

科学史を活用した理科授業実践

—科学的知識の暫定性の理解に着目して—

嶋田 亘佑 ・ 龍岡 寛幸 ・ 本田 洗輔 ・ 磯崎 哲夫*

1. はじめに

Nature of Science (以下, NOS とする。)は, ある 1 つの定義によると, 「科学史, 社会学, 科学哲学を含む様々な科学社会研究の側面と, 心理学などの認知科学の研究を融合させ, 科学とは何か, 科学はどのように機能するか, 科学者が社会集団としてどう動くか, 社会自体が科学的営為をどのように方向づけ, 反応するかを豊かに記述する, 肥沃な複合領域である」(McComas *et al.*, 1998, p. 4) とされている。つまり, NOS は, 科学論による知見を基盤としている概念のことであり, その意味は立場により解釈される。科学教育の研究者の間では, NOS に関する見解は異なるが, 科学教育において NOS を学習する必要性はある程度合意が得られている (例えば, Driver *et al.*, 1996)。なお, NOS の指導方略は, 探究 (inquiry), 現代的な事例, 歴史的事例を文脈化するアプローチを採用することが推奨されている (例えば, Allchin *et al.*, 2014)。つまり, 理想的には, 先に示した 3 つのテーマを文脈として, それぞれの文脈で描き出される NOS の要素を補完的に学習し, より正確で包括的な NOS の理解を促すことが目指されている。

翻って, 日本の平成 29・30 年告示の学習指導要領理科編において, NOS を教授・学習することは明示されていない。しかしながら, 直近の国内の研究動向では, NOS についての研究がいくつか見られる (例えば, 志田ら, 2019)。大高 (2018) も NOS の内容を理科カリキュラムに位置づけることは, 今後の検討課題になると論じている。

以上のことを踏まえ, 本実践は, 理科授業でも NOS の指導が重要であるとする立場をとり, とりわけ, NOS の要素である「科学的知識の暫定性」(以降, 「暫定性」とする。)の理解を意図した理科授業の視座から, どのように科学史を取り入れた指導方略を理科授業で実施することができるかを検討した。

本実践において, 「暫定性」の理解を意図した科学史の活用を検討している理由は, 次の通りである。まず, 科学史を活用することについて, 科学史を理科教育の中で取り扱うことは決して新しくなく, 2023 年現在の教科書においてもコラムとして取り扱われていることが確認できる。例えば, 啓林館の『未来へ広がるサイエンス 1』(大矢ら, 2021) では, リンネやニュートンといった科学史上の人物が, コラム的に取り上げられている。なお, 本実践で取り上げたフロギストン説も, 『未来へ広がるサイエンス 2』(大矢ら, 2021) において取り上げられている。このような科学史の内容は, 理科で学習する科学的知識との関連があるため, 生徒の興味・関心の観点からも有用であると考えた。また, Allchin (2011) は, 科学の歴史を取り入れることでしか学習しえない NOS の要素があることを指摘し, その要素の 1 つに「暫定性」を挙げている。「暫定性」は, 「信頼性が高く耐久性があるものの, 決して絶対的で確実なものではない。」(例えば, Lederman *et al.*, 2002, p. 502) として定義されている。「暫定性」の理解については, これまで NOS の重要な学習目標の 1 つとされていた (例えば, Lederman, 2007)。加えて, 「暫定性」を理解することで, 学習者は科学的なニュース報道を科学的, 社会的, そして不確実性といった複数の観点から評価することができる (Leung, Wong & Yung, 2015)。つまり, 「暫定性」の理解は,

* 広島大学大学院人間社会科学研究所

将来の市民である生徒の学校教育終了後の生活の準備教育として不可欠であると言える（例えば, Driver *et al.*, 1996）。

2. 指導デザインについて

今回の授業実践では, 広島大学附属東雲中学校（以下, 本校とする。）の第 2 学年の化学的領域を対象とし, 科学史はフロギストン説を取り扱った。フロギストン説を取り上げることで, どのようにして科学的理論が転換するかという意味での「暫定性」を理解させることができると考える。科学の歴史において, 「火とは何か?」は古くから議論されており, 18 世紀に入ると, ものが燃える現象はフロギストン説によって説明されてきた。その後, ラボアジエの質量保存の法則によって, フロギストン説は棄却され, ラボアジエは精密な実験器具を用いることで, 新しい燃焼理論を確立した。このように, フロギストン説は科学的理論がどのようにして生成・棄却されるかを示す歴史的事例である。つまり, 生徒は, 実験から得られたデータから, ラボアジエが質量保存の法則に至るまでの過程を追体験することができる。

該当する単元は, 大単元「化学変化と原子・分子」の中の小単元の 1 つである「化学変化と質量の保存」において実施することにする。当該単元の目標は, 「化学変化の前後における物質の質量を測定する実験を行い, 反応物の質量の総和と生成物の質量の総和が等しいことを見いだして理解すること」（文部科学省, 2018, p. 50）である。

本実践では, 上記の単元目標を達成するために, 新たな試みとして, 本単元と関係する科学史を十分に取り入れた授業を行うクラス（実験群）といわゆる教科書の順序に従った従前的な指導をし, 科学史は最後のまとめとして取り入れて指導をするクラス（統制群）の 2 つに分けて実践を行った。これは, 実験群と統制群とでどのような違いが生じたのかを考察することを意図しているためである。それぞれの指導の流れの概略は表 1 に示すとおりである。なお, 実験群・統制群の学習目標・時間数は同じであり, それぞれの群の違いは, 科学史を主として用いた指導がどの時間に実施されているかである。実験群では, すべての時間で, 科学史を活用した学習を部分的に取り入れており, 「暫定性」についての理解を意図している。一方で, 統制群では, 科学史を活用した学習は, post テスト実施後の 4 時間目に取り入れている。

表 1 統制群・実験群の学習内容と活動

時間	統制群		実験群	
	学習内容	活動	学習内容	活動
1	○pre テスト ○質量保存の法則①	化学変化（燃焼）と質量について学習	○pre テスト ○フロギストン説①	「ものが燃える原因とは何か」に関する歴史的事例を学習
2	質量保存の法則②	化学変化（燃焼）と質量の関係に関する実験方法を立案し, 実験	○フロギストン説② ○質量保存の法則①	○フロギストン説の棄却理由を学習 ○化学変化（燃焼）と質量の関係に関する実験方法を立案
3	○質量保存の法則③ ○post テスト	2 時間目の内容を踏まえた上で, 質量保存の法則について学習	質量保存の法則②	○立案した実験をもとに, 実験 ○質量保存の法則について学習

4	フロギストン説について	○「ものが燃える原因とは何か」に関する歴史的事例を学習 ○フロギストン説をデータの正確性の観点から, 学習	○まとめ ○post テスト	フロギストン説をデータの正確性の観点から, 学習
---	-------------	--	-------------------	--------------------------

(筆者作成)

3. 授業実践の概要について

授業実践の概要を表 2 に示す。なお, 実施に当たっては本校から調査研究の許可を得ている。

表 2 授業実践の概要

時期：2022 年 8 月 25 日～9 月 1 日 (合計 4 時間) (実験群) 8/25 (4 時間目), 8/30 (2 時間目), 8/31 (6 時間目), 9/1 (1 時間目) (統制群) 8/25 (2 時間目), 8/30 (1 時間目), 8/31 (5 時間目), 9/1 (2 時間目) 対象：第 2 学年 2 クラス (79 名) (実験群は 39 人, 統制群は 40 人) 授業者：筆者 (本校における非常勤講師歴 2 年目)

(筆者作成)

なお, 在籍生徒数は, 実験群は 39 人, 統制群は 40 人であるが, 8/25 または 9/1 に欠席した生徒は欠損データとした。そのため, 実験群は, $n=32$, 統制群は, $n=31$ である。また, 8/25 の授業前に pre テストを実施し, 9/1 の授業後に post テストを実施した。生徒の記入時間はそれぞれ 35 分で設定した。

授業実践を行う前の 1 学期期末テストの結果から, 生徒の学力面の差があるかを測定した。各群の結果の概要を表 3 にしめす。等分散性のための Levene 検定を行ったところ, 有意確率が $> .05$ より ($p = .67$), 有意差は見られなかった。そのため, 「等分散を仮定する場合」の t 検定を行った。その結果, 実験群と統制群で有意差は見られなかった ($t = -1.42$, $df = 61$, $p = .16$)。よって, 実験群と統制群との間では, 生徒の学力面 (ここでは, 「知識・技能」と「思考力・判断力・表現力」を指す。) の差がないと判断した。

表 3 1 学期期末テストの結果の概要

クラス	N	平均値	標準偏差	平均値の標準誤差
実験群	32	63.74	20.00	3.573
統制群	31	56.38	21.23	3.752

(筆者作成)

4. 質問紙について

授業に科学史を導入することで、生徒の保持している「暫定性」の考えにどのような変化が起きるのかを調査する。質問紙の全体の構成としては、自由形式で大問 4 題構成である。本稿では、特に生徒の「暫定性」について分析している大問 3 に着目する。作成した問題は、表 4 に示すとおりである。なお、本調査問題の作成においては、認知心理学の専門家及び理科教育学の専門家（両者とも大学教授）と相談し、また理科教育を研究する博士課程前期の大学院生 2 名及び本校の理科教員と各項目の内容などを検討した。

表 4 試行的実践で使用した pre テスト・post テスト

Pre テスト	Post テスト
現在知られている科学的な知識は、将来変わることがあるだろうか。具体的な事例を用いて、あなたの考えを答えなさい。	科学的知識が発展・発達した後で、今後その知識は更新されることがあるだろうか。具体的な事例を用いて、あなたの考えを答えなさい。

(筆者作成)

本実践では、樋口 (2020) のテキストマイニングのアプローチである KH Coder を用いて分析した。KH Coder を用いた分析は次の通りである。まず、調査実施日の欠席者、及びそれぞれの設問に対する無回答者を除く作業を行った。大問 3 では、統制群の 31 人と実験群の 32 人の回答を得ることができた。次に、回収した自由記述を Excel ファイルの各行に 1 件ずつ入力し、KH Coder に読み込ませた。その後、文章の確認を行い、明らかな誤字・脱字などは修正した。また、分析ソフトの仕様上、自由記述中の文章に句読点の追加や、「→」を用いている記述は、句点、あるいは「そして」へ変更した。このほかに、「上と同じく」と示されているものは、前の回答に示されているものを転記した。加えて、「・」、「…」、「etc…」を用いている記述は句点へ変更、あるいは削除した。さらに、得られた自由記述を単語に分解し、全体的な傾向を確認した。その際、頻出語を集計し、共起ネットワークと階層的クラスター分析を描画した。共起ネットワークは、出現パターンの似通った語同士を線で結んだネットワークであり、階層的クラスター分析は、出現パターンの似通った語の組み合わせを探索することができる (樋口, 2020)。最後に、得られた結果をもとに、「暫定性」に対する考えが、指導を通じた介入によってそれぞれどのように変容したのか、探索的に分析した。その際の分析の視点として、①指導実践前の生徒の「暫定性」に対する考えは何か、また、どのような具体的な事例を示しているのか、②指導実践後の実験群の生徒の「暫定性」に対する考えはどのように変容しているのかについて分析した。そして、本実践は、試行的実践として位置づけているため、今回の調査結果を踏まえ、③質問紙の改善について検討する。

5. 分析の結果

5-1. pre テストの学習者の科学的知識の暫定性の考え及びその具体的な事例

本問題では、63 人の回答データを KH Coder に読み込ませたところ、115 の文、2350 個の総抽出語数、430 個の異なり語数が確認された。なお、「可能性」、「状態変化」、「実験器具」、「質量保存の法則」はそれぞれ一語とみなし、強制出力した。そして、回答記述の中から、多く出現した語は表 5 の通りであった。上位には、「思う」、「変わる」、「今」、「知識」、「科学」といった単語を確認することができた。

表 5 回答記述データから抽出した頻出語 91 語

抽出語	出現回数	抽出語	出現回数	抽出語	出現回数	抽出語	出現回数
思う	66	分かる	11	分子	6	見つかる	4
変わる	64	原子	9	違う	5	現在	4
今	33	周	7	丸い	5	使う	4
知識	18	発見	7	具体	5	時間	4
科学	17	実験	6	周り	5	新た	4
地球	16	正しい	6	常識	5	進歩	4
将来	14	昔	6	人	5	知れる	4
事例	11	知る	6	宇宙	4	変化	4
新しい	11	中心	6	技術	4		

(筆者作成)

(注：出現回数が 4 回以上の語を示している。)

図 1 に pre テストによる共起ネットワークを示す。図 1 は、pre テストによる統制群と実験群の指導を通じた介入前に生徒の保持している「暫定性」に対する考えがどのような単語と関連づけて回答しているのかを解釈することができるかとみなせる。また、図 2 は、階層的クラスタ分析の結果である。ここでは、出現パターンの似通った語の組み合わせを示している。

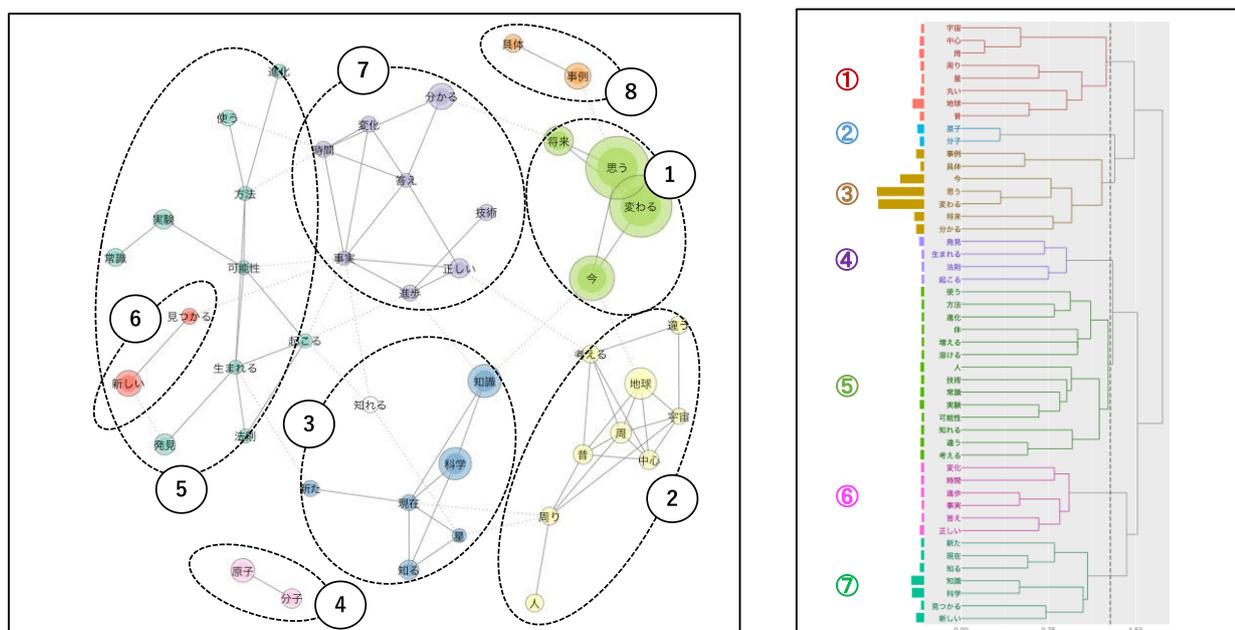


図 1 pre テストにおける統制群と実験群の共起ネットワークの結果 (左)

図 2 pre テストにおける統制群と実験群の階層的クラスタ分析の結果 (右)

まず、図 1 の結果、8 つのまとまりが検出された。KH Coder によって、極力筆者の予断を交えないよ

うに分析した。その結果,「問題に対する回答」(①と⑧),「天体に関する内容」(②),「科学のイメージに関する内容」(③),「原子・分子に関する内容」(④),「科学の進歩・発展に関する内容」(⑤・⑥・⑦)が含まれていた(表6)。図2の階層的クラスター分析の結果においても,共起ネットワークから整理された表6の分類と類似する結果を得ることができた。まず,①では,「天体に関する内容」が示されており,②では,「原子・分子に関する内容」が示されている。③では,「問題に対する回答」が示されており,④と⑥と⑦では,「科学の進歩・発展に関する内容」が示されている。⑤については,「科学のイメージに関する内容」と「科学の進歩・発展に関する内容」が示されている。

ただし,共起ネットワークは回答記述の全体的な傾向を示す分析手法である¹⁾ため,この4つの項目(「天体に関する内容」,「科学のイメージに関する内容」,「原子・分子に関する内容」,「科学の進歩・発展に関する内容」)以外の内容も確認することができた。それは,AI,コロナワクチン,ノーベル賞などであり,いずれの回答記述も時事的な科学的話題を具体的な事例として扱っているものが多かった。このことは,Clough(2006)が指摘するように,テレビや新聞紙などのメディア,インターネットなどで描かれる科学のイメージによって影響を受けている可能性がある。

表6 生徒の具体的な回答例

項目	回答例
天体に関する内容	<ul style="list-style-type: none"> ○ 「具体的な事例はほとんどみんな地球を中心に宇宙が周っていると思っていて今はそうではないとほとんどみんな思っていること。将来変わることはあると思う。」 ○ 「変わることはないと思う。例えば,地球は丸いか丸くないかとかで結局地球は丸いみたいな感じ。」 ○ 「昔は地球と周りの星の関係について『周りの星がまわっている』という知識があったが,今は『地球がまわっている』という知識に変わったという事例から,現在知られている科学的な知識は将来変わることがあると思う。」
科学のイメージに関する内容	<ul style="list-style-type: none"> ○ 「ある。毎日毎日天気も違うし,同じ日はないから,科学もずっと変わらないということはないと思うから。」 ○ 「変わると思う。現在もノーベル賞などで新たな事などが明かされているから。将来変わると思う。」
原子・分子に関する内容	<ul style="list-style-type: none"> ○ 「変わることがある。分子よりも小さい原子があることが分かった時みたいに,原子よりも小さいもの(?)が,将来見つかるかもしれないから。」 ○ 「分子と原子の物みたいにちゃんと調べたら『これって原子が何個かくっついてできているな』『これを分子と呼ぼう!』みたいなことがあると思うから変わることがある(後略)」 ○ 「近年,新たに元素?原子?が発見された。このように今までは正しかったことも新たな発見により変わることがあると思う。」
科学の進歩・発展に関する内容	<ul style="list-style-type: none"> ○ 「過去にも,天動説・地動説などが代表的であるが,文明の発達や天才と呼ばれる人たちの出現により,常識というのは国や時代によって変化し続けてきたから,今現在知られている科学的な知識がこれからも変化しない保証などどこにもない。」 ○ 「変わることがある。新しい法則などが見つかる場合があると思うから。」 ○ 「社会でも新しい文書やデータが見つければ,私たちが学んできた事実が変化してしまうことがある。今は無理でも科学が進歩し,新しいデータがでてくることで事実がくつがえることがあるかもしれない。」

(筆者作成)

(註: 明らかな誤字・脱字は筆者が修正した。)

5-2. 指導実践後の実験群の生徒の「暫定性」に対する考え

ここでは、実験群の生徒の「暫定性」に対する考えはどのように変容しているのかについて分析する。まず、実験群の分析結果と比較するため、統制群の共起ネットワーク（図3）と階層的クラスター分析（図4）の結果を示す。

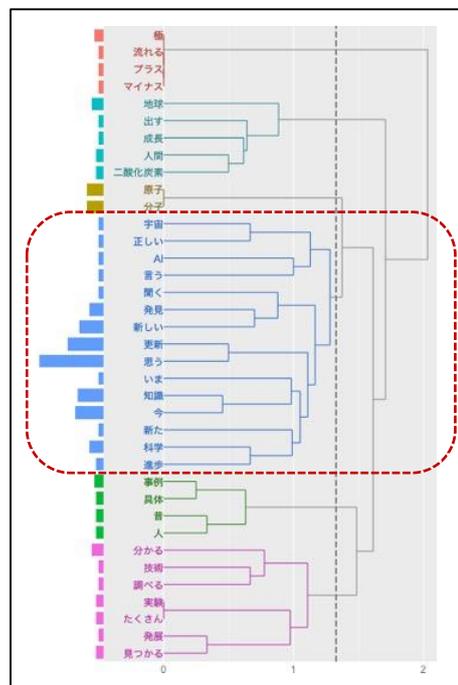
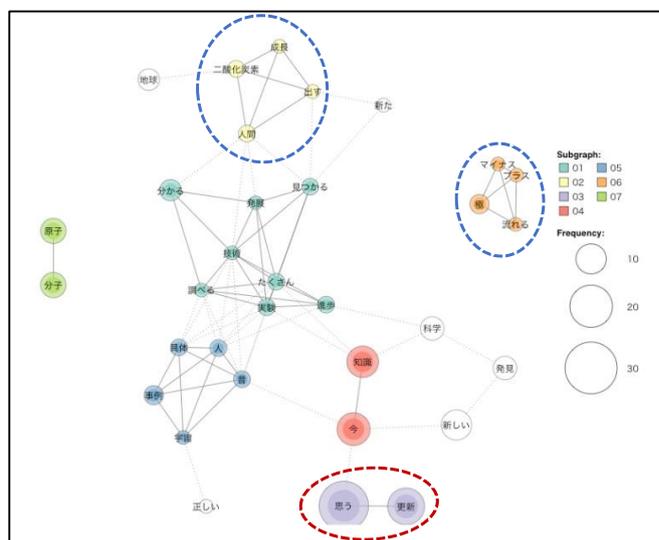


図3 post テストにおける統制群の共起ネットワークの結果（左）

図4 post テストにおける統制群の階層的クラスター分析の結果（右）

図3と図4の共起ネットワークと階層的クラスター分析の結果から、「更新」に着目すると、図3では、「更新」と線で結ばれているのは、「思う」のみであり（図3の赤枠点線）、図4において、単語「更新」と「思う」は、「新しい」「発見」「今」「知識」といった単語と組み合わせられて使用されている（赤枠点線）。図5の実験群の共起ネットワークの結果と比較すると、「更新」と線で結ばれている単語数は実験群の方が多く、それらは「フロギストン」、「知識」、「発達」といった単語と関連づけられている。つまり、実験群の一部の生徒は、科学が更新されることに対して、統制群の生徒に比べ、より多くの単語と関連づけているため、より多角的・多面的にみることができていると捉えることができる。

なお、統制群の post テストでは、電流の向きと電子の向きについての内容と地球温暖化と二酸化炭素についての内容と関連づけている内容（図3の青枠点線）が具体的事例として新たに確認できた。ただし、いずれの内容もそれぞれ1人の回答者によるものであり、同じ単語を複数回用いていたため、出現している。

次に、実験群の pre テスト・post テストにおいて多く登場した語は、表7の通りであった。

表 7 実験群の pre テスト・post テストの回答記述データから抽出した頻出語

	抽出語	出現回数	抽出語	出現回数	抽出語	出現回数
pre テスト	思う	35	将来	7	現在	4
	変わる	35	知る	6	考える	4
	今	23	事例	5	周り	4
	知識	13	常識	5	知れる	4
	科学	10	新しい	5		
	地球	10	昔	5		
post テスト	思う	22	今	6	変わる	5
	更新	20	発達	6	科学	4
	フロギストン	18	事例	5	考える	4
	知識	12	新しい	5	実験	4
	正しい	7	昔	5	説	4
	違う	6	発展	5	分かる	4

(筆者作成)

(註：出現回数が 4 回以上の語を示している。)

次に, pre テストと post テストにおける実験群の共起ネットワークの図を示す。前者は図 5, 後者は, 図 6 である。

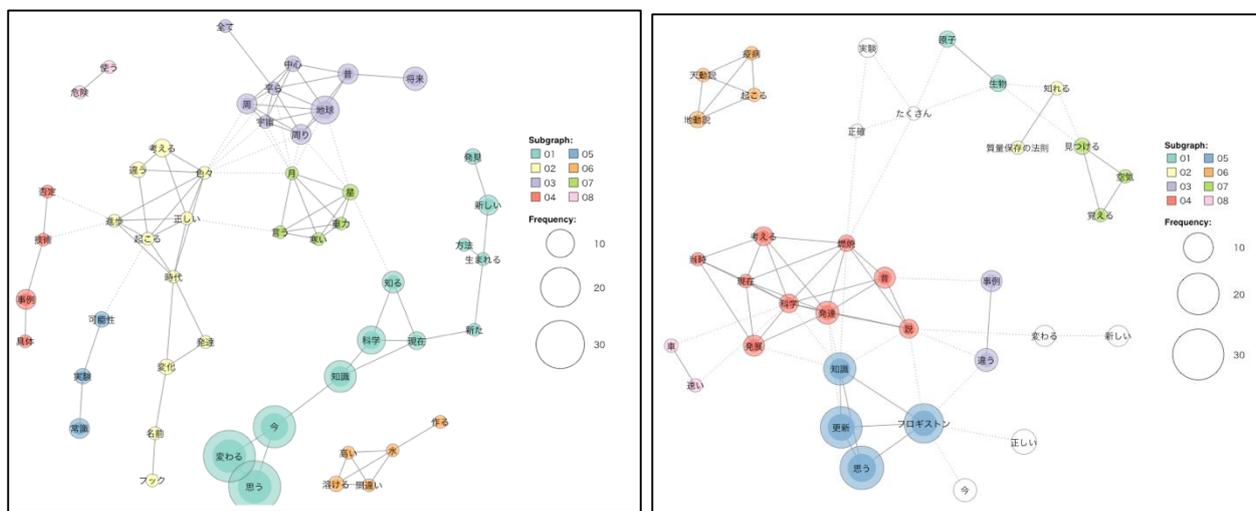


図 5 pre テストにおける実験群の共起ネットワークの結果 (左)

図 6 post テストにおける実験群の共起ネットワークの結果 (右)

そして, 図 7 に pre テストにおける実験群の階層的クラスター分析の結果を, 図 8 に post テストにおける実験群の階層的クラスター分析の結果を示す。

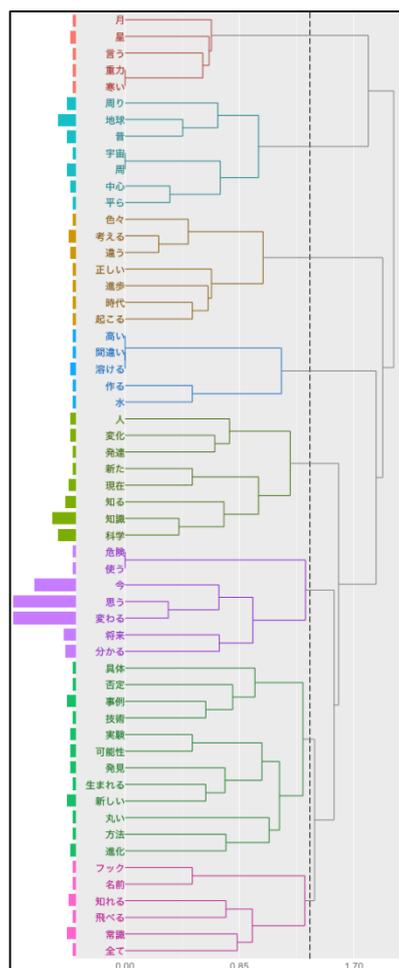


図7 pre テストにおける実験群の階層的クラスター分析の結果 (左)

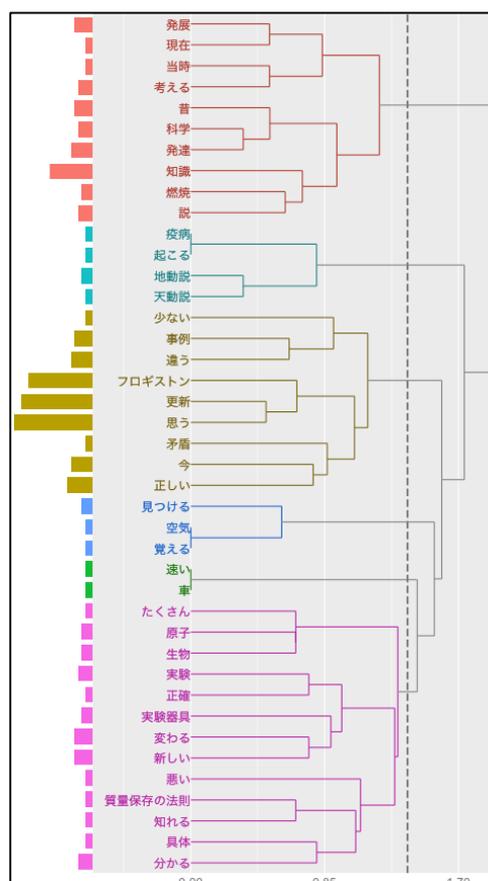


図8 post テストにおける実験群の階層的クラスター分析の結果 (右)

共起ネットワークと階層的クラスター分析の結果から、次のことが指摘できる。まず、単語に着目すると、「知識」、「科学」、「発達」は、pre テスト実施時点から post テスト実施時点で比べると、共起ネットワークの線の結びつきが増加している。例えば、「知識」では、pre テスト時点では、「科学」「現在」「今」といった単語と関連づけられているが、post テスト時点では、「科学」「発達」「発展」「説」「フロギストン」「更新」「思つ」といったより多くの単語と関連づけられている。この「知識」に関する具体的な回答記述として、pre テストにおいて「今までは当たり前だった知識も、今後、新しい違う知識として、誰かが考えるかもしれないから、変わることもあると思う。」と回答した生徒は、post テストでは、「例えば、昔はフロギストン説があって、それによって、燃焼したときのしくみが考えられていたけど、今ではその説はなくなっている。なので、科学的知識が発達すると、その知識が更新されることもあると思う。」と回答している。つまり、この生徒は、pre テスト時点では、科学的知識が暫定的であるように認識していると思われるが、具体的な事例と関連づけることができていなかった。しかし、post テストにおいては、本授業で扱ったフロギストン説を引き合いに、「暫定性」について明確に説明していた。

最後に、図6では、図5では出現しなかった「フロギストン」という語が出現している。この語に着目し、pre と post での生徒の回答記述の変化を見てみると、フロギストン説と「暫定性」について回答している生徒が 11 人いた。この結果から、指導を通じた介入によって、この生徒らは、フロギストン説を通して「暫定性」を理解することができたとみなせる。例えば、pre テストの「科学は、もう発達し

きっていると思うので, 将来様々な知識が変わることはないと思う。」という回答記述から, post の「フロギストン説のように実験することで, 知識が更新されることがある。(実験器具の発達などで)」という回答記述に変化し, 「暫定性」に対する考えが明確に変わっていることが確認できる。

また, 「暫定性」に関して, 広く知られていた知識であっても変化する可能性があるといった内容が確認できる。例えば, pre テストでは「あると思う。技術が進歩しているから。事例は分かりません。新しい発見で古いものが否定される的な。」という回答記述をしており, post テストでは「ある。フロギストン説が最初言われてて, でも今フロギストン説に矛盾点があるから。」という回答記述を確認できた。つまり, 新たな科学的発見や技術の進歩によって科学的知識が変化しているといった「暫定性」の理解に加えて, 既存の科学的知識の棄却・修正による「暫定性」の理解を促すことができた可能性がある。この他にも, pre テストでは具体的な事例を提示することができていなかったが, post テストでフロギストンを具体的な事例として提示している回答記述や, 「暫定性」が実験器具や技術の向上に起因しているとする回答記述が確認できる。なお, 図 7 と図 8 の階層的クラスター分析の結果からも, 指導を通じた介入によって, 「暫定性」を理解することができたこととみなせる。図 7 において, 紫色で示されている部分の単語「変わる」と「思う」は「今」, 「将来」, 「分かる」といった単語と組み合わせられて使用されているが, 図 8 において, 黄土色の部分の単語「更新」と「思う」は, 「フロギストン」「矛盾」「今」「正しい」といった単語と組み合わせられて使用されている。

5-3. 質問紙の改善に向けて

本実践を踏まえ, 質問紙の改善を検討する。ここでは, ①「暫定性」を用いる文脈, ②面接調査の必要性, について検討する。

①について, 暫定性に関する単語がどのような文脈で用いられているのかを再検討する必要がある。本調査問題の結果において, 「暫定性」は, 多様な単語で表現されていた。例えば, 「発達」, 「発展」, 「発見」, 「変わる」, 「更新」, 「見つかる」, 「生まれる」などの単語が「暫定性」に関連している。また, 指導を通じた介入がなくとも統制群の pre テスト及び post テストで自身の考えが変容している記述がわずかに確認された。その具体的な記述として, 「まず, 変わることはないと思う。」(pre テスト) という回答記述から, 「更新されると思う。世の中, どんどん新しいことが発見されていくから。」(post テスト) という回答記述が得られた。指導を通じた介入がないと「暫定性」に対する考えは同じであるとするならば, 質問紙の回答が妥当であるような表現を検討する必要がある。以上の本質問紙調査の結果から, 多くの生徒は「暫定性」を認識していることが示唆されたが, NOS が文脈的であること(例えば, Clough, 2008)を勘案すると, その意味しているところが違う可能性がある。例えば, 新たな発見によって科学的知識が増えるという意味での「暫定性」や, 既存の科学的知識が棄却・修正されるという意味での「暫定性」, そして, 対立する 2 つ以上の科学理論が存在している意味での「暫定性」などが考えられる。本質問紙調査の質問紙上で用いた単語とその文脈との関係を十分に考慮したとは言い難い。今後の更なる実践研究に向けて, 「暫定性」に関する概念規定の検討や質問紙上で用いる単語の選択とその文脈化を考慮した質問紙作成の必要がある。

そして, ②について, 一部の生徒の回答記述の意味しているところを解釈することができなかった。例えば, 表 8 に示すような記述である。生徒 A と生徒 B の回答記述によると, 科学を生業とする人たちにとっては科学的知識が変わることがあるが, それ以外の人たちにとっては, 科学的知識は変わらないとしている。ほかにも, 生徒 C の回答記述からは, 地球の形状に対する科学的な認識が変容した事例を提示しつつも, 科学的知識は暫定的ではないとの見解を示している。このような生徒たちの回答記述から, 本来の意図や「暫定性」について解釈する上での 1 つのアプローチとして, 面接調査が考えられる。面接調査を実施することで, 表 8 に示したような回答記述に対して, より詳細な解釈を加えることが可能になり, 直接表現されていない生徒の考えを探ることができると考える。

表8 pre テストの問3において解釈が困難であった回答記述例

	回答記述
生徒A	科学者や理科に関係あることをする人なら変わるかもしれないけど、それ以外の人は変わらないと思う。
生徒B	変わりはない。科学的な知識を使う職業につかなかつたら、変わらない。
生徒C	変わることはないと思う。例えば、地球は丸いか丸くないかとかで結局地球は丸いみたいな感じ。

(筆者作成)

6. おわりに

本実践では、post テストの結果より、実験群のクラスでは、11人の生徒がフロギストン説と「暫定性」について回答することができた。この生徒の中には、指導を通じた介入後に具体的な事例から「暫定性」を認識することができた生徒もいた。つまり、本実践を通して、実験群の一部の生徒は、科学史を取り扱うことを通して、「暫定性」の理解ができたと言える。藤垣(2021)は、人々の科学的知識の理解に関して、人々は科学的知識が暫定的であることを認識しているものの、「科学と社会との接点で起こる問題」(p. 108)²⁾ に対しては、その性質を念頭に置かなくなると説明している。この問題意識は、Allchin *et al.*, (2014) が提唱している科学史・現代的な事例・探究活動の文脈において NOS の理解を意図した指導法略によって、解消される可能性がある。その中でも、科学史の活用は、科学的知識の暫定性について理解する上で有用であり(例えば、Allchin, 2011), 本実践はその具体的な取組みである。

その一方で、指導方略・評価に関して改善すべき点がある。まず、授業時数が質問紙調査も含めて4時間であったため、「暫定性」の理解が限定的であった可能性がある。より時数を増やすことで「暫定性」に関して段階的に学習することが期待できる。例えば、本実践で取り上げたフロギストン説に関しては、「酸化・還元」の学習の際に提示し、その後の本小単元の学習で再度取り上げるような授業デザインなどが考えられる。そして、「暫定性」の意味するところが文脈によって異なる可能性について考慮する必要がある。これは、指導・評価のいずれにおいても重要である。Clough (2008) は、NOS を自然科学の知識とどのように関連づけるかによって、NOS の意味するところは異なるとしている。このことは、NOS を理解することを目的・目標とするのであれば、理科教育において科学史を取り扱うことで、期待できる NOS の学びは何であるのかを慎重に検討する必要があることを意味している。

【備考】

- 1) 共起ネットワーク上で登場する単語は、すべての記述回答の中で最低2回以上登場している単語が円形で出現する。
- 2) 藤垣(2021)によると、その具体として、水俣病や新型コロナウイルスの事例を提示している。

【附記】

本稿は、広島大学大学院教育学研究科修士論文(2022年度)の研究成果の一部である。

【引用・参考文献】

- McComas, W. F., Clough, M. P., & Almazroa, H. (1998). The role and character of the nature of science in science education. In W. F. McComas (Ed.), *The nature of science in science education: Rationales and strategies* (pp. 3-39). Kluwer Academic Publishers.
- Driver, R., Leach, J., Millar, R., & Scott, P. (1996). *Young people's images of science*. Open University Press.
- Allchin, D., Andersen, H. M., & Nielsen, K. (2014). Complementary approaches to teaching nature of science: Integrating student inquiry, historical cases, and contemporary cases in classroom practice. *Science Education*, 98(3), 461-486.

- 志田正訓・野添生・磯崎哲夫 (2019) 「『科学の本質』(Nature of Science)を取り入れた小学校理科カリキュラムに関する研究—イギリスのナショナル・カリキュラム科学の事例を通して—」『理科教育学研究』第 60 巻, 第 1 号, 133-142.
- 大高泉 (2018) 「グローバル化と科学教育—現状・課題・展望—」『科学教育研究』第 42 巻, 第 2 号, 55-64.
- 大矢禎一ほか 145 名 (2021) 『未来へひろがるサイエンス 1』啓林館.
- 大矢禎一ほか 145 名 (2021) 『未来へひろがるサイエンス 2』啓林館.
- Allchin, D. (2011). Evaluating knowledge of the nature of (whole) science. *Science Education*, 95(3), 518-542.
- Lederman, N. G. (2007). Nature of science: Past, present, and future. In S. K. Abel & N. G. Lederman (Eds.), *Handbook of research on science education* (pp. 831-879). New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Lederman, N. G., Abd-El-Khalick, F., Bell, R. L., & Schwartz, R. S. (2002). Views of nature of science questionnaire: Toward valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(6), 497-521.
- Leung, J. S. C., Wong, A. S. L., & Yung, B. H. W. (2015). Understandings of nature of science and multiple perspective evaluation of science news by non-science majors. *Science & Education*, 24(7), 887-912.
- 文部科学省 (2018) 『中学校学習指導要領(平成 29 年告示)解説 理科編』学校図書.
- 樋口耕一 (2020) 『社会調査のための計量テキスト分析内容分析の継承と発展を目指して 第 2 版』ナカニシヤ出版.
- Clough, M. P. (2006). Learners' responses to the demands of conceptual change: Considerations for effective nature of science instruction. *Science & Education*, 15, 463-494.
- Clough, M. P. (2008). Teaching the nature of science to secondary and post-secondary students: Questions rather than tenets. *California Journal of Science Education*, 8(2), 31-40.
- 藤垣裕子 (2021) 「作動中の科学と科学的助言—時間軸と責任境界をめぐって」『研究技術計画』第 36 巻, 第 2 号, 108-115.