課題解決的な活動を取り入れた理科授業実践の開発研究
― 科学的な思考のうち「仮説生成」「仮説吟味」の段階に着目した授業実践から ―

宗像　恵太（日本科学未来館）

本研究は、筆者が教職大学院在籍中（2010 年～2012 年）に取り組んだ課題研究を再編したものである。当時の研究を捉えなおし（0.本研究の再考）、続いて当時の研究を記載し（1.研究の背景～5.成果と課題）、加えて大学院修了後に勤務校で実践した際の改善案を報告し今後の発展性を考察する（6.勤務校での実践報告と今後の発展性）。

0．本研究の再考

筆者がこの課題研究に取り組んだ頃の学習指導要領（2008 年公示）では、21 世紀を知識基盤社会化やグローバル化に伴う変化の激しい時代であるとし、「自ら学び自ら考える力」など「生きる力」の育成を重視していた。10 年後の現在は、新たな科学技術の急速な進展や、世界各地で顕在化する気候変動、世界人口の増加など、まさに見通しのきかない変化の激しい社会であり、このような社会に対応する力は以前と変わらず今後も求められる。

どのような力が求められるのか。各国が 21 世紀型のコンピテンシーとして育成を目指す能力を整理すると、「基礎的リテラシー」「認知スキル」「社会スキル」に概ね分類されるという [1)]。すなわち、「知識」のみならず「思考の方法」などのより高次な認知スキルがそこには含まれている。これは日本でも同様であり、2016 年の中教審答申では、育成すべき資質・能力を「知識・技能」「思考力・判断力・表現力等」「学びに向かう力・人間性等」の 3 点に整理し、特に思考力等では、「新たな情報と既存の知識を組み合わせて考えを形成する思考」などを求めている [2)]。このように、教科で扱う内容を理解するとともに、教科の学習を通して認知スキルを育む教育が重要であると考える。

理科で求める資質能力に目を向けてみる。PISA2015 では、科学が関わる社会課題の議論に若者が参加し選択を行う上で必要な能力として科学的リテラシーが調査されている。そこでは、「現象を科学的に説明する」能力として「知識を適用する」「説明的仮説を生み出す」「起こり得る変化を予測する」ことなどが求められている [3)]。また、新学習指導要領でも「科学的に探求する力」の育成を求めており、「既知の知識を活用する力」「検証可能な仮説を設定する力」「仮説の妥当性を検討する力」などが含まれている [4)]。本研究で焦点を当てた科学的な思考（特に仮説生成、仮説吟味の段階）はこれら資質能力に関わると考える。

ではどのような理科の学習活動によりこれらの資質能力を身につけるのか。新学習指導要領では、科学的に探求する学習活動を重視している。自然の事物現象から仮説を設定する、他者との議論を通して自身の考えをより妥当なものにする、知識をつなげて科学的な概念を形成するなどの視点から「主体的・対話的で深い学び」の実現を求めている [4)]。本研究で実践した課題解決的な学習活動は、科学の本質に迫る問いに対して、生徒が自身で立案した予想をもとに他者と議論し、実験や観察の結果から科学的な概念を形成していく学習活動であり、今後も期待される学習方法のひとつであると考える。

以下、筆者が教職大学院在籍中（2010 年～2012 年）に取り組んだ課題研究を記す（p.34-42）。

１．研究の背景

変化の激しい社会をよりよく生きるために求められる資質や能力のひとつに問題解決能力がある。これは、文部科学省が掲げる「生きる力」はもちろん、その他経済先進国の教育目標にも共通して含まれている能力である[5)]。そして、各教科の学習を踏まえた上で、「総合的な学習の時間」における探求活動により身に付ける[6)]としているこの問題解決能力のために、科学的な思考を学ぶことは重要であると考える。それは，問題解決過程及び科学的な思考が、共に Dewey, J. (1950) の反省的思考と関連があり、問題解決の中で見られる一連の思考を科学的な思考としている主張もあるからだ[7)8)]。

すなわち、①問題発見②問題明確化③仮説生成④仮説吟味⑤仮説検証という側面である[9)]。「総合的な学習の時間」が問題解決能力につながり得るものとなるためにも、上述した５つの側面を意識した科学的な思考について、教科理科で学習することは意義がある。

ここで、科学的な思考のうち、「仮説生成」「仮説吟味」の段階に着目したい。問題解決の過程において、わからない事に対して確からしい予想を立てて吟味していくことは重要である。「生きる力」を掲げる文部科学省が、学力の観点として特に求めている「自ら学び自ら考える力」にも深く繋がると筆者は考える。また、仮説（予想）について考える活動は、創造性のもっとも必要な過程であり、自然の探究活動をさせる際に最も重視されなければならないとの主張[10)]もあり、これらの段階の重要性が伺える。

予想を立てる段階を重視する学習は、適切な科学的概念形成においても重要な意味を持つと考える。子どもたちの概念や理解をめぐって、「自分本来の考えと、テストに答えるための考えが別に存在する」「学習したことを日常的な場面で活用できない」など、科学的概念の形成が十分でない実態が指摘されている。その克服には、子どもたちが有する素朴概念（科学的に精緻化していない既有の知識や考え）の存在を理解し、それをもとに科学的概念を形成していく構成主義的なアプローチが有効とされている[11, 12)]。筆者が重要視する「仮説生成」「仮説吟味」の段階では、子どもに自身の素朴概念の活用を要求することとなり、科学的概念の形成においても意味があると考える。加えて、筆者の創成研修校の授業では、実験を作業的にこなし､結果を考察する場面になって｢この実験って何のためにやったの｣と発言する生徒も見受けられ、これらの段階を重視する必要性が改めて伺える。

では、どのようにして理科の学習の中で仮説を生成し吟味する力を育むのか。板倉(1963)、玉田ら(1975)の実践にみられる課題解決的な学習に注目したい。これらは科学の本質的な概念を生徒に獲得させることを意図した手法であり、端的に言えば、①教師が問いを提示する②生徒が予想を立てる③討論を行う④再度予想を立てる⑤実験によって検証する⑥わかったことをまとめるという展開を、単元の中で必要に応じて行う学習方法である。授業展開自体が課題解決的な学習になっており､「予想を立てる」､「討論をして再度予想を立てる」という活動がそれぞれ「仮説生成」「仮説吟味」に関わるため、有効だと考えた。

ここで、実践する課題解決的な学習が、単にその学習方式をとることが目的となり、生徒の内容理解を無視したものとならないよう注意する必要がある。1969 年の中学校学習指導要領理科において「科学の方法」を重視したことがあったが、学習内容と乖離し形骸化した「科学の方法」の指導により、理科嫌いを助長した[13)]などの反省もあるからだ。また、科学的な思考力と科学的概念形成は切り離して考えるべきではないとの捉え方もある[14)]。

課題解決的な学習自体が目的となり中身の乏しいものとならぬよう、生徒の実態に即して、自然科学に対する興味関心の醸成や適切な科学的概念形成にも寄与する学習となるよう授業設計に留意する必要がある。

以上より、現在求められている資質や能力（問題解決能力）と深く結び付く「科学的な思考力」育成のために、かねてより行われてきた（板倉、玉田ら）「課題解決的な学習」を再評価し、特に「考えを生成する段階」「考えを吟味する段階」に焦点を当て、生徒の科学的な思考がどのように変容するのか実践的に検証しようとするのが本研究である。なお，本研究では以下の語句を先行研究も踏まえ次のように捉える。

・予想｜課題の答えとしてもっともらしいと推測した考え　仮説に至らない稚拙な考え
・仮説｜予想のうち①法則性や一般性の伴った②検証可能な形となったより高次な予想
・仮説生成｜保有している情報（既有知識、生活経験、素朴概念）をもとに、課題のもっともらしい答えとして出来る限り高次な予想（仮説）になるよう考えを練りだし生成すること
・仮説生成力｜上記のような仮説生成を行う力
＊このような質的な捉え方をした実践は少ない
・仮説吟味｜新たに得た情報（他者の主張の中にある科学的知見、経験、捉え方）と自らの考えとをすり合わせ最もらしい答えを再び熟考し、より高次な予想となるよう考えを吟味すること
・仮説吟味力｜上記のような仮説吟味を行う力
＊このような質的な捉え方をした実践は少ない

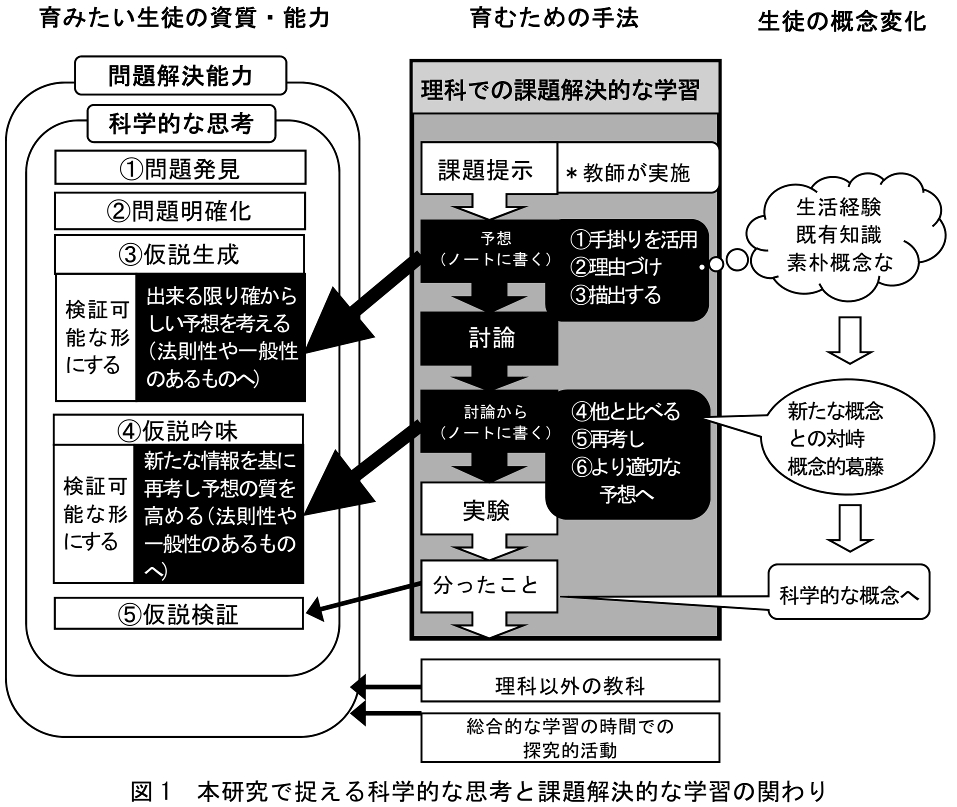


図１　本研究で捉える科学的な思考と課題解決的な学習の関わり
（黒色部：本研究で焦点を当てる領域）

２．研究の目的

生徒が課題解決的な学習（課題の提示→予想の立案→討論活動→検証実験）に取り組むことで、仮説生成、仮説吟味の段階にどのような変容が見られるのか検証することを目的とする。創成研修における授業実践を研究対象とする筆者の立場から、課題解決的な学習を行うクラスと行わないクラスとの比較ではなく、目の前の生徒の変容を細かく捉える事に主眼を置く。

３．研究の経過①（研究の方法）

３−１　研究の手順

① 討論ができ得る課題をいくつか検討し、それらを用いた課題解決的な学習を意図的に配列した（4 時間）単元指導計画を作成する。

② 仮説生成、吟味の捉え方に関する質問紙調査（学習実施前）を行う。

③ 学習を実施する（8 月～1 月）。このとき、特に課題解決的な授業時におけるノート記述や発言を記録しておく。

④ 先行研究や生徒の実態を加味しながら「仮説生成力」「仮説吟味力」を測るルーブリックを作成する。

⑤ 質問調査（学習実施後）を実施する。

⑥ 作成したルーブリックにより「仮説生成力」「仮説吟味力」を、質問紙への回答より仮説生成や吟味の捉え方を分析する。

３−２　研究の対象

３−２−１　検証授業実践対象（学年および単元）

創成研修校(公立中学校）第 1 学年 A 組(29 名)、B 組(29 名)を対象に検証授業を行わせていただいた。対象単元は、1 分野第 1 単元「身近な物理現象—圧力—」および第 2 単元「身の回りの物質—状態変化—」である。これらの単元を対象とした理由は、生徒が素朴概念を持ちやすい内容であり、多様な考えの出てくる活発な討論が行える内容に「粒子」という共通した概念を含むため、科学的な概念との関わりを得やすいと考えたためである。

単元指導計画を簡略化し表 1、2 に示す。また、実践する課題解決的な授業を形骸化させないために、筆者が意図的に行った手立ての例を表 3 に示す。

表 1　「身近な物理現象—圧力—」単元指導計画（抄）

時	内容　　（実施期間：2011.8～2011.11）
①	課題：4 つの紙コップの上に人が乗ることは出来るか。　（以下[紙コップ]）
②	圧力の求め方について。
③	課題：注射器の中にスチロール片を入れ、先を押さえて押すと中のスチロール片はどうなるか。　（以下[スチロール]）
④	空気中に存在する粒子、大気圧の性質について。
⑤	課題：注射器の中に水と気泡を入れ、先を押さえて押すと中の気泡はどうなるか。　（以下[気泡]）
⑥	水中の粒子、水圧の性質、浮力について。
⑦	課題：カップ麺の容器を深海 2000m のところに持っていくとどうなるか。　（以下[カップ麺]）

表 2　「身の回りの物質―状態変化―」単元指導計画（抄）

時	内容　　（実施期間：2011. 11～2012. 1）
①	課題：エタノールの入った風船に 90℃のお湯をかけると風船はどうなるか。　（以下[エタノール]）
②	液体⇄気体の状態変化、沸点、粒子の様子について。
③	課題：気体であるブタンを液体にすることは出来るか。　（以下[ブタン]）
④	課題：固体である鉛を液体にすることは出来るか。　（以下[鉛]）
⑤	固体⇄液体の状態変化、融点、粒子の様子について。
⑥	課題：液体のロウと固体のロウで質量は変わるか。　（以下[ロウ]）
⑦	状態変化と質量，体積について。

表 3　形骸化させないために教師が意図的に行った手立て（例）

【課題の作成と配列を綿密に検討】→ 課題は、「本質的な科学概念とつながる」「考えてみようと思える」「生活経験等も含め考える根拠がもてる」「多様な考えが出てくる」「具体的な聞き方をした」「生徒の力で解き得る」を満たすものを作成し、それらを、「これまでの学習を使って解けるように」、「科学的概念の獲得に近づけるように」配列した。	主に学習意欲、科学的な概念獲得のため。
【予想として「わからない」、「なんとなく～」もアリ】→ 生徒にとって予想を立てることは難しいことだと筆者は考える。生徒には「始めから科学的に正しい予想を立てられなくていいよ」と伝え、「わからない」「なんとなく」等もそれはそれとして尊重した。	主に学習意欲、雰囲気づくりのため。
【ノート指導（ノートへのコメント、いいノート紹介）】→ 1 単元に 2 回ほどノートを提出させ書き方に関してコメントした。返却時に良く書けているノートを 3 名分ほど紹介し書き方の視点を与えた。	主に思考や表現を促すため。
【図式化を促す】→ 「言葉で難しかったら図に表していいよ（ノート記入時）」「黒板使っていいから図を書いて説明してあげて（討論時）」などと、考えをモデル化することを促した。	主に思考や表現を促すため。
【討論における教師の言葉かけ】→ 「いまの分かった？」「みんなもそういう経験ある？」「ノートに書いてあることでいいから話してあげて」「これに関連してどう？」などの言葉かけを必要に応じて行った。	主に雰囲気づくりのため。
【討論の運営】→ 討論がやみくもなものにならないよう「議論の中心にしたい論点を事前に決めておく」「予想立案時は座席表をもって生徒全員の予想をメモする」「論点に迫るために必要な意見を意識的に拾い議論にあげる」などを行い、討論を適切に運営した。	主に科学的な概念獲得のため。

3－2－2　「仮説生成力」、「仮説吟味力」　―ルーブリックより―

「仮説生成力」「仮説吟味力」の変容は、生徒がノートに記載した内容より見取る。授業の中で「予想」「討論から」として書かれた内容がそれぞれ「仮説生成力」「仮説吟味力」に当たると判断し、その記載内容を、作成したルーブリック（表 4、表 5）により点数化した。実施した課題を 3 つのレベルに分け、ルーブリックにより算出した平均点が学習の進行に伴い変化するか見る。なお、ルーブリックは筆者以外に、理科教員 2 名（国立大学法人附属中学校理科教諭、創成研修校理科教諭）及び理科教育に精通している教授 1 名の協力を頂き作成した。また、授業中に生徒が発言する様子を録画しておき、ノートに記述された内容だけではその生徒の考えを理解できない場合の補填材料とした。なお、科学的思考力を測る指標としていくつかのペーパーテストが開発されているが、やや形式的な部分に注視しており本研究における捉え方と相違があると判断し、ルーブリックによる手法を用いた。作成したルーブリックは以下の通りである。

表4 「仮説生成力」ルーブリック （3観点の合計で算出）

思考の順序	観点＼得点	1	2	3	合計
①手掛りを活用し	活用性	少	科学的知見の使用	多	／9
		生活経験や 既有知識(特に小学校段階)を を手がかりにしている。	手がかりに 既有知識(特に前時までの学習事項)や 3には至らないが一般的な理屈等が 含まれている。	手がかりに 科学的な法則や概念、一般的な理屈等が 含まれている。	
		例 よく寒い日は窓が曇って･･･ テレビで見たから･･･	例 前回の実験で〇〇となったから それを踏まえると････	例 一般に物質には沸点があり、その温度を 超えると状態が変化し気体になるから･･･	
②理由づけ	論理性	少	「だから」の数	多	
		不十分	条件整理、話の筋道	十分	
		「…だから」と理由を述べているが、一言の事実を基に単調に述べている。	複数の理由を用いるなど、1より多面的である。しかし、3に至るほど一般化されていない。	理由を直接的に用いるのではなく条件整理をしている。もしくは、より一般化された理由づけをして話の筋道を立てている	
		例 水ごと圧縮されるから	例 〇〇だから。また、△△だから。	例 前回は〇〇であったが今回は△△なので… それは注射器に限った事ではなく･･･	
③描出する	描出性	少	記述の量	多	
		少	図などの使用	多	
		予想が書けている。 どのようにしてそうなるか具体的に記述していない	3には至らないが、予想した結果となるまでのメカニズムを説明している。 もしくは、図を使ったり、計算式を書いたりして自分なりの考えを説明している。	2に含まれる2つの要素を共に満たしている。 もしくは、ミクロな視点や抽象的な考え等を踏まえ、予想した結果となるまでのメカニズムを詳しく説明している。	
		例 たぶん〇〇になる	例 ～となって･･･となるから。 or 図	例 ～となって･･･となるから。＋ 図	

表5 「仮説吟味の力」ルーブリック （3観点の合計で算出）

思考の順序	観点＼得点	1	2	3	合計
①他と比べ	参考・比較性	少	参考・比較した人数	多	／9
		ナシ	具体的内容との比較	アリ	
		他者の意見を参考にした様子がある。	他者の意見に対し、自分なりの評価(善し悪し)を行いながら参考や比較をしている。	2を複数名に対し行っている。もしくは、 他者の意見の具体的な内容と比較している。	
		例 「違う予想」などとして表記 他者の発言にある語句を使用	例 〇〇さんの考えが良いと思う。	例 〇〇さんの～という意見が･･･	
②考えを組立て	論理性	不十分	話の筋道、自他の予想の評価	十分	
		少	「だから」の数	多	
		「…だから」と記述しているものの新たな情報を踏まえておらず単調である。	他者の意見を考慮したうえでもう一度予想と理由を組み立てている。	他者の意見と自分の意見を客観的に評価していながら論理的に述べている。	
		例 はじめと変わらない	例 〇〇という考えも当てはまるからやはり･･･	例 〇〇という意見があったが･･･なので～もし･･	
③より適切な予想に	適切性	不適切	科学的な説明	適切	
		記述しているものの、予想理由ともに結果として得られる適切なものから離れている。	予想もしくは理由のどちらかが適切である。 もしくは、3に至らない。	討論を踏まえて、後の結果として得られる正しい予想とその理由を記述している。	

3－2－3　仮説生成、仮説吟味の捉え方 ―質問紙より―

仮説を生成すること、および吟味することに関する生徒の捉え方を自由記述の質問紙（表 6）への回答内容から見取る。学習実施前と学習実施後にそれぞれ 15 分ほど調査を行い、そこに記載される内容の変容を調べた。なお、中学 1 年生に対するアンケートと言う観点から「仮説」ではなく「予想」という言葉を用いている。

表 6　学習前後で行ったアンケート調査質問項目

項目	内容
1	予想や推測とはどのようなものですか
2	普段の生活や学校の授業などで予想を立てるとき、何をたよりにして考えますか
3	説得力のある予想とそうでない予想とではなにが違うと思いますか
4	自分と違う予想をしている人がいた場合、その人の考えをどう思いますか

4．研究の経過②（結果と考察）

4－1　「仮説生成力」「仮説吟味力」の変容

4－1－1　ルーブリックの点数からみる「仮説生成力」、「仮説吟味力」の変容

各課題に対する生徒のノート記述内容をルーブリックにより点数化（9 点満点）した。単元「圧力（8 月～11 月）」及び単元「状態変化（11 月～1 月）」で実施した課題を

・A 課題｜主に生活経験等との関連が強い比較的難度の低い、単元導入段階の課題

・B 課題｜主に前時の学習事項との関連が強い単元進行段階の課題

・C 課題｜これまで単元で学習してきた事項を使って答える比較的難度の高い、
単元終了段階の課題

にそれぞれ分類した(表 7)。そして、これをもとに、課題ごとの「仮説生成力」「仮説吟味力」の平均点を単元別に算出した（図 2、3)。

表 7　実施した課題の質的な分類

単元	A 課題		B 課題		C 課題
圧力	[紙コップ]	[スチロール]	[気泡]		[カップ麺]
状態変化	[エタノール]		[ブタン]	[鉛]	[ロウ]

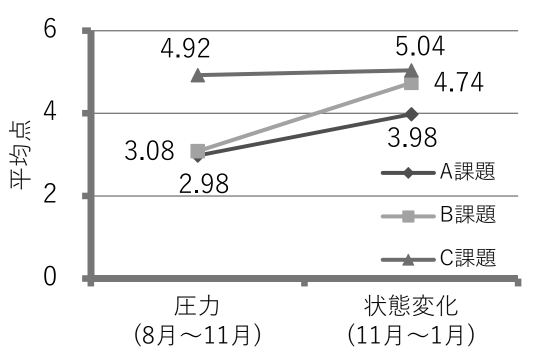


図2 「仮説生成力」平均点の変容

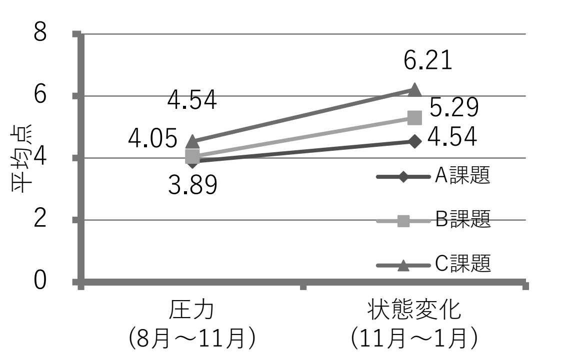


図3 「仮説吟味力」平均点の変容

単元「圧力」と単元「状態変化」における平均点の変化に対し T 検定を行った結果，「C 課題―仮説生成」を除く，その他の A～C 課題いずれにも(P<0.01)の有意差が見られた。なお、「C 課題―仮説生成」において有意差が見られなかったことについて、[カップ麺]が生徒のイメージしやすい課題であり、同じ C 課題である[ロウ]と比べ予想が書きやすかったことが要因として挙げられる。

さらに、課題のレベルによる影響を比較的受けにくいと考えられる「仮説生成力―論理性」、「仮説生成―描出性」「仮説吟味―参考・比較性」「仮説吟味―論理性」の 4 つの観点について、8・9 月（学習前期）に実施した[紙コップ][スチロール]と 1 月（学習後期）に実施した[鉛][ロウ]で、それぞれの観点の平均点の変容を見た（図 4)。T 検定にかけた結果、8・9 月と 1 月で(P<0.01)の有意差がみられた。これらのことから、学習の進行とともに、「仮説生成力」及び「仮説吟味力」が向上していることが伺える。

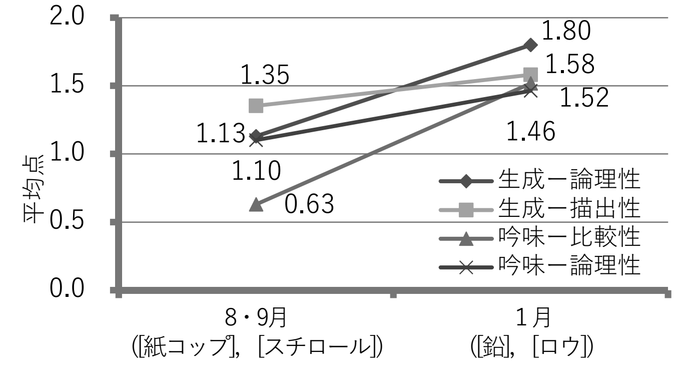


図4 ４つの観点の変容（8・9月ー1月）

４－１－２　ノート記述からみる「仮説生成力」、「仮説吟味力」の変容

実際にどのような変容がみられたのか、生徒がノートに記述した内容の変化を質的に分析した。ルーブリックの観点ごとにその変容が典型的な生徒を例として数名抽出し、変容を前後で比較した。

４－１－２－１　「仮説生成力」における活用性について

「仮説生成力」における活用性は生徒が有している知識が影響するため、課題の種類によって主に活用する手がかりに違いがある。すなわち、「A 課題」では生活経験や別の単元で学

んだ知識を、「B 課題」では前時までの学習事項を、「C 課題」ではその単元で学習した事項を主に活用することが求められる。表は、両単元で扱った課題を種類ごとに分け、3 名の生徒（1BSG,1ASG,1BNG）のノート記述を示している。同じ種類の課題に対しても、学習の進んだ「状態変化」での記述の方がより手がかりを活用している様子がうかがえる。

【A 課題】 1BSG の記述			【B 課題】1ASG の記述		【C 課題】1BNG の記述	
	［スチロール］活 0	［エタノール］活 3	［気泡］活 0	［ブタン］活 2	［カップ麺］活 2	［ロウ］活 3
予想・理由	小さくなる	膨らみながら浮く	気泡が分散される	できる	へこむ	変わらない
	空気が押され、逃げ場もないため、小さくなる	風船の中の空気のつぶが熱により大きく膨らむと思うから。また、その空気により、浮力が大きくなり浮く	おしたら元から入っている気泡がぶくぶくってなって、気泡が分散されて増えてるように見えると思う（気泡は小さくなって）	エタノールが気体になれたから、ブタンもきっと液体になる	水圧におされて、耐え切れなくなってへこむ	重力のときに質量は何をしても変わらないと学んだから。質量は物質そのものの量だから。何も増やしてない限り質量は増えない

4－1－2－2　「仮説生成力」における描出性について

同じ種類の課題（「A 課題」、「C 課題」）に対する 2 名の生徒　(1AMB ,1BKB）の記述の変容を「描出性」の例として表に示した。学習の進んだ「状態変化」での記述には、“図を用いている”“文字数が増えた”ことが特徴としてあげられ、より具体的に予想し、そのイメージを表現していることがうかがえる。なお、「考えを図で表してもよい」という指示は、8 月当初の授業（単元「圧力」）からすでに全生徒に対して伝えていた。

【A 課題】1BKB　1→３			【C 課題】　1AMB　1→３	
	［紙コップ］　描 1	［エタノール］　描 3	［カップ麺］　描 1	［ロウ］　描 3
予想理由	乗れる	中のエタノールがなくなって縮むと思う	前つぶれる	変わらない
	紙コップに直接力が加わらないと思うから。	９０℃の熱湯をかけると熱くて蒸発してなくなっちゃいそうだから。　図あり	水圧がかかり、カップめんの容器が水圧に耐えられなくなり、つぶれた。さらに、アルミ缶だと硬さがある程度あるのでへこむ。	液体にするには固体を熱する。ふたを置けていくと水蒸気が出ていくが、ふたをすることによって水蒸気がふたについて逃げていかないから。その後、ふたのうらの水滴は下に落ちる。時間の問題で半分液体、固体になっていてじかんが立つと液体は水蒸気、固体は液体になる。　図あり

4－1－2－3　「仮説生成力」及び「仮説吟味力」における論理性について

論理性は「仮説生成力」「仮説吟味力」の両方にその観点として位置付けたため、ふたつの変容を合わせて捉える。2 名の生徒(1ASG,1ASB)の記述を例に、学習前期と学習後期での変容をみる。圧力の時と比べて“複数の根拠をもとに考えている”“他者の主張を話の筋道に取り入れている”“より一般性のある考えから述べている”などの変容がうかがえる。

		［気泡］(学習前期)		［ロウ］(学習後期)	
1ASG		生成—論 1	吟味—論 2	生成—論 3	吟味—論 3
	予想理由	動く	動く	変わらない	変わらない
		圧力により水が押されて、気泡が水に押し出されて図の 1 に移動すると思う 図あり	ピストンの外に出る穴はどこにもないから、気泡の分の空気はどこにもなくならないから、縮むことはないと思う	物質の形（状態）が変わっても、物質そのものの量は増えないし減ったりもしないから、重さは変わらないと思う。ただ、水がこおると体積が変わるから体積に変化はあるかも知れないと思った。	ろうを融かすと量が減ったという人もいたけど、かさが変わっても重さが変わるわけではないと思った。 1AIG さんの意見に賛成で、もしろうが水と同じ性質ならかわは減ると思うし、水と違ったらかさは増えると思った。
		［紙コップ］(学習前期)		［鉛］(学習後期)	
1ASB		生成—論 1	吟味—論 1	生成—論 3	吟味—論 3
	予想理由	乗れる	乗れる	液体に出来る	液体に出来る
		足をのせる場所の下に支えるものがあるから	やはり足をのせる場所の下に支えるものがあるから	鉛は今固体だから熱を加えて沸点の少し手前の温度にしてやれば液体になる	いままでに水やブタンで実験をして、物体には固体、液体、気体でいられる温度があると思ったから、鉛も液体にすることが出来ると思う。

4－1－2－4　「仮説吟味力」における参考・比較性について

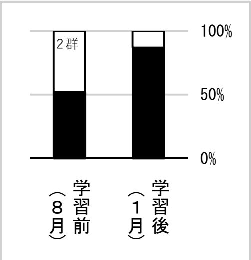
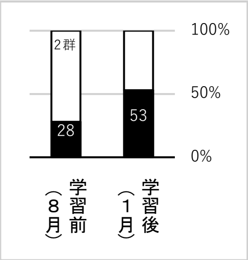
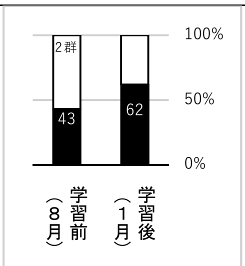
2 名の生徒(1BSG,1BMG)の記述を例に、学習前期と学習後期での変容をみる。“複数名の考えを参考し、比較している”“他者の考えの具体的な内容に対して参考・比較している”ことがうかがえる。

		［紙コップ］（学習前期）	［ロウ］（学習後期）
1BSG		参・比 1	参・比 3
	予想	乗ることができる	質量は変わらない
	理由	前みんなの意見を聞いて、なるほどと思うものもありましたが、やっぱり私は乗ることができないと思う。逆に自分の意見が強くなった	1BTG さんがろうは空気をあまり含めないという意見で、ろうと水は違うと改めて気付きました。また、1BOG さんや 1BKB が形が変わってもかわらないと言ったので私の意見は　かわらないとなりました。
		［気泡］（学習前期）	［ロウ］（学習後期）
1BMG		参・比 1	参・比 3
	予想	変わらず小さくなる	質量は変わらない
	理由	気泡が四方八方から押されると思うので予想は変わらず小さくなると思います。（図あり	1BMG さんのつぶつぶの話しを聞いて、さらに考えが深まりました。また、1ASG がロウが融けるとへこんだ部分にたまり、体積が増えると言っていましたが、とけたロウというのは、そのろうそくから溶けたものであって最終的には変わらないと思いました。

4－2　仮説の生成や吟味に関する捉え方の変容

質問紙に記載された内容のうち、特に質問 2～4 への回答を質的な違いで大きく 2 つの群に分類し、それぞれの割合を学習前・後で比較した（表 8）。また、3 名の生徒を例に、質問紙に記述された内容の変化を示す。

表 8　質問に対する回答の分類と変化　(n=55)

		質問2 普段の生活や授業などで予想を立てるとき、何をたよりにして考えますか	**質問3** 説得力のある予想とそうでない予想とではなにが違うと思いますか	**質問4** 自分と違う予想をしている人がいた場合、その人の考えをどう思いますか
回答の分類		1群｜知識の活用を意識 2群｜その他（カン）	1群｜内容を重視 2群｜その他（主に表現的）	1群｜比較・参考を意識 2群｜その他（主に受容）
回答者の割合の変化				
回答内容の変化	学習前（8月）	1ATB 周りの人	1BNG 説明の仕方	1ASG こんな考え方もあるのかと納得する
		1AKG 目の前にあるものを見る	1AKG 聞いたり見たりする人の納得加減、分かりやすさが違う	1BYG いいと思う（場合による）。
	学習後（1月）	1ATB 今までに習ったことか今までの体験	1BNG 「～であるから」が入っていて前の実験で分かったことが入っているもの	1ASG こんな考えもあるのかと納得する。その予想をもとにしてもう一度考える
		1AKG 使うもの、前に習った物を参考とする	1AKG 理由づけで書いてある方が説得力があると思う。具体的に絵があるとか	1BYG こういう考え方もあるのだなと思い参考にして改めて予想を立てる

これらのことより、仮説を生成すること、および仮説を吟味ことに関する生徒の捉え方として“自分が有している知識や経験を活用しようとする意識”“根拠の有無など予想の内容への意識”“他者の主張をよく理解し参考にしようとする意識”が学習後に高まったことがうかがえる。

５．成果と課題

以上のように、2 つの単元において課題解決的な学習を行ったところ、ノート記述の変容として“ルーブリックによる評価点数の向上”“記述内容の質的な向上”が見られた。また、質問紙に対する記述の変容として“回答内容の質的な変容”が見られた。これらのことから、課題解決的な学習を行う中で、考えの質を高める能力としての「仮説生成力」及び「仮説吟味力」が向上することが伺えた。また、これに加えて以下のことも示唆された。

①予想を立てる活動の重要性（素朴概念を科学的な概念に転換するうえで）

授業を進めるなかで、生徒が自分なりに考えた科学的に精緻化されていない考え（素朴概念）を有していることがうかがえた（例：物質に限らず液体が沸騰したら水蒸気が出てくる）。先行研究[12]にもあるように、素朴概念を科学的な概念に転換するうえで、まず自らが本来的に持っている考えと対峙する必要がある。本研究では予想を立てる活動を行ったために、生徒からこのような素朴概念がでてきたと考えられ、少なくとも生徒本人に自らの素朴概念と対峙させるという意味でもこのような活動の重要性が示唆された。

②予想を立てる活動の重要性（実験への動機づけ）

討論の中で、「早く実験したい」「これは実験で確かめるしかない」などの声が上がるようになった。また、学習後の質問紙調査や感想の中に「実験することが楽しくなった」という記述が多くあった。何のための実験かという動機づけのためにも、予想を立てる活動の重要性が改めて示唆された。

③討論が可能な集団となるよう教師が働きかけることの重要性

学習を始めた当初、恥ずかしさからか「自分の予想を消してみんなに合わせる」という生徒が数名見られた。「間違ってもよい雰囲気づくり」など、教師が適切にはたらきかける必要性が示唆された。

④学習意欲について

学習を進めていくなかで、本時が課題解決的な学習であることを伝えると「やった」と言って意欲的に取り組む生徒と「それ面倒くさい」と意欲の下がる生徒の二極化が見られるようになった。課題解決的な学習以外の授業も適宜織り交ぜる必要性を感じた。

また、課題解決的な学習への生徒の取り組み方は、クラス、学年、学校によって異なると考えられる。他のクラスでこの学習を行う際に、予想の立案をおろそかにしたり、他者との議論に消極的な様子が見受けられる可能性もある。生徒やクラスの実態に合わせて授業方法を修正し、予想の立案や他者との議論を促す手立てを施すなどの工夫が必要となる場合も想定される。

本研究の限界として、主にノートに記述された事項を分析の対象としているため、うまくノートに記述できない生徒の思考や記述に表れない思考を十分に加味できていないことがあげられる。また「仮説生成力」、「仮説吟味力」およびそれらに含まれる観点の捉え方についてさらに精査する必要がある。

６．勤務校での実践報告と今後の発展性

以上、筆者が教職大学院在籍中に取り組んだ課題研究を記した。その後、筆者は勤務した公立中学校でも上述したものと同型の課題解決的な学習を実施した（2014 年)。その際、創成研修校とは異なる生徒の実態に合わせて授業方法を一部改良した。また、勤務校での実践を通してさらなる発展性がうかがえた。ここでは、本研究で行った課題研究的な授業に慣れていない生徒を支援する手立てを例示すること、また、新たに求められる学びへの対応を検討することの意味から、勤務校での実践報告と今後の発展性を述べる。

６－１　勤務校生徒の実態に合わせた改善

勤務校では、第 2 学年 190 名（5 クラス）に対して「化学変化と原子・分子」の単元にて課題解決的な学習を実施した。表 9 にその単元指導計画を示す。

表 9 「化学変化と原子・分子」単元指導計画（化合に関する部分）　抄

時	内容　　（実施期間：2011.8～2011.11）
①	課題　袋に水素と酸素を入れて点火する。袋の中はどうなるか
②	課題　銅版のうえで硫黄をこする。化合はおきるか
③	課題　鉄と硫黄をまぜ、ダンゴにして置いておく。化合はおきるか。
④	銅と硫黄の化合（加熱)、鉄と硫黄の化合（加熱）
⑤	金属（マグネシウム、スチールウール）の燃焼
⑥	炭素の燃焼、有機物（エタノール）の燃焼
⑦	課題　集気びん内でスチールを燃焼させた後、石灰水を入れてふるとどうなるか。
⑧	課題　二酸化炭素中でマグネシウムは燃焼するか。

創成研修校の生徒との差異として、「予想や理由を他者に伝えることに躊躇する」「記述や発言に思考の深まりが現れない」の 2 点が見受けられた。これらの様子は創成研修校でも見られたが、勤務校の方が顕著であった。そこで、下記の手立てによりその改善を図った。

６－１－１　手立て①「小グループでの議論を追加」

予想を他者と共有することに躊躇する背景に、集団の中で意見を述べることやそこで間違えることへの恐れがあると考えた。そこで、クラス全体での討論する前に、小グループで議論する活動を取り入れた。「全員が発言する機会を設ける」「考えが近い他者の存在を知り安心感をもって後の議論に参加」「考えの異なる他者の存在を知り、後の議論で興味をもって他者の話を聞く」ことをねらったものである。4 人ずつのグループを作りその中で予想の共有を行ったうえでクラス全体での討論を行ったところ、それまでには共有されなかった多様な意見が議論に上がるようになった。

６－１－２　手立て②「授業全体を見通すワークシートの作成」

討論後に再考する予想とその根拠に、討論の中で話し合われた内容が十分に現れず、初期の予想を深めきれない生徒が見受けられた。その背景に、他者の意見をもとに自身の考えを深めることに意識的でない、今の活動が授業全体の中でどの段階に位置づくのか見通せていない、変化している自身の考えに自覚的でないことがあると考えた。そこで、1 時間の授業の流れと、各段階に自分の考えや他者の考えを記入していく欄を設けたワークシート(B5 サイズ)を作成し授業で用いた。すると、他者の意見を自身の予想に取り入れる、予想を変更する際に自身の考えの何がどう変わったのかを具体的に記す生徒が増えた。

６－２　今後の発展性

今後も、課題解決的な活動を取り入れた理科授業をより充実した学習活動として実践するにあたり、その発展的可能性として以下２点を考えたい。

６－２－１　同じ予想をもつ者同士の小グループによる話合い活動」を加える

小グループで議論する活動を加えることで互いに意見を共有しやすくなったが、さらに学びを深める活動につなげたい。知識構成型ジグソー法のエキスパート活動[15)]を参考に、小グループでの議論を同じ予想を持つもの同士で行うことで、「その予想を立てるに至った根拠がより厚みを増し､その後のクラス全体での議論の論点が明確になる可能性がある。

６－２－２　科学が関わる社会課題を議論する

自然環境の保全や科学技術の利用に関する問題など価値選択的な課題を扱う重要性が指摘されている[16)]。また、これからの若者には「対立やジレンマ、トレードオフの扱いに熟達していること」が求められるとの指摘もある[17)]。科学の理解に迫る問いのみでなく、発展的な学習として、例えば、発電方法の選択やゲノム編集技術の利用の可否など、科学が関わる社会課題を問に議論する学習も検討したい。

７．まとめ

課題解決的な活動を取り入れた理科授業を実践し、主にノート記載内容の質的な変容を見取ることで、生徒の「仮説生成力」及び「仮説吟味力」に向上がうかがえた。また、本研究で実践した課題解決的な学習、および、育成を図った科学的な思考は、ともにこれからの時代に求められる学習方法と能力であることも再認識できた。生徒の実態に合わせて適宜修正を加えながら課題解決的な学習に取り組むことで、変化の激しい社会をよりよく生きるために資質や能力としての科学的な思考力の育成に寄与したい。

主要参考文献

1)　松原憲治　『国際的な視点から見る理科の目標の枠組みと資質・能力の特徴』2017 国立教育政策研究所紀要第 146 集
2)　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等の改善及び必要な方策等について(答申)』p.30　2016
3)　国立教育政策研究所 監訳『PISA2015 年調査　評価の枠組み OECD 生徒の学習到達度調査』pp.37~39　2016 明石書店
4)　文部科学省　中学校学習指導要領（平成 29 年告示）解説理科編 p9, pp.114~115　2017
5)　松下佳代　『＜新しい能力＞は教育を変えるか―学力・リテラシー・コンピテンシー―』　2010　ミネルヴァ書房
6)　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等の改善及について(答申)』 2008
7)　日本理科教育学会　理科教育学講座　第５巻　理科の学習論（下）　1992　東洋館出版
8)　篠原文陽児「問題解決過程」 安彦 新井 飯長 井口 木原ら編集『新版 現代学校教育大事典６ 』p.277 2002 ぎょうせい
9)　Dewey,J. 『思考の方法』　1950 春秋社
10) 森 一夫　『２１世紀の理科教育』　2003 学文社
11) 堀 哲夫　西岡加名恵　『授業と評価をデザインする理科』　2010　日本標準
12) 堀 哲夫「「素朴概念」と理科学力形成・獲得における「活用」の問題」『教育目標・評価学会紀要』NO.19 pp.1~7 2009
13) 石井恭子　日本における『探求の過程』の受容過程とその課題―1960 年代の理科教育における『現代化』に着目して―　2011　日本教育方法学会紀要『教育方法学研究』　第 37 巻
14) 栗田克弘 平澤傑「概念形成から育成する科学的思考力についての研究～中学校理科の授業における科学的思考力の評価～」『東京学芸大学附属小金井中学校「研究紀要」』2011
15) 三宅なほみ 東京大学 CoREF　河合塾 編著『協調学習とは 対話を通して理解を深めるアクティブラーニング型授業』2016 北大路書房
16) 橋本美保 田中智志 監修 三石初雄 中西 史 編集　『教科教育学シリーズ④ 理科教育』pp.19~22 2016 一藝社
17) 文部科学省[仮訳] OECD 『教育と未来のスキル：Education 2030』http://www.oecd.org/education/2030/ (2018 年９月 30 日アクセス)
・板倉聖宣　『仮説実験授業のＡＢＣ　楽しい授業への招待（第４版）』　2004　仮説社
・「理科の授業づくり入門」編集委員会『理科の授業づくり入門 玉田泰太郎の研究・実践の成果に学ぶ』2008 日本標準
・R.オズボーン P.フライバーグ　編　森本信也　堀哲夫訳『子ども達はいかに科学理論を構成するか』1988 東洋館
・ドミニク・Ｓ・ライチェン ローラ・Ｈ・サルガニク『キー・コンピテンシー―国際標準の学力をめざして―』2006 明石書店