022）⁽²³⁾においても、Y社の2020年検定済中学校理科教科書に掲載されている110の「問い」を抽出し、「どのように+動詞（how+動詞）」、「どのような+名詞（how/what+名詞）」、「何（what）」といった「問い」が数多く見られることが報告されている。

一方、教科書における「問い」の傾向に着目した海外の先行研究として、Pizzini, Shepardson & Abell（1992）⁽²⁴⁾

は、中学校の理科教科書に掲載されている「問い」より、中学生の認知レベルの方が低いため、「問い」が機能することを明らかにしている。

これまで述べてきたように、科学的探究における「問い」の生成や教科書における「問い」の傾向についての実態は明らかにされている。しかし、小学校理科教科書に掲載されている「問い」（以後、教科書中の「問い」と表記）を、小学生がどの程度生成できるかを調査した研究は、本田・山田・田代・栗原・山田（2022b）⁽²⁵⁾のみであり、その蓄積は未だ十分とは言えないのが現状である。そこで本研究では、第6学年児童を対象に、学習済みの理科の内容から、教科書中の「問い」をどの程度生成できるのかを評価する調査問題を開発し、その実態を明らかにするとともに、指導法改善に向けた示唆を得ることとした。

なお、「問い」の定義については理科教育に関する学術論文において種々述べられているが^(註2)、本研究では中山・猿田（2015）⁽¹⁹⁾を援用し、「教科書中の『問い』とみなせるもの」とした。また、「問い」の種類については、2019年検定済小学校理科教科書に掲載されている141の「問い」を分析した本田ら（2022a）⁽²²⁾の3つ（「はい・いいえ（yes/no）」、「どのように+動詞（how+動詞）」、「どのような+名詞（how/what+名詞）」）とした。

2. 研究の目的

本研究では、第6学年児童が既習の理科の内容について、教科書中の「問い」をどの程度生成できるのか、その実態を明らかにするための調査問題の開発と評価を第一の目的とした。なお、調査問題の評価については、「3.3 分析方法」で詳述するように、各調査問題の信頼性及び妥当性、調査問題全体の信頼性及び難易度をラッシュ分析によって検討することとした。また、開発した調査問題をラッシュ分析によって検討した結果から、第6学年児童の「問い」の生成に関する実態を明らかにし、指導法改善に向けた示唆を得ることを第二の目的とした。

3. 研究の方法

3.1 「問い」の抽出

本田ら（2022a）⁽²²⁾は、Y社の2019年検定済小学校理科教科書（第3～6学年）には141の「問い」が掲載されていることを明らかにしている。本研究では、これら141の「問い」から12個を抽出した。抽出に関する詳細な手続きを以下に述べる。

3.1.1 「問い」の種類

理科教育学研究者1名（第5著者）と理科教育を専門とする大学院生4名（うち3名は教職経験15年以上）で複数回の協議を行い、141の中から、本田ら（2022a）⁽²²⁾において「はい・いいえ（yes/no）」、「どのように+動詞（how+動詞）」、「どのような+名詞（how/what+名詞）」に分類された「問い」を10個ずつ、計30個抽出した。

3.1.2 観察・実験の3観点との対応

山田ら（2021）⁽²⁶⁾は、Y社の2019年検定済小学校理科教科書に掲載されている全観察・実験を3観点（定性的・定量的、仮説設定の有無、変数制御の有無）に基づいて6群に類型化している。そこで、まず、これら6群の観察・実験のバランスを考えて、30個の中から12個を抽出した（表1）。次に、抽出した12個の「問い」について、別の理科教育学研究者2名（第3、4著者）が独立して分析・解釈を行い、調査問題として妥当であるのか否か検討するとともに、適宜、第5著者と討議し、不一致点を全て解消した。最後に、これまでの討議結果を踏まえ、再度、理科教育学研究者（第5著者）と大学院生4名で協議を積み重ね、不一致点を全て解消した後、12個の「問い」を一覧表に整理した（詳細については、ホームページで閲覧可能である^(註3)）。

3.2 調査問題の開発

抽出された「問い」を対象に、「問題を見つけよう」の話し合いや活動の場面、前時のまとめの文章やイラスト、写真をそのまま用いて調査問題を開発することとした。なお、教示文については、吉田・川崎（2020）⁽¹⁶⁾の文章表現を参考にした。そして最終的に12問を開発した（詳細については、ホームページで閲覧可能である^(註3)）。

表1 抽出された「問い」の内訳

観察・実験の6群	「問い」の種類			計
	はい・いいえ (yes/no)	どのように+動詞 (how+動詞)	どのような+名詞 (how/what+名詞)	
定量	1	—	1	2
定性, 仮説, 変数	—	1	1	2
定量, 仮説, 変数	1	1	—	2
定性	1	—	1	2
定性, 仮説	1	1	1	3
定量, 仮説	—	1	—	1
計	4	4	4	12

3.3 分析方法

2022年5月、新潟県内公立小学校6校の第6学年児童235名を対象に調査を行い、217名から回答を得た。調査問題の得点化に当たり、採点基準を作成した(表2)。具体的には、「自然事象に対する気付き」場面で求められる資質・能力(「自然事象を観察し、必要な情報を抽出・整理する力」,「抽出・整理した情報について、それらの関係(共通点や相違点など)や傾向を見いだす力」と、「課題の設定」場面で求められる資質・能力(「見いだした関係性や傾向から、課題を設定する力」)を踏まえ(中央教育審議会, 2016)⁽²⁷⁾, 児童が「問い」を設定する際、自然事象から必要な情報を抽出し、それらを関係付けることが重要であると考えた。併せて、「令和4年度全国学力・学習状況調査解説資料【小学校理科】」の「問題を見いだす」設問における問題作成の枠組み(自然の事物・現象について、気付きなどから得られた視点を基に、分析して、解釈し、そこから得た差異点や共通点を基に、問題を見いだすこと)を参考に(国立教育政策研究所, 2022a)⁽²⁸⁾, 本研究では、児童が調査問題から「必要な情報(変数)を抽出」すること、並びに「抽出した情報(変数)の関係性(因果関係や共通点・相違点など)を基に、教科書中の『問い』を設定」すること、これら2つを評価の観点として採点基準に取り入れることとした。なお、こうした一連の採点については、まず筆頭著者が行い、次に理科教育学研究者1名(第5著者)と第2著者を加えた3名で協議を重ね、不一致点を全て解消した。

分析方法については、調査問題の難易度を検討するため、ラッシュ分析(WINSTEPS5.2.5.1)を用いることとした。ラッシュ分析とは、調査から得られた順序尺度の得点データを間隔尺度に変換し、ラッシュモデルに適合する場合、調査問題の難易度及び被験者の能力について信頼性及び妥当性をそれぞれ検討することができる手法のことである(静, 2007; 井澤・平越, 2011; 廣・内ノ倉, 2019)^(29,30,11)。近年、理科教育に関する研究においてラッシュ分析を用いた論文がいくつか報告されている(例えば、古屋, 2012; 中町・古屋, 2016; 内ノ倉・北原・下古立, 2018; 廣・内ノ倉, 2019など)^(31-33,11)。

表2 調査問題における採点基準

点数	採点基準	問1の解答例(原文のまま)
2	<ul style="list-style-type: none"> 必要な情報(変数)を抽出しているもの 抽出した情報(変数)の関係性(共通点や相違点などを含む)を基に、教科書中の「問い」を設定できているもの 	<ul style="list-style-type: none"> 土や砂のつぶの大きさによって、水のしみこみやすきはかわるのだろうか 土のつぶが大きいのと、小さいのとで土の水のたまり方はかわるのだろうか
1	<ul style="list-style-type: none"> 必要な情報(変数)を抽出しているもの 抽出した情報(変数)の関係性(共通点や相違点などを含む)を基に、教科書中の「問い」を設定できていないもの(「なぜ」という抽象的で直接的な追究が困難なものを除く) 	<ul style="list-style-type: none"> 水のたまりやすかった土と、あまりたまらなかった土には、どのようなちがいがあのだろうか 水のたまりやすかった場所の土と、あまりたまらなかった場所の土の持ちようは、どのようなことなのだろうか
0	<ul style="list-style-type: none"> 必要な情報(変数)を抽出していないもの 抽出した情報(変数)の関係性(共通点や相違点などを含む)を基に、教科書中の「問い」を設定できていないもの(「なぜ」という疑問詞を用いているもの) 	<ul style="list-style-type: none"> なぜ水がたまるのだろうか 土は場所によってかわるのだろうか

4. 結果と考察

4.1 各調査問題の妥当性及び信頼性

まず、各調査問題の妥当性を検討するため、モデル適合度の指標であるInFit及びOutFitの平方平均（MNSQ）に着目した。これが妥当な範囲（.50logit<MNSQ<1.50logit）にある場合、ラッシュモデルに適合するものと判断することができる（Boone, Staver & Yale, 2014）⁽³⁴⁾。問5, 8, 9が範囲外であった（表3）。残りの9問について再度算出したところ範囲内であった（表4）。次に、各調査問題の信頼性を検討するため、モデル適合度の指標の1つである標準誤差（Model Standard Error, 以降S.Eと表記）に着目した。S.Eは「 $2.5 \div \sqrt{N}$ 」で求めることができ、これよりも高い値は信頼性がないことを意味する（静, 2007；中町・古屋, 2016）^(29,32)。この式のNに本研究の調査対象人数である217を代入した結果、基準値.17を得た。この値と表4に示す各調査問題のS.Eを比較したところ、全て基準値よりも低い値であったことから、一定の信頼性が担保されたものと判断した。

以上のことから、12問中9問（問1, 2, 3, 4, 6, 7, 10, 11, 12）の信頼性及び妥当性が認められた。残りの3問（問5, 8, 9）については以降の分析から除外した。

表3 各調査問題の統計値（単位：logit）

	「問い」の種類	項目測定値	標準誤差	InFit	OutFit
問8	どのように+動詞 (how+動詞)	1.87	.23	1.81	1.92
問6	はい・いいえ (yes/no)	.80	.14	.79	1.14
問2	どのような+名詞 (how/what+名詞)	.73	.13	1.16	1.16
問11	はい・いいえ (yes/no)	.43	.12	1.29	1.18
問5	どのように+動詞 (how+動詞)	.29	.11	1.58	1.59
問10	どのように+動詞 (how+動詞)	.25	.11	.75	.68
問12	どのような+名詞 (how/what+名詞)	-.18	.10	1.14	1.18
問1	はい・いいえ (yes/no)	-.36	.10	.81	.93
問9	はい・いいえ (yes/no)	-.72	.09	.46	.54
問4	どのような+名詞 (how/what+名詞)	-.82	.09	.97	.95
問3	どのように+動詞 (how+動詞)	-.94	.09	1.18	1.13
問7	どのような+名詞 (how/what+名詞)	-1.36	.10	.87	.83
Mean		.00	.12	1.07	1.10
SD		.87	.04	.36	.36

表4 削除後の各調査問題の統計値（単位：logit）

	「問い」の種類	項目測定値	標準誤差	InFit	OutFit
問6	はい・いいえ (yes/no)	.98	.14	.76	1.12
問2	どのような+名詞 (how/what+名詞)	.91	.13	1.14	1.23
問11	はい・いいえ (yes/no)	.60	.12	1.24	1.11
問10	どのように+動詞 (how+動詞)	.43	.11	.75	.70
問12	どのような+名詞 (how/what+名詞)	-.01	.10	1.09	1.11
問1	はい・いいえ (yes/no)	-.20	.10	.84	.96
問4	どのような+名詞 (how/what+名詞)	-.68	.10	.99	.97
問3	どのように+動詞 (how+動詞)	-.80	.10	1.21	1.19
問7	どのような+名詞 (how/what+名詞)	-1.24	.10	.87	.86
Mean		.00	.11	.99	1.03
SD		.75	.02	.18	.16

4.2 調査問題全体の信頼性及び難易度

まず、調査問題全体の信頼性を検討するため、人物及び項目（問題）の分離指数と信頼係数を算出した。人物の分離指数は.98であり、信頼係数は.49であった。また、項目（問題）の分離指数は6.32であり、信頼係数は.98であった。これらの値の妥当な範囲（分離指数：人物>2.00, 項目>2.50, 信頼係数：人物・項目>.80）と比較したところ（Boone, Staver & Yale, 2014）⁽³⁴⁾、人物の分離指数と信頼係数は低い値であった。しかし、項目（問題）の分離

指数と信頼係数は上記の指標よりも高い値を示しており、廣・内ノ倉 (2019)⁽¹¹⁾を参考に、「問い」の生成調査問題として一定の信頼性があるものと判断した。

次に、調査問題全体の難易度を検討するため、児童の理解度（人的測定値）と調査問題の難易度（項目測定値）の推定値を示すライトマップを作成した（図1）。図1に示したライトマップは、図中の下方から上方にかけて、中央区切り線の左側では、理解度が高くなる順に、それに対応する児童の人数が、右側では、調査問題の難易度が高くなる順に、問題番号がそれぞれ布置されている（廣・内ノ倉, 2019)⁽¹¹⁾。また、図の中央区切り線の左右にあるM, S, Tは、人物と項目についてそれぞれの項目測定値の平均値、標準偏差、標準偏差の2倍の位置を示している（前田・古屋, 2013)⁽³⁵⁾。図1から、難易度の最も高い調査問題は問6、最も低い調査問題は問7であった。また、児童の理解度に着目すると、理解度の最も高い児童には問11が対応し、最も低い児童には対応している問題はなかった。

一方、調査問題の難易度に対応する項目測定値に着目すると、その平均が.00logit（標準偏差.75）であるのに対し、児童の理解度に対応する人的測定値の平均は-.92logit（標準偏差.98）と低い値を示した。また、この人的測定値の平均が9問中8問（問1, 2, 3, 4, 6, 10, 11, 12）の項目測定値よりも低い値を示したことから、児童の理解度よりも調査問題の難易度が高い、つまり、小学校理科教科書に掲載されている「問い」を生成することは難しいという実態が示唆された。この原因について検討するために、「問い」の種類の難易度、児童が立てた「問い」の傾向に着目した。

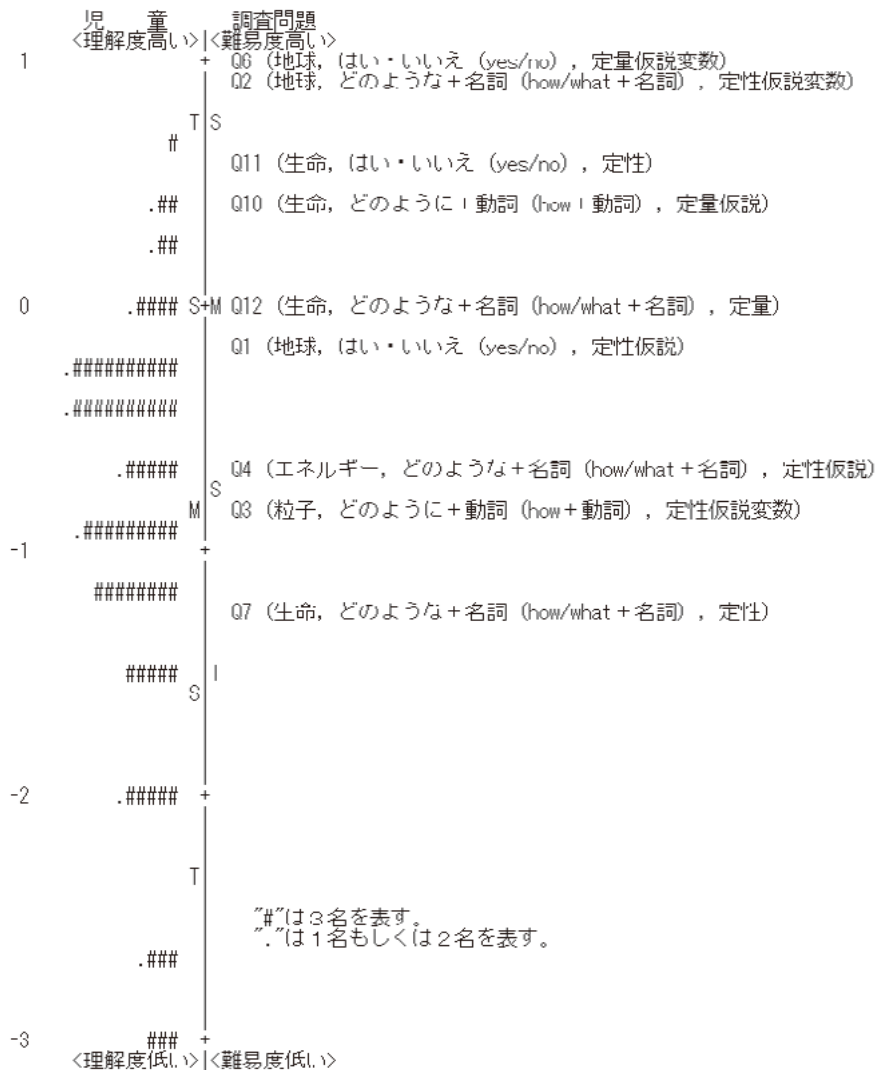


図1 児童の理解度と調査問題の難易度を示すライトマップ

4. 2. 1 「問い」の種類

本田ら (2022a)⁽²²⁾が分類を行った「問い」の種類ごとの項目測定値の平均値を算出した(表5)。「はい・いいえ (yes/no)」が.46logit, 「どのように+動詞 (how+動詞)」が-.19logit, 「どのような+名詞 (how/what+名詞)」が-.26logitであった。「はい・いいえ (yes/no)」の「問い」の難易度が一番高く, 「どのように+名詞 (how/what+名詞)」が低い結果となった。前者は, 肯定か否定かで答える二者択一的な「問い」であり(関根ら, 2012)⁽²⁰⁾, 明らかにしようとする事象について, 具体的な見通しや仮説のようなものを含んで立てられた「問い」である(中山ら, 2014)⁽¹⁸⁾。「はい・いいえ (yes/no)」の難易度が高かった要因として, 中山ら (2014)⁽¹⁸⁾が指摘するように, 児童が「問い」を生成する時点で観察・実験の結果や考察への見通しまで考えられていなかった可能性が挙げられる。

以上のことから, 児童が「はい・いいえ (yes/no)」の「問い」を生成するには, 「問い」を生成する時点で観察・実験の結果や考察への見通しを持たせたり, 仮説のようなものを設定させたりするといった指導法が効果的であると考えられる。

4. 2. 2 観察・実験の3観点との対応

山田ら (2021)⁽²⁶⁾の3観点(定性的・定量的, 仮説設定の有無, 変数制御の有無)に基づく調査問題の項目測定値の平均値を表6~8に示す。

表6から, 「定性的」が-.24logit, 「定量的」が.47logitとなり, 「定量的」な観察・実験に対応する「問い」が, 「定性的」な観察・実験に対応する「問い」よりも難易度が高いことが示された。「定量的」な観察・実験に対応する「問い」の難易度が高かった要因として, 原 (2003)⁽³⁶⁾は, 小学校から高等学校へ続く理科教育は, 自然の事物・現象の直感的・定性的の把握から論理的・定量的の理解へと進むとし, 理科教育の問題点を「小中学校教科書は, 図, 写真とイラストを駆使して書かれており極めて直感的・定性的であること」, 「自然現象の定性的の把握から定量的の理解へ至る過程の考え方・思考法を習得する教育が十分にされていないこと」と指摘している。

以上のことから, 児童が自然の事物・現象を直感的・定性的に捉えやすく, 「定量的」な「問い」を立てることは難しいと考えられる。山田ら (2021)⁽²⁶⁾は, 「定量的」な観察・実験の探究的な特徴として「事象の様子や性質, 変化の特徴を計測したり観察したりする」と述べていることから, 自然の事物・現象と出会ったときに, その様子や性質, 変化の特徴を単位のある数値などを使って定量的に捉えるようにしながら「問い」を立てさせる指導をすることで, 計測や観察への見通しを持てるようになると思われる。

また, 表7から, 「仮説設定あり」が.11logit, 「仮説設定なし」が-.22logitとなり, 「仮説設定」を含む観察・実験に対応する「問い」が, 「仮説設定」を含まない観察・実験に対応する「問い」よりも難易度が高いことが示された。さらに, 表8から, 「変数制御あり」が.36logit, 「変数制御なし」が-.18logitとなり, 「変数制御」を含む観察・実験に対応する「問い」が, 「変数制御」を含まない観察・実験に対応する「問い」よりも難易度が高いことが示された。「仮説設定」と「変数制御」を含む観察・実験に対応する「問い」の難易度がそれぞれ高い要因として, 山田ら (2021)⁽²⁶⁾は, 「仮説設定」や「変数制御」を含む観察・実験には, 仮説を立てて実験計画を立てるにあたり, 独立変数を制御し, 従属変数の変化を定性的(定量的)に捉えるといった特徴があると述べており, 「問い」を生成する際, 独立変数の制御を基に具体的な見通しや仮説のようなものまで考えられていない可能性が推察される。

仮説設定で重要となる「変数の同定」と「因果関係の認識」について, 山田・小林 (2014)⁽³⁷⁾は前者が後者に強い直接的影響を及ぼすことを明らかにしている。また, 児童自らが2変数(従属変数と独立変数)を抽出し, それらの因果関係を仮説として自分の言葉で文章化する指導法の効果がいくつか報告されている(例えば, 山田・寺田・長谷川・稲田・小林, 2014; 山田・小林, 2017など)^(38,39)。山田ら (2021)⁽²⁶⁾の知見に基づき, 「問い」を生成する際, 独立変数の制御を基に具体的な見通しや仮説のようなものまで考える必要があるとすれば, このような仮説設定に関する示唆は, 「問い」を立てさせる場面でも適用できるものと考えられる。

以上のことから, 児童が観察・実験の3観点と対応させた「問い」を生成するには, 次のような指導法が効果的であると考えられる。

- ・自然の事物・現象と出会ったときに, その様子や性質, 変化の特徴を単位のある数値などを使って定量的に捉えるようにしながら「問い」を立てさせること
- ・自然の事物・現象から, 児童自らが2変数(従属変数と独立変数)を抽出し, それらの因果関係を考えながら「問い」を立てさせること

表5 「問い」の種類ごとの項目測定値の平均値 (単位: logit)

「問い」の種類	問題	Mean
はい・いいえ (yes/no)	1, 6, 11	.46
どのように+動詞 (how+動詞)	3, 10	-.19
どのような+名詞 (how/what+名詞)	2, 4, 7, 12	-.26

表6 「定性的・定量的」における項目測定値の平均値 (単位: logit)

	問題	平均値
定性的	1, 2, 3, 4, 7, 11	-.24
定量的	6, 10, 12	.47

表7 「仮説設定の有無」における項目測定値の平均値 (単位: logit)

仮説設定	問題	平均値
あり	1, 2, 3, 4, 6, 10	.11
なし	7, 11, 12	-.22

表8 「変数制御の有無」における項目測定値の平均値 (単位: logit)

変数制御	問題	平均値
あり	2, 3, 6	.36
なし	1, 4, 7, 10, 11, 12	-.18

4. 2. 3 児童が立てた「問い」の傾向

児童が教科書中の「問い」を立てることが難しい原因を検討するために、調査問題の回答を本田ら (2022a)⁽²²⁾に基づき分類した (表9)。その理由として、吉田・川崎 (2020)⁽¹⁶⁾は小学生が仮説から「問い」へ変換できるのかを調査し、「なぜ (why)」の「問い」を設定した回答者が多いことを明らかにしている。また、その要因として、「なぜ」のままではその後の見通しが煩雑になる可能性があるため、「何が」や「どのように」という探究の方向性を焦点化することができる「問い」を設定しなければならないとし、児童には「問い」の形式に関する知識が乏しいとしている。本研究においても、「問い」を立てることが難しい実態が明らかになったことから、児童が「なぜ (why)」に分類される「問い」を立てる傾向にあるのか明らかにする必要があると考えたからである。

表4及び図1の結果から、難易度が高いとされた問2や問6において、「なぜ (why)」に分類された回答者数がそれぞれ54人 (25%)、87人 (40%)、難易度が低いとされた問3や問7では23人 (11%)、10人 (5%)であった。これらのことから、難易度が高いとされた調査問題では、「なぜ (why)」に分類される「問い」を生成する児童の割合が多いことが明らかとなった。これは、吉田・川崎 (2020)⁽¹⁶⁾の知見と符合する。

「令和4年度全国学力・学習状況調査報告書【小学校理科】」(国立教育政策研究所, 2022b)⁽⁴⁰⁾では、「なぜ (why)」という「問い」が表出された場合、児童が調べたいことに着目し、科学的に解決できる問題を設定できるようにすることが大切であり、適切な問題を設定する大切さや、問題を科学的に解決するよさなどを計画的に指導する必要性が指摘されている。また、小林 (2017)⁽⁴¹⁾は「なぜ (why)」という「問い」を、「何が (what)」や「どのように (how)」で始まる「問い」に作り変えさせる指導が必要であり、教師は児童に対して原因を挙げて説明させたいのか、原理・法則性・規則性に当てはめて説明させたいのか、それとも正体を述べて説明させたいのかを明確に意識して発問することが必要であるとしている。

以上のことから、児童から「なぜ (why)」に分類される「問い」が表出された場合、次のような指導法が必要であると考えられる。

- ・科学的に解決できる「問い」を設定することの大切さや、立てた「問い」を科学的に解決することのよさを計画的に指導すること
- ・「なぜ (why)」という「問い」を、「何が (what)」や「どのように (how)」で始まる「問い」に作り変えさせるとともに、その「問い」によって何に焦点化した問題解決をさせたいのかを明確にして指導すること

表9 調査問題の回答の分類 (N=217, 単位:人)

「問い」の種類	問1	問2	問3	問4	問6	問7	問10	問11	問12
はい・いいえ (yes/no)	36	53	18	60	53	105	35	64	62
どのように+動詞 (how+動詞)	22	32	142	31	11	34	80	32	6
どのような+名詞 (how/what+名詞)	60	56	3	70	31	50	51	59	78
どこ (where)	0	1	14	0	0	0	0	6	15
どの・どちらの (which)	19	0	0	0	1	0	6	5	0
何 (what)	38	11	2	24	11	2	8	9	10
なぜ (why)	33	54	23	17	87	10	20	29	10
いつ (when)	0	2	0	0	0	0	1	0	0
どうしたら (would手段)	0	1	7	2	1	1	0	0	20
どれくらいか (how量)	0	1	1	5	15	4	6	1	4
呼びかけ	2	2	3	4	2	5	3	3	6
その他	7	4	4	4	5	6	7	9	6

5. 研究のまとめと今後の課題

本研究の第一の目的は、第6学年児童が既習の理科の内容について、教科書中の「問い」をどの程度生成できるのか、その実態を明らかにするための調査問題の開発と評価であった。そのために、調査問題を12問開発し、第6学年児童235名を対象に調査を行うとともに、得られたデータについてラッシュ分析を用いて検討した。その結果、「はい・いいえ (yes/no)」が3問、「どのように+動詞 (how+動詞)」が2問、「どのような+名詞 (how/what+名詞)」が4問の計9問に信頼性及び妥当性が認められた。続いて第二の目的は、開発した調査問題をラッシュ分析によって検討した結果から、第6学年児童の「問い」の生成に関する実態を明らかにして指導法改善に向けた示唆を得ることであった。その結果、調査問題の難易度に対応する項目測定値の平均が.00logit (SD.75)であるのに対し、児童の理解度に対応する人的測定値の平均は-.92logit (SD.98)と低い値を示した。このことから、児童の理解度に対して調査問題の難易度が高いことが明らかになり、既習の理科の内容であったとしても、第6学年児童にとって教科書中の「問い」を生成することは難しいという実態が示唆された。この要因について検討し、「問い」の生成のための指導法改善に向けた示唆として、以下の5点が得られた。

- ・児童が「はい・いいえ (yes/no)」の「問い」を生成するには、「問い」を生成する時点で観察・実験の結果や考察への見通しを持たせたり、仮説のようなものを設定させたりすること
- ・自然の事物・現象と出会ったときに、その様子や性質、変化の特徴を単位のある数値などを使って定量的に捉えるようにしながら「問い」を立てさせること
- ・自然の事物・現象から児童自らが変数（従属変数と独立変数）を抽出し、その2変数の因果関係を考えながら「問い」を立てさせること
- ・科学的に解決できる「問い」を設定することの大切さや、立てた「問い」を科学的に解決することのよさを計画的に指導すること
- ・「なぜ (why)」という「問い」を、「何が (what)」や「どのように (how)」で始まる「問い」に作り変えさせるとともに、その「問い」によって何に焦点化した問題解決をさせたいのかを明確にして指導すること

一方、本研究で得られた知見は、9問の調査問題の分析結果に基づく限られたデータから解釈されたものであり、領域やその内容による影響を受けた可能性も考えられる。今後、さらに問題数を増やして調査を行い、本研究の妥当性について検討する必要がある。

注釈

(1)「探究の技能」とは、長谷川ら (2013)⁽⁴²⁾がプロセス・スキルズ (AAAS, 1963)⁽⁴³⁾を精選・統合し、日本の小中学校の理科教育に即した技能項目として開発したものである。長谷川ら (2013)⁽⁴²⁾は、この「探究の技能」に基づいて、2010年検定済小学校理科教科書に掲載されている全観察・実験を5群に類型化している。

(2)理科教育に関する学術論文において報告されている「問い」の定義の例を以下に示す。

- ・坂本ら (2016)⁽⁹⁾：設定すべき仮説や計画すべき観察・実験を方向付ける役割をもっており、科学的探究を進展させるために必要不可欠な要素であるもの

- ・廣・内ノ倉 (2018)⁽¹⁰⁾ : 科学的な方法を用いて探究を行うことができるもの
- ・河原井・宮本 (2021)⁽¹²⁾ : 原因性, 規則性, 相互関係性, 類似性・差異性の4要素のうち1つ以上の要素を含むもの
- ・吉田・川崎 (2019)⁽¹⁵⁾ : 疑問を探究の見通しを含む形にしたもの
- ・関根ら (2012)⁽²⁰⁾, 吉田ら (2012)⁽²¹⁾ 及び本田ら (2022a)⁽²²⁾ : 観察・実験の直前に記載されている疑問を持たせたり, 事象の変化に着目させたりすることを目的とした問いかけ

(3)本研究で用いた12個の「問い」の一覧表, 及び調査問題については, 以下のウェブサイト公開する。

<https://sites.google.com/juen.ac.jp/yamada-Lab/teaching-materials> (9.小学校理科における「問い」の生成)

附記

本研究の一部はJSPS科研費21K13660, 21K02484及び24K06410の助成を受けて行われた。また, 本論文は日本理科教育学会第72回全国大会(旭川大会)において発表した内容に, 新たな分析を加え大幅な加筆・修正を行ったものである。

引用文献

- (1)Chin, C., & Osborne, J. : Students' questions: a potential resource for teaching and learning science. *Studies in Science Education*, 44(1), pp.1-39, 2008.
- (2)Chin, C., & Brown, D. E. : Learning deeply in science: An analysis and reintegration of deep approaches in two case studies of Grade 8 students. *Research in Science Education*, 30(2), pp.173-197, 2000.
- (3)Chin, C., & Chia, L. G. : Problem-based learning: Using students' questions to drive knowledge construction. *Science Education*, 88, pp.707-727, 2004.
- (4)Cuccio-Schirripa, S., & Steiner, H. E. : Enhancement and analysis of science question level for middle school students. *Journal of Research in Science Teaching*, 37, pp.210-224, 2000.
- (5)柘磨昭孝 : 「生徒も教師も楽しめる問いづくりの実践 : 学びが変わる問いのフレームワーク」, 日本橋出版, pp.8-46, 2020.
- (6)Scardamalia, M., & Bereiter, C. : Text-based and knowledge-based questioning by children. *Cognition and Instruction*, 9, pp.177-199, 1992.
- (7)Chin, C., & Kayalvizhi, G. : Posing problems for open investigations: What questions do pupils ask? *Research in Science & Technological Education*, 20(2), pp.269-287, 2002.
- (8)Pedrosa de Jesus, H., Teixeira-Dias, J. J. C., & Watts, M. : Questions of chemistry. *International Journal of Science Education*, 25(8), pp.1015-1034, 2003.
- (9)坂本美紀・山口悦司・村山功・中新沙記子・山本智一・村津啓太・神山真一・稲垣成哲 : 「科学的な問いの生成を支援する理科授業－原理・法則に基づく問いの理解に着目して－」, *教育心理学研究*, 64(1), pp.105-117, 2016.
- (10)廣直哉・内ノ倉真吾 : 「理科授業における中学生の事象の観察から生成する疑問の特徴－物質の状態変化を事例にして－」, *鹿児島大学教育学部教育実践研究紀要*, 27, pp.41-50, 2018.
- (11)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－」, *理科教育学研究*, 60(1), pp.173-184, 2019.
- (12)河原井俊丞・宮本直樹 : 「中学校理科における科学的探究可能な『問い』の生成プロセス」, *理科教育学研究*, 61(3), pp.403-416, 2021.
- (13)Metz, K. E. : Children's understanding of scientific inquiry: Their conceptualization of uncertainty in investigations of their own design. *Cognition and Instruction*, 22, pp.219-290, 2004.
- (14)Black, P., Harrison, C., Lee, C., Marshall, B., & Wiliam, D. : Working inside the black box: Assessment for learning in the classroom. *Phi Delta Kappan*, 86(1), pp.8-21, 2002.
- (15)吉田美穂・川崎弘作 : 「科学的探究における疑問から問いへの変換する際の思考の順序性の解明に関する研究」, *理科教育学研究*, 60(1), pp.185-194, 2019.
- (16)吉田美穂・川崎弘作 : 「科学的探究における疑問から問いへの変換過程に関する小学生の実態」, *理科教育学研究*, 60(3), pp.675-685, 2020.
- (17)川崎弘作・吉田美穂 : 「科学的探究における疑問から問いへの変換過程に関する思考力育成のための学習指導」, *理科教育学研究*, 62(1), pp.83-94, 2021.
- (18)中山迅・猿田祐嗣・森智裕・渡邊俊和 : 「科学的探究の教育における望ましい『問い』のあり方－日本の中学校理科教科書における『問い』の出現場所と種類－」, *理科教育学研究*, 55(1), pp.47-57, 2014.
- (19)中山迅・猿田祐嗣 : 「小学校理科教科書における『問い』の現状と理科授業への示唆」, *理科教育学研究*, 56(1), pp.47-58, 2015.
- (20)関根幸子・長谷川直紀・田代直幸・五島政一・稲田結美・小林辰至 : 「中学校理科教科書に掲載された観察・実験の問いの類型化とその探究的特徴」, *日本科学教育学会研究会研究報告*, 27(6), pp.45-50, 2012.

- (21) 吉田裕・田代直幸・五島政一・稲田結美・小林辰至：「小学校理科教科書に掲載された観察・実験の問いの類型化とその探究的特徴」, 日本科学教育学会研究会研究報告, 27(6), pp.51-56, 2012.
- (22) 本田勇輝・山田健人・栗原淳一・山田貴之：「小学校理科教科書に記載されている『問い』の分類とその探究的な特徴－Y社の2010年と2019年の検定済教科書の比較を通して－」, 理科教育学研究, 63(2), pp.381-398, 2022a.
- (23) 山田健人・本田勇輝・木原義季・河本康介・山田貴之：「中学校理科の観察・実験における『問い』の分類とその特徴－Y社の2011年と2020年の検定済教科書を比較して－」, 理科教育学研究, 63(1), pp.189-204, 2022.
- (24) Pizzini, E. L., Shepardson, D. P. & Abell, S. K.: The questioning level of select middle school science text-books. *School Science and Mathematics*, 92(2), pp.74-79, 1992.
- (25) 本田勇輝・山田健人・田代直幸・栗原淳一・山田貴之：「観察・実験における『問い』の生成についての実態調査－Y社の2019年検定済小学校理科教科書に基づいて－」, 日本理科教育学会全国大会論文集, 20, p.279, 2022b.
- (26) 山田貴之・田代直幸・栗原淳一・小林辰至・松本隆行・木原義季・山田健人：「『探究の技能』に基づく観察・実験の類型化とその探究的特徴－小学校理科教科書の分析を通して－」, 理科教育学研究, 62(1), pp.339-354, 2021.
- (27) 中央教育審議会：「幼稚園, 小学校, 中学校, 高等学校及び特別支援学校の学習指導要領の改善及び必要な方策等について(答申)」, p.359, 2016.
- (28) 国立教育政策研究所：「令和4年度全国学力・学習状況調査解説資料【小学校理科】」, p.7, 2022a.
- (29) 静哲人：「基礎から深く理解するラッシュモデリング－反応理論とは似て非なる測定のパラダイム－」, 関西大学出版部, pp.287-300, 2007.
- (30) 井澤廣行・平越裕之：「項目応答分析Raschモデル精察－教育・心理測定順序尺度を使用する文科系研究者のための二値・多値・多項Raschモデルの理解とその適用分析法－」, 現代図書, pp.1-23, pp.51-80, 2011.
- (31) 古屋光一：「PCK(授業を前提とした教材の知識)を育成する教師教育プログラムの開発とその効果－『化学変化とイオン』を題材にして－」, 理科教育学研究, 53(1), pp.105-121, 2012.
- (32) 中町祥平・古屋光一：「中学校の理科学習におけるメタ認知, 自己効力, 学習過程についての研究－日本語版SEMLI-Sの開発及び因子分析・ラッシュモデルによる分析を用いて－」, 北海道教育大学紀要(教育科学編), 67(1), pp.265-275, 2016.
- (33) 内ノ倉真吾・北原深志・下古立浩：「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), pp.217-227, 2018.
- (34) Boone, W. J., Staver, J. R., & Yale, M. S.: *Rasch Analysis in the Human Science*. Dordrecht: Springer, 2014.
- (35) 前田恭兵・古屋光一：「ラッシュモデルによるFCI(力の概念調査問題)の有効性の検討」, 日本科学教育学会年会論文集, 37, pp.406-407, 2013.
- (36) 原俊雄：「包括的理科の創造：自然科学的思考法の習得－自然科学の言語としての数学－」, 物理教育, 51(4), pp.282-289, 2003.
- (37) 山田貴之・小林辰至：「小学生の理科における仮説設定能力に影響を及ぼす諸要因の因果モデル－第6学年の児童を対象とした質問紙調査の結果に基づいて－」, 理科教育学研究, 55(3), pp.351-361, 2014.
- (38) 山田貴之・寺田光宏・長谷川敦司・稲田結美・小林辰至：「児童自らに変数の同定と仮説設定を行わせる指導が現象を科学的に説明する能力の育成に与える効果－第6学年『ものの燃え方と空気』を事例として－」, 理科教育学研究, 55(2), pp.219-229, 2014.
- (39) 山田貴之・小林辰至：「児童自らに変数の同定と仮説設定を行わせる指導が『てこの規則性』に関する科学的知識の理解に与える効果－算数の反比例の知識に基づいて－」, 上越教育大学研究紀要, 36(2), pp.555-564, 2017.
- (40) 国立教育政策研究所：「令和4年度全国学力・学習状況調査報告書【小学校理科】」, p.45, 2022b.
- (41) 小林辰至：「探究する資質・能力を育む理科教育」, 大学教育出版, pp.19-25, 2017.
- (42) 長谷川直紀・吉田裕・関根幸子・田代直幸・五島政一・稲田結美・小林辰至：「小・中学校の理科教科書に掲載されている観察・実験の類型化とその探究的特徴－プロセス・スキルズを精選・統合して開発した『探究の技能』に基づいて－」, 理科教育学研究, 54(2), pp.225-247, 2013.
- (43) Commission on Science Education of the American Association for the Advancement of Science: *Science-A Process Approach Commentary for Teachers*, AAAS/XEROX Corporation, pp.7-8, 1963.

A Case Study on the Generation of Questions in Elementary School Science Textbooks:

Focusing on the Development and Evaluation of Survey Problems for Sixth-Grade Students

Yuuki HONDA* · Kento YAMADA** · Naoyuki TASHIRO***
Jun-ichi KURIHARA**** · Takayuki YAMADA*****

ABSTRACT

The first goal of this study was to develop and evaluate survey problems to better understand how sixth-grade students in elementary school can generate textbook-like “questions” about the science content they have studied. Therefore, 12 survey problems were developed and distributed to 235 sixth-grade students, and the data collected was examined using Rasch. As a result, nine problems were found to be reliable and valid: three “yes/no,” two “how + verb,” and four “what + noun” problems. The study’s second goal was to clarify the reality of sixth-grade students’ generation of “questions” and to obtain suggestions for improving the teaching method based on the findings of the Rasch analysis of the survey problems. The results showed that the mean of the item measures corresponding to the difficulty of the survey problems was .00logit (SD.75), whereas the mean of the human measures corresponding to the students’ comprehension was $-.92$ logit (SD.98), a low value. This indicates that the survey problems are difficult concerning the children’s level of understanding, implying that sixth graders may struggle to generate textbook-like questions even if they have learned the science content.

* Kamo Municipal Kamo Elementary School ** Saitama Municipal Misonokita Elementary School *** Tokoha University
**** Gunma University ***** Natural and Living Science