

【研究ノート】

対話的な理科授業を通した科学概念の 構築に関する考察

古谷 真里奈 (横浜国立大学大学院)

長沼 武志 (横浜国立大学附属横浜小学校)

森本 信也 (横浜国立大学)

1. はじめに

平成19年公布の学校教育法において、形成すべき学力として思考力・判断力・表現力や主体性を重視する旨が明記された。連動して、平成20年学習指導要領・理科編において、考察とその成果の言語化(科学概念)を充実するように配慮が求められた。さらに、平成24年度全国学力・学習状況調査では、理科学習で学んだ知識・技能が日常生活や別の学習場面など、他の文脈において発揮されることが重要だという視点から調査が行われた。これらを鑑みると、これからの理科教育においては科学概念を主体的に構築していくことが求められていると言える。

こうした課題解決においてディラン・ウィリアムによる次の指摘は有用な示唆を提供する(ディラン・ウィリアム、2013:166)。「学習とは、間違っていることを修正することではなく、新しい能力を高めることである。そして、単に成果を与えるというよりむしろ対話としてより多くのフィードバックを学習する。このことから学習者はフィードバックのプロセスに関わる際に活発になることが求められる」。こうしたフィードバックが授業において適切に位置づけられることにより、学習者としての子どもには「自己調整についてのフィードバック」「一人の個人として自分自身(の学習)についてのフィードバック」(ディラン・ウィリアム、2013:168)がもたらされるようになるのである。対話という多様な情報源と子どもがインターラクティブな関わりをもつと同時に、もたらされた情報についての自らの既有的思考と照合しながら、その意味について吟味する機会がもたらされるのである。学習についての自己調整であり、かつ自己省察すなわちメタ認知が重要な活動の視点として浮上するのである。対話、自己調整的な学習、メタ認知というキーワードの基づく授業デザインが上述の課題解決にとって必須事項となるのである。

益田ら(益田他、2012)は小学校性を対象にして、あるいは和田ら(和田他、2011)は中学生を対象として理科授業デザインの視点として自己調整学習を取り入れ、特に子どもにメタ認知を意識させた授業を展開することにより、こうした視点が子どもにおける科学概念構築に寄与したことを報告している。本研究では、益田ら、和田らの知見に加え、さらに上述したディラン・ウィリアムの指摘にある対話も積極的に取り入れながら、理科授業における子どもによる科学概念構築へ寄与する諸点をさらに検討する。そこで、本研究では次の視点に立脚した理科授業をデザインし、子どもが科学概念構築する様態について分析を行い、対話的な理科授業の展開が彼らによる科学概念構築に寄与することを明らかにする。

子どもによる科学概念構築を具現化した対話的な理科授業では、教師と子ども、子ども同士や教師との対話を基調としながら、メタ認知によって自律的に学習が進められ、科学概念が構築されることが想定される。ここで構築が志向されるのが、メタ認知的知識である。また、その過程をメタ認知することが自律的な学習者の育成に資すると考える。

2. 研究の視点

2.1 メタ認知の視点

ヘルスコビッツらは (Herscovitz ,O.,et al.,2012) 理科授業における自己調整的な学習を図1に示すように分析し、メタ認知を中心にしてそれが展開されることを提唱した。これは本研究における授業実践と分析の基本的な枠組みである。そこで、先ず図1に示された各要素を以下に詳述する。これを踏まえて、3. 以降の実践と分析を行う。

2.1.1 メタ認知

メタ認知とは、認知について認知することを意味する。メタ認知は静的な側面である認知している知識 (knowledge of cognition) と動的な側面であるメタ認知的活動という2つの側面に分類される。両者の往還を自覚的に行うことを通して、活用可能な知識であるメタ認知的知識が構築される。言い換えれば、自己調整学習の下で、他の文脈において活用できる知識が構築されるのである。

2.1.2 認知している知識

認知している知識 (knowledge of cognition) とは、認知的営みの過程や結果に影響を及ぼす知識であり、宣言的知識 (declarative knowledge)、手続き的知識 (procedural knowledge)、条件的知識 (conditional knowledge) という下位カテゴリーに分類できる。認知している知識は、理科授業において構築が志向される科学概念と言い換えられる。宣言的知識は定義的な知識を指すもので、言葉や式で表される。手続き的知識は宣言的知識が成立する根拠となる操作や論理を指す。条件的知識は、宣言的知識と手続き的知識がいかなる状況下で成立するかを指す。それゆえ、知識を活用する際に不可欠な知識である。

加えて、三者は関連しあっている。宣言的知識は手続き的知識によって成立が保障され、両者を踏まえて条件的知識が成り立っているのである。宣言的知識のみでは、その知識成立の根拠が不明であるがゆえに、いかなる文脈で用いることができるのか分からない。手続き的知識は「こういう状況ならば (if)、そのときは～せよ (then)」という形式であるプロダクションを成し、宣言的知識を裏付け、記号に意味を持たせる。これらをメタ認知し、いつ成立する概念を、どのような状況で、いかにして構築したかを自覚することで条件的知識が構築される。つまり、知識を表現する宣言的知識とそれを保障する手続き的知識が備わり、その構築過程を自覚することで状況に応じて用いることができる知識を構築することができるのである。これは、問題解決の過程を経て構築される。問題を見いだす際はこれから構築する宣言的知識を見通し、予想や観察・実験とその整理及び考察では、手続き的知識が構築される。結論は、手続き的知識を踏まえて宣言的知識を自覚した条件的知識構築の場面である。構築を志向するのは、三者を有した科学概念であり、質が問われるのである。

2.1.3 メタ認知的活動

メタ認知的活動は、計画 (planning)、評価 (evaluating)、モニタリング (monitoring) という下位カテゴリーに分類できる。モニタリングとは、問題解決の進捗状況及び科学概念の構築状況を把握することを指す。具体的には、現在の学習は問題解決活動のどこに位置づくのか把握したり、自身の考えを把握したりするである。計画とは、モニタリングを反映して、見通しを持つことを指す。学習の見通しは、計画的の問題解決を進めたり、科学概

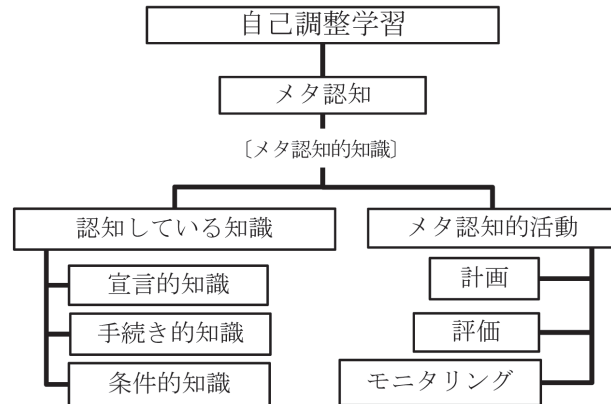


図1 自己調整学習の構造

念を構築する視点を焦点化したりする。評価とは、モニタリングした内容や計画を評価することを指す。これにより判断を下して、次の学習を進めたり科学概念を構築したりする。三者は関連しあっており、学習履歴をモニタリングすることでこれからの学習に見通しを持ち、それら認知した事柄が適当なのか常に評価しながら学習する。要するに、構築過程をモニタリングし、適切にコントロールすることで、科学概念を構築していく動的な側面である。

メタ認知的活動を行うためには、思考を表現することでモニタリング可能にすること、評価を通して思考を深め、それを表現することが必要である。これを適切に行えるように、教師は支援を行う。例えば、板書を用いた可視化や強調、言葉を繰り返したり整理したりして子どもに返すなどがそれにあたる。なぜならば、教師は、子どもの思考が科学概念へと深まる視点を持ち、子どもにその自覚化を促す存在であり、それゆえ、モニタリングや評価をしやすくしたり、見通しを持たせたりする支援を行うことができるからである。教師が子どもの学習状況を見取り、板書や発話及び学習者のモデルを演じることで、学習状況に応じてメタ認知的活動を支援しているのである。さらに、こうした支援は、一つの問題解決を成立させるだけでなく、学習の調整の仕方をも子どもに示していると言える。

2.2 子どもに構築を目指す科学概念

対話的な学習を通して子どもに形成することを目指す科学概念は、端的に言えば名辞的側面のみに限定されない概念を構築させることである。言い換えれば、教科書に示されている重要語句、記号等の記憶のみを求めない学習の実現である。重要語句、記号等を子どもが咀嚼して他者に説明したり、モノづくり等に活用できるようにすることである。実際、理科教育においてこうした課題は必須である。例えば、文部科学省により平成24年度に実施された「全国学力・学習状況調査」の理科では、小学校において、「観察・実験の結果を整理し考察することに課題」「科学的な言葉や概念を使用して考えたり説明したりすることに課題」（文部科学省,2012）との指摘に、その事例を見ることができ、中学校においてもこの傾向はさらに強まる。本研究において、子どもに科学概念を咀嚼できるようにすることを目指すことの重要性が明らかである。

子どもが対話から得られた多様な情報を科学概念としてまとめさせる過程において、多様な表現方法を駆使することによりこの課題を解決することができる。科学概念の表現と記憶において、多様性に着目し、その要素分析を図ったりチャード・ホワイト（White,R.T.）の指摘にその範を求めることができる（White,R.T.,1988）。彼は科学概念の表現と記憶の要素として、言語、命題等の名辞的側面のみならず、これらにエピソードやイメージを加え、これらを子どもが自由に表現できるとき、科学概念構築がなされるとの指摘を行った。この指摘は従前の名辞的側面による記憶を理科学習の主要な成果と捉えられてきたことに代わり得る指摘である。実際、この指摘の具現化は上述したように理科教育の課題解決にとって重要であることが明らかである。

そこで、本研究では、子どもが科学概念を構築していく過程でイメージ表現である描画や例えを交えた表現により、彼らが科学概念を咀嚼して表現できるよう支援した。当然のことながら、この表現の内容は授業の進行とともに深化させることも重要な課題として位置づけた。そして、対話を通じた科学概念構築の成否を、こうした表現の深化を指標として捉えながら授業を進めていった。

3. 研究の概要

3.1 目的

子どもが多様な情報と対話をしながら科学概念構築する理科授業を分析の対象とする。その上で、メタ認知的知識の往還を通して科学概念が深化することを明らかにする。

3.2 時期

2012年9月下旬から10月中旬

3.3 対象

国立大学附属小学校第4学年

3.4 単元

「ものの体積と温度」

表1 単元構成

| 次 | 学習活動 |
|---------|---|
| 第一 次 | <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> 空気の体積と温度の関係 </div> <ul style="list-style-type: none"> ・温めた空気は膨らむのか上に動くのか ・冷やした空気の体積はどうなるのか ・空気の体積変化と温度変化の関係 |
| 第二 次 | <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> 水の体積と温度の関係 </div> <ul style="list-style-type: none"> ・温めた水の体積はどうなるのか ・冷やした水の体積はどうなるのか |
| 第三 次 | <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> 金属の体積と温度の関係 </div> <ul style="list-style-type: none"> ・温めた金属と冷やした金属の体積はどうなるのか |

3.5 分析方法

授業中のビデオ記録による教師や子どもの発話記録と、板書及び子どもが作成したワークシートの記述分析を行った。

4. 対話的な理科授業の様態

表1に示した授業計画の第1次「空気の体積と温度の関係」を事例にして、対話的な理科授業における科学概念構築の様態を以下に分析する。ここでは、問題解決的な理科授業に基づいて実践が行われた。そこで、問題解決の各場面において、対話的な授業を通してかつメタ認知を授業の基盤として子どもが科学概念へ向けてどのような活動を行ったのかを分析の対象とする。問題解決の場面は「空気の体積と温度の関係」である。順を追って分析する。

4.1 「問題を見いだす」場における子どものメタ認知の様態と教師の支援

教師は、空気の抜けたボールをお湯の入ったたらいに付けて、ボールが膨らむ様子を提示した。これにより、子どもは、ボールがお湯によって膨らむことを知覚した。お湯に浸けるといふ操作から、温めるという意味を見だし、ボールが膨らんだことを空気の変化であると考え、図2、図3のように考えを表現した。

図2は、温められた空気が湯気のように上に行くという考えをイメージ化したものである。学級で考えを共有する前に、教師は、他の子どもに伝わりやすい言葉を遣うよう促した。そして、共有時は、自分の考えと照らし合わせながら、聴くよう促した。これらにより、子どもが他の子どもの考えをモニタリングし、その分析と解釈ができるよう支援した。さらに、板書を用いて、まとめた考えを可視化することにより、モニタリング

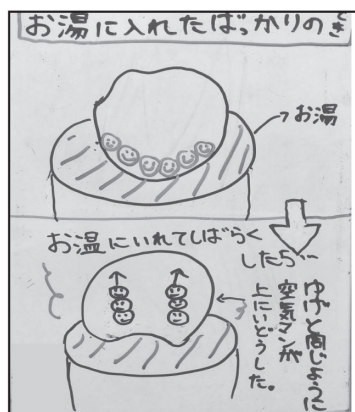


図2 空気を温めると上昇する

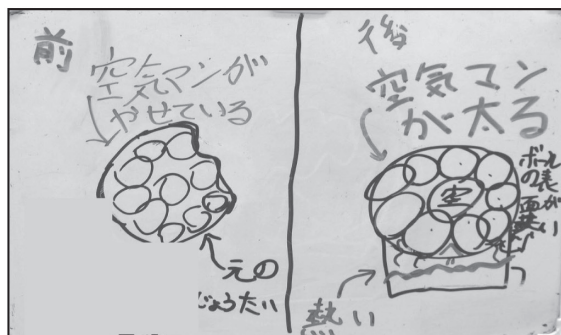


図3 空気を温めると膨張する

しやすくした。本単元を一貫した二つの視点である「(空気)の体積」と「温度」に基づいて、「上に動いた」「空気マンが温められた」と整理し板書をした。以後、視点から外れるとそれを指摘し、視点に沿った対話が行われるよう努めた。図2の考えをもつ子どもは、その考えを自分なりに表現し、別の考えをもつ子どもは板書をモニタリングするなどして図2の考えの解釈を試み、図2の考えを学級で共有した。このように、教師は子どものモニタリングに対して支援を行い、子どもは、考えを表現し、モニタリングを行い共有することで、温められた空気が上に動くという考えを理解した。また、「(上に動いて、)下がしぼんでいる」という子どもの発言を板書したことで、図2の考えの理解と、上に動くならば、ボールの下がしぼむことについても教師は理解を促した。

続いて、子どもは図3の考えを表出した。お湯に浸けると湯気でボールの表面が熱くなって、徐々に空気マンが太るという考えである。教師は、子ども達に図2と図3の考えの違いを理解し、自らの考えはどちらなのか判断するよう促した。これにより、子どもは図2と図3の考えをモニタリングし、自分の考えと照らし合わせて図2と図3の評価を行った。図3を誤りと評価した子どもは、その理由に、「図3の考えが正しければ、ボールの中がぱんぱんになるはずなのに下がへこんでいるし、空気の量は同じはず」であることを挙げた。これは実験で知覚したボールの様子と、ボールの中には閉じ込められた空気が入っており、その量は変わらないという知識を根拠にした考えである。教師は「下まで膨らむはず」「空気の量は同じ」と板書することで、図2の「下がへこむ」と図3の「下まで膨らむ」という違い、「粒子の数は変わらない」ことを可視化し、「空気の体積」と「温度」という気体の状態変化の視点を明確にした。また、別の児童は図3を誤りと評価した根拠に、経験で得た知識を挙げた。このように、評価の根拠を示すことで、モニタリングを行い、妥当であるか評価することができる。つまり、他の子どもの評価を参考にして、評価することができるのである。

こうして図2と図3の両方について、体積と温度の視点が明確になったところで、教師は問題を見いだすよう促した。子どもは二つの考えを評価する中で、自分の考えの確信を強めながら、自然に対して親しみをもった。すなわち、関心や意欲をもって関わり、問題を見いだしたのである。「温められた空気は膨らむのか?上に動くのか?」という問題を見いだすと同時に、「空気の体積」と「温度」という視点を認識し、「ボールの下がへこむか?膨らむか?」という具体的な視点も持たれた。これらから、既存の科学概念のモニタリングと評価によって見通し(計画)をもち、主体的な活動がなされたと考えられる。

4.2 「予想」の場における子どものメタ認知の様態と教師の支援

問題を見だし、視点が明確になった後、実験の方法が決められた。お湯にボールを浸けて、ボールの下部を見るというものである。下部がへこんでいれば図2の考え、膨らんでいれば図3の考えが立証されたことになると、学級で確認された。次いで予想の場もたれた(表2)。

表 2 「予想」の場における教師と子どもの発話と分析

| 教師と子どもの発話 | 科学概念の構築過程におけるメタ認知 |
|--|--|
| <p>T46：予想して下さい。昨日出たこのボード（図2、図3）を使って。</p> <p>C55：僕は、下がへこむと思います。なぜかという、空気マンが太るって言うなら、前お湯にボールを入れた時に、空気マンが太るとボールがばんばんになると思うんですけど、ばんばんにならなかったから、僕は下がへこむと思います（図2についての予想）。</p> <p>C56：私も下がへこむだと思います。なぜかという、C55さんと同じで、空気マンが太るとばんばんになるってことだけど、ばんばんにはなっていないし、ボールの空気の出入り口がふさがっているから、ボールに入っている空気は同じだから（図2についての予想）。</p> <p>（中略）</p> <p>C58：僕は、前の下も膨らむっていう意見から、下がへこむに変わります。理由は、下から空気も入れないし、下から熱がボールに当たって、中から熱くなって。空気が上に上がると下はなくなるから、下がばんばんだつたら（上に行くと下には空気が）なくなったってことにならないから。僕は下がへこむっていうのに変わります（図2についての予想）。</p> <p>C59：僕は、下がへこむと思います。なぜかという、前も言っていたように、例えばビーチボールを真夏の太陽の下に置いといたら、太陽の光で地面も温められて上からも（直射日光で）温められて、2倍温められるけど、中の空気はそんなに膨らんだりもしないから、下がへこむと思います（図2についての予想）。</p> <p>C60：私も、C59さんと同じで下がへこむと思います。なぜかという、C59と一緒に、真夏の海岸に、もしビーチボールを置いておいたら、中に入っている間に破裂してしまうと思うし、そのビーチボールと同じ実験方法でやるようなものだから、私は下がへこむと思います（図2についての予想）。</p> <p>T48：今いい言葉ももらっちゃった。これ（ビーチボールが太陽光を受けている）と今回の実験は、同じなんだって。熱がどっちからくるかってことですね。</p> | <p>T46：図2、図3の考えのモニタリングと評価を促した。</p> <p>C55～C60：問題を見出す場面で得た考えや、「空気の量は変わらない」という知識をモニタリングした結果、図2（Bの考え）を適切であると評価し、自らの考えに取り入れた。それを根拠にして予想を表現した。したがって、図2は予想の表現である。</p> <p>C59、C60：「真夏にビーチボールを置いておいても破裂しない」という体験に基づく知識を根拠に図2（Bの考え）を適切であると評価し、「空気は温めても膨らまない」という予想を表現した。</p> |

T46で、図2と図3をモニタリングと評価することで、すなわち、自分の考えと照らし合わせながら解釈しその正誤を判断することで、図2や図3の考えを用いた予想を立てるよう支援した。この支援により、子どもは、問題を見いだす場と予想の場をつながりをもって捉え、問題解決を成立させていったと考えられる。問題解決において重要なのは、子どもが主体となり問題解決の過程を踏み、科学概念を構築することである。したがって、問題解決を実現するための支援が、モニタリングと評価を促すこと（T46）により、具現化されたと言える。

C55～C60は、考えをイメージ化した図2の描画を用いて、予想を発言した。C55は、「図3の考えであれば、ボールがばんばんになるが、そうはならなかった」と、問題を見いだす場において知覚した情報を根拠に挙げて、図3の考えは誤りで図2の考えは正しいと評価し、予想を立てた。C56、C58はその考えを踏襲しつつ、「ボールの中の空気の量は同じであるから、ばんばんにならない」と、問題を見いだす場において共有された知識を付け加えて、予想を補強した。C59、C60は「真夏のビーチボールは温められるが、膨らんだり破裂したりしない」という経験から得た知識を根拠に挙げ、予想を立てた。これらは、根拠を挙げて、図3の考えを誤りであると評価し、図2の考えを正しいと評価した発言である。C56の「C55さんと同じで」という言葉にあるように、発言された図2にまつわる考えをモニタリングによって把握し、分析・解釈を行い、それを評価して自分の考えを関連づけて表現したのである。

このように、モニタリングした考えを評価し、評価の根拠を付加することを通して考えの補強を図ることで、予想は深まりをみせた。予想における評価は、既に保持している概念に基づいてなされた（C55、C56のボールは下まで膨らんでいなかった、及びC59、C60のビーチボールが温まっても破裂しないから空気は膨張しない）。

そして、予想の根拠のモニタリングを行い、評価を下すことで子どもは自らの考えを自覚した。C58は「前の下も膨らむという意見から、下がへこむに変わります。理由は、…（後略）…」と発言し、自らの考えの変容をモニタリングし、評価の根拠である変容した理由とともに発言した。これもC56同様、モニタリングを行い、評価を下したことの証左である。対話を促進する意味で、C58に見られる、他者が考えの変容に影響を与えていることを自覚することは有意義であろう。

予想の場においては、思考とその表現を通して既有概念の自覚化がなされる（C55～C60）。問題、すなわち、構築しようとしている科学概念が、学習を行う主体である子どもに依拠したものとなることで、知識を構造化していく用意がなされる。自己との対話のもとより、他者との対話によって、問題の本質である「空気の温度と体積の関係」が子どもの具体的な考えに即して「体積が変わるか、体積は変わらずに上に動くのか」と焦点化されたことで、問題が一層明確になった。

4.3 「実験結果の整理」の場における子どものメタ認知の様態と教師の支援

実験を終え、学級でその結果を共有した。結果は、モニタリングしやすい形で整理される必要がある。その場面が表3である。

表3 「実験結果の整理」の場における教師と子どもの発話と分析

| 教師と子どもの発話 | 科学概念構築過程におけるメタ認知 |
|--|--|
| T49：じゃあ、結果を教えてください。 （中略） | |
| C66：ボールの上と下が膨らんで、それで、やわらかさを試した。やわらかさを確かめてみたら、最初は上の方をつぶした時はへこんだけど、上と下が膨らんだときは、ボールの上をおしてもへこまない。 | C66：実験の結果「ボールの上と下が膨らんだ」を認識し、共有した。 |
| T54：それいいですね、へこまそうとしても戻ってきましたね。結果が確認されました（板書をした：ボールが膨らんだ。ボールの上と下が膨らんだ）。ボールは触った人覚えていると思うけど、弾力もあるよね。ボールが膨らんだ、上と下が膨らんだ。 | T54；実験結果について学級で確認がとれたことを示した。 |
| C67：私は、結果でボールの上と下が膨らんだのはどうしてだろうってことを考えてみて、そのことをやりたいんですけど、みなさんはどうですか？ | C67～C70：T54を受けて、学習を進める計画として、考察を考える視点を示した。 |
| C68：ぼくもC67さんの意見と同じで、僕はどうしてボールの上と下が膨らんだのかってことをやりたいと思います。 | |
| C69：C67さんのいいと思います。ボールの上と下が膨らんだっていう結果が出たので、どうして膨らんだのかっていうのを考察したらいいと思います。 | |
| C70：僕もC67さん達と同じでどうして上と下が膨らんだのかっていうのを考察すればいいと思います。今この意見しか出ていないんですけど、他に考察以外にやりたいことはありますか？ | C70：次に考察を行うという学習の計画の合意を学級で取り、学習を進めようとした。 |
| T55：はい、じゃあいいと思います。考察ってまず結果、予想はこうだけどう変わった、なぜだろう、ある程度このあたり（図2や図3）も含めて記録残した方がいいですよ。考察から始まってもいいけど、こうこうこういう結果だった、こうなると思っていたのにこうだったと前段階がほしいな。じゃあなぜふくらんだのか考えてみたっていうように。 | T55：C70を評価し、考察へと学習を移行させた。図2や図3といった予想のモニタリングを促し、子どもの考え方の変化をメタ認知させようとした。 |

C66の「ボールの上と下が膨らんで…(後略)…」という発言を受けて、教師は黒板に「結果 ボールがふくらんだ。ボールの上と下がふくらんだ(T54)」と書いた。こうして、学級において実験の結果が可視化できる状態で共有された。これにより、モニタリングが容易になった。さらに教師は「…(前略)…結果が確認されました…(後略)…(T54)」と発言し、問題解決が結果の確認まで進んだことを示した。C67～C70は次に考察を行うべく、考察の視点を提案した。つまり、教師が示した問題解決の進捗状況を子どもがモニタリングし、次の学習を計画したのである。C67は自分の計画を述べた後に「…(前略)…みなさんはどうですか。」と問いかけ、学習を学級で進めていく姿勢を示し、C68とC69の同意の後、C70が学級全体に「…(前略)…今この意見しか出ていないんですけど、他に考察以外にやりたいことはありますか。」と問いかけることで、先の学習の計画について評価を促した。そして、子どもの様子を見取った教師は、「はい、じゃあいいと思います。…(後略)…」(T55)と述べ、学級全体で学習の計画について合意をとった。すなわち、学習の進捗状況のモニタリングを行い(メタ認知的活動)、問題解決の過程についてのメタ認知的知識を用いて次の学習を計画(メタ認知的活動)し、その評価(メタ認知的活動)を行うことで学習を進めたのである。問題解決の過程についての知識は、「温められた空気はふくらむのか、上に動くのか」という問題解決の一局面に即して活用されていることから、メタ認知的知識であると言える。

教師は、考察について「…(前略)…ある程度このあたり(図2や図3)も含めて記録残した方がいいですよ。考察から始まってもいいけど、こうこうこういう結果だった、こうなると思っていたのにこうだったと前段階がほしいな。…(後略)…」(T55)と述べ、考えが変容した過程をモニタリングによって自覚させようと試みた。子どもが自らの既有概念を自覚した上で、実験結果からそれを更新していくよう促したのである。

4.4「考察」の場における子どものメタ認知の様態と教師の支援

考察の場では、三つの考えが表出された。どの考えも空気の体積と温度に着目した考えで実験結果を踏まえていたが、その論理展開は異なった。始めに学級で共有された「あったかマン理論(図4)」は、熱を加えるとボール全体が膨らんだという実験結果から、「あったかマンがボールに入り込み、空気が逃げていく」と解釈を試みたものである。

教師は、子どもの発言を「空気マンは空気、空気とは別のあったかマンというのがボールに入ってきて、空気を押しているという考え」と整理することで理解を促した。さらに考えを板書することでモニタリングしやすくした後、同じ考えの子どもに発言を求めた。同じ考えかどうか考えることで図4の考えのモニタリングが促された。

結局、同じ考えの子どもはいなかったため、少し違う考えとして「太る理論(図5)」について発言がなされた。「太る理論」は問題を見いだす場でも出された図3を基にしたもので、ボールには空気マンが入っていて、お湯の熱を食べて太る」という考えである。図3の「熱い」という表現が、図5では「熱」と表現が変更されたことから、この問題において温度が持つ意味を理解したことがうかがえる。つまり、問題を見いだす場面の思考が、実験結果を踏まえた対話を通して、論理を構築する中で深化したことが読み取れるのである。

また、子どもが、予想におけるC59、C60の考えに言及し、「太陽の熱を受けたら浮き輪などが少しは膨らむかもしれないが、熱湯の温度までは高くないからそんなに膨らまないと思う」と述べたことも同様の意味を持つ。これらは、T46やT55にあるような問題解決の場面に連続性を持たせていることから生じたと考えられる。表現を通して思考の深まりが可視化されたことで、自覚的に科学概念を構築する助けとなるだけでなく動機付けともなることだろう。図5についての考えが出された後、教

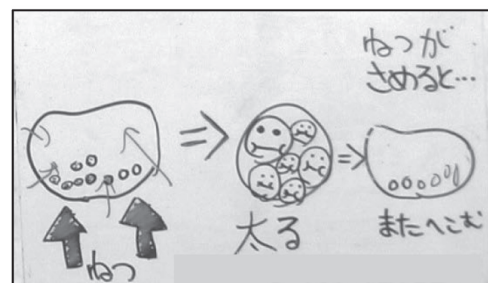


図4 あったかマン理論

師は、図4と図5の考えの違いを子どもたちに整理するよう促した。子どもはモニタリングし、考えの差異を見いだすことで、評価する点に気づく。どちらの考えがより論理的なのかと評価するときに着目する部分が変わるのである。

最後に、他の考えとして、図6が出された。図6は、ひとかたまりだった空気がバラバラに分かれたという考えで、お風呂の湯気が広がるイメージを用いて説明がなされた。

教師は、3つの考えを表現させた後、それらのモニタリングと評価を促すことで、考察を深めていった。そのプロトコルが表4である。

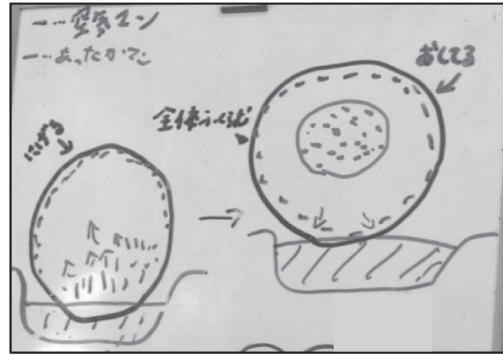


図5 太る理論

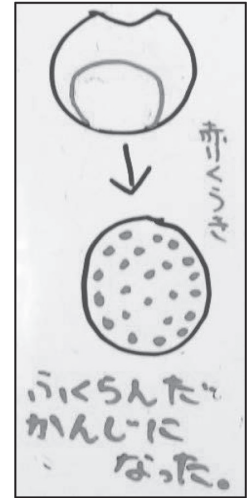


図6 分解理論

表4 「考察」の場における教師と子どもの発話と分析

| 教師と子どもの発話 | 科学概念構築過程におけるメタ認知 |
|--|--|
| T66: 今三つの論が出ました。それぞれの違いが分かりますよね？ 一番どの理論が説明に適しているか、ここの部分がおかしいんじゃないか、もしくは、三つとも説明できるのであれば三通りの考え方ができるようになればいいわけです。 (中略) | T66: 学習の進捗を示し、次の学習の方向を示した。 |
| C90: 私も太る理論だと思って、私も太る理論に反対です。もし分解しても隙間と隙間はあるはずだけど、お湯につけたボールを触ったときはどこをおしても押し返して来たからね。 | C90: 既有知識を元に図5の考えを「温めていない時は分解していないはずなので、隙間がなく、押しでもへこまないはずだ」と否定的に評価した。 |
| T69: 弾力が変わったんだね。 (中略) | |
| C92: 僕は、前の意見に答えるんですけど、ピストンとかの勉強をしたとき、空気は人間の力ですぐへこませることができるけど、今のC90さんの意見は隙間が空いてないと押せないって言ってたけど、でも空気なら軽くてやわらかいからすぐに、押せると思います | C92: C90に対して、既有知識を用いて「空気は温めていなくても少し隙間がある」と反論し、図5に対する肯定的な評価を示した。 |
| T70: そうか。覚えてる？ 隙間がない温める前でもへこんだよね。 | |
| C93: ちょっと話がかわっちゃうんですけど、私も太る理論だと思って、あったかマン理論に反対で、あったかマン理論の場合あったかマンが上に行って空気マンが下に行くってこと。だから、下にある空気マンはあったかマンより冷たいはずだけど、実験が終わってボールが膨らんだときに触ってみたら、ボールの全体が温かかったから、私はあったかマン理論は違うと思います。 | C93, C94, C95: 図4の考えについて、実験で得た知識「ボール全体が温かかった」や共有された知識「ボールの中に入っている量は同じ」を用いて否定的な評価をした。 |
| C94: 私もC93さんと同じであったかマン理論は違います。 | |
| C95: 私も太る理論で、あったかマン理論に反対なんですけど、ボールの中に入っている量は同じなのに、あったかマンが入っているってことで、あったかマン理論は違う。 (中略) | |
| T74: (板書をする: 量が増えている) | T74: 評価の根拠をモニタリングしやすくして、各々が評価できるようにした。 |
| C103: 私は太る理論で、あったかマン理論は違うと思います。なぜかというと他の人が言ったようにボールを温めて膨らんだ後に触ったときには中心の方が冷たいわけじゃなかったし、全体が温かかったから。それで、前あったかマン理論だった人はどう思いますか。 | C103: 実験で得た知識を基に図4の考えを否定的に評価した。自分とは異なり、図4を肯定的に評価する意見を引き出すことで学習を深めようとした。 |
| T75: 質問されましたよ、あったかマン理論の人、どう思いますか？ 近くの人と相談して。 | |

T76 : はい、じゃあ C103 さんの質問のところから聞いてみましょう。

C104 : 私はちょっと不思議に思ったんですけど、太る理論で空気マンが熱を食べるって言うんですけど、どうして食べるんですか？

T77 : 質問仕返す前に答えてあげないと。太る理論の人はどうやって食べるのかっていう話は答えを用意しておいてね。

T78 : 今 2 つの質問が出ていますが、1 つ目について、ボールの中の量が同じってことは出入り口がないって話もしたよね、閉じ込められた空気であることと。形があったら、あったかマンが中に入れないんじゃないの？って話をして質問が出ましたがそれについてどうですか？…
…C103 さんのどうやって食べるのっていう質問に対する考え方はありますか？

C105 : C103 さんの質問に答えるんですけど、熱を食べるっていうのはたとえて、例えばボールの面を抜けて熱が入ってきて、その熱が空気マンに入って、合体みたいに、例えばスポンジに水が入るみたいに、これが、空気マンに熱が入るのが食べるっていうことの本当のこと。
(中略)

T79 : 吸収って言葉分かる？空気の中に熱が吸収されるって、そういう風に考えているんですね。実際に自分からばくばく食べているんじゃないくて、熱が入ってくる感じだよね。それがたとえてことですね。今、あったかマン理論についての質問に答えられないってことで、聞いていけばまた考え方が変わってくるかもしれないね。ところで、分解理論に対して、もしくは太る理論に対して違うんじゃないかっていう意見があればどうぞ。これ(あったかマン理論)はちょっとおときましようね。

(中略)

C109 : 私は太る理論に変わったんですけど、太る理論は、意見を聞いて、熱が入ってきて、空気と熱が合体してボールが膨らんだって言うのでよく分かったから。

C110 : 僕も太る理論に変わります。なぜなら空気マンはあったかマンになって、吸収みたいなことになって、それで、あったかマンがどんどん入って行って空気マンが大きさが変わるのかなって。

T80 : じゃあ、分解理論と太る理論について少し話をつめていきたいと思うんですが、何か質問なり意見なりがあったらどうぞ。どうですか？
(中略)

T82 : どうですか？太る理論の人ってどれくらいいるの？分解理論の人は？じゃあ、分解理論の人の意見を聞きましょう。

C114 : お風呂で考えて、湯気はいろんなところに広がるから空気も温まったら、そうなる。初めは空気がまとまっていたけど、へこんだところにも湯気みたいに広がって、空気がいろんな場所に散らばるから膨らんだのかなと思います。

C115 : C114 さんの意見に付け足して、最初は空気マンだけがかたまっていたから周りがへこんでいたけど、でも、熱が入ってきて温まって湯気みたいに周りに広がって行って、散らばって行って、周りにも端っこの方にも空気マンがいて膨らんだと思います。

T83 : 太る理論の人は分解理論は受け入れられない？それともいや結局同じこと言ってるなどと思う？ここが大事なんですね。同じことを言っているのかやっぱり違うのか。

C116 : 違う。

T84 : どこが違うのか誰か教えて。

C117 : 太る理論の場合は、空気が、ボールの中に元々入っていた空気が熱湯の中に入れるとその同じ量っていうか分解はされないで太るんだけど、分解理論の場合は、下の方にかたまっていた空気が分解されていろんなところに散らばったっていうから、太る理論の場合は空気マンは動いていないんだけど、分解理論の場合は空気マンが動く。

T85 : 違いが分かりました。なるほど。

C104 : 図 3 の考えをモニタリングし、理解できない部分を明らかにして質問することで学習を進めた。

C105 : 図 3 の考えで用いた「熱を食べる」という表現について説明を加えて表現し直した。熱によって空気の体積が増えることが多様に表現された。

T79 : あったかマン理論は否定的な評価のみであるため、太る理論の評価を促した。

C109, C110 : 図 3 の考えに理解を示し、肯定的に評価した。「空気と熱が合体、空気が熱を吸収する (C105, T79)」という表現を取り入れながら、考えを深化させた。

T80 : 筋の通った説明ができるのは太る理論と分解理論に絞られたことを示した。

T82 : 自らの考えをモニタリングするよう促した。

T83 : 図 5 の考えのモニタリングを促した。

C116, C117 : モニタリングによって図 5 の考えと図 3 の考えの差異を認識し、表現した。

教師は、学習の進捗状況を示した後、三つの考えの違いをモニタリングし、評価するよう促した (T66)。C90 は、ボールのどこを押しても押し返してきたという実験結果を根拠に、分解理論に否定的な評価をした。C92 は空気と水の性質の学習で構築した既存の科学概念を根拠に C90 の挙げた根拠は正しくないと発言した。いずれも、学級で構築している科学概念をモニタリングし、既存の科学概念と照らし合わせて筋が通るか否か評価を下した。その評価の根拠を明確にすることで、他の子どもも根拠を持って評価を行うことができ、学級で考えが深まった。以上、分解理論の評価の後には、あったかマン理論に話が及び、ボール全体が温かかったという実験結果を根拠にして否定的評価がされた (C93、C94)。問題を見いだす場で共有された「ボールの中に入っている量は同じ」という知識も付け加えられ (C95)、あったかマン理論の否定的評価は一層確かとなった。教師は、評価の根拠を板書して、ここまでの情報を可視化した (T74)。C103 もあったかマン理論に否定的な評価を下し、肯定的な評価をした根拠を聴くことで、あったかマン理論について適切に評価を下そうとした。このように、学級で合意形成する上では、様々な考えが表現され、評価を通して学級で一層深めていくことが必要である。

C104 は、太る理論の「食べる」という比喩が理解できていないことをモニタリング (メタ認知) し、太る理論で考える子どもに説明を求めた。理解についてのメタ認知、すなわちメタ理解が、自らの科学概念構築状況のモニタリングによってなされ、学習を進めたのである。比喩であることが C105 によって次のように説明された。「... (前略) ... 熱を食べるっていうのはたとえて、例えばボールの面を抜けて熱が入ってきて、その熱が空気マンに入って、合体みたいに、例えばスポンジに水が入るみたいに、これが、空気マンに熱が入るのが食べるっていうことの本当のこと。」という C105 の発言は、「食べる」、「スポンジに水が入る」といった巧みな喩えで「合体」をイメージしながら、「空気に熱が入る」ことを表現した。定型的な言い回しをするのではなく、概念を自らの知識を用いながら構築していく様子が見てとれる。

教師は、あったかマン理論は否定的な評価のみであるため、続いて太る理論の評価を促した (T79)。太る理論は、熱を吸収して温かくなった空気は膨らむという考えが実験結果と矛盾なく理解できることから、肯定的な評価がなされた (C109、C110)。ここで、教師は、太る理論と分解理論に絞られたことを示し (T80)、子どもに自らの考えのモニタリングを促した (T82)。分解理論で考えた子どもは熱を要因として、空気の粒が散らばったと考えを説明した。(C114、C115) 子どもは太る理論と分解理論の差異を指摘した (C116、C117) が、その差異は本単元の視点とは異なり、評価が下せないため、どちらも論理的な説明である。したがって、考察では、太る理論と分解理論が支持され、それぞれのイメージ (図 5、図 6) 共にあたためられた空気はふくらむという科学概念が構築された。

5. おわりに

科学概念は、自らの考え、実験結果、他者の考えなどをモニタリングし、評価をしながら論理的な説明を志向する中で構築された。その過程が科学概念すなわち、認知している知識とメタ認知的活動の往還である。論理的説明を目指した、対話という意味のやりとりは、既存概念を修正・更新する営みであり、メタ認知によって実現される。単に科学的な言葉を有しているだけではなく、科学概念をもちいて思考し、それを表現し、さらに評価を行うことで一層深まる学習活動となる。教師はこれを支援しているのである。こうした支援を受けて学習を繰り返すことが、自律的に問題解決を行う学習者の育成に寄与すると考えられる。

こうした、子どもによる自律的に科学概念を構築する活動は、本研究の中心点的な課題であった対話的な理科授業をデザインすることにより具現化することができた。上述した一連の子どもによる問題解決の諸過程において、それは見ることができる。「問題を見出す」場面での図 2、3 として示された「上昇説」と「膨張説」の提示がその端緒となった。この両説の検証を問題とすること子ども同士の対話の中で確認されたのである。「予想」の場面では実際に観察、実験として計画することが、表 2 に示すように彼らの対話を通して確認された。そして、観察、実験の結果、考察として図 4、5 に示すように熱概念を加味して、空気の熱による膨張が子どもにより対

話を通して考察され、結論として図6「分解理論」が帰結されたのである。一連の問題解決の諸過程で子どもは自らの考え方一貫して表現し、その内容について観察、実験の諸事実や他の子どもの考えとの対話を通して、科学概念の構築に至ったのである。言い換えれば、子どもによる対話のベースにはメタ認知があり、この繰り返しの通して彼らは科学概念構築へ至ることができたのである。理科授業において、自己調整的な学習の実現を見ることができたのである。

引用文献

- ディラン・ウィリアムス (2013) 「形成的アセスメント:効果的な学習環境における役割」 OECD 教育革新センター編 (2013) 『学習の本質』 明石書店
- Herscovitz ,O.,et al.,(2012),Metacognition in Science Education,Trends and Issues in Science Education,Vol.40, pp.167-169,Springer,Contemporary
- 文部科学省・国立教育政策研究所 (2012) 『平成 24 年度 全国学力・学習状況調査「小学校」報告書』 p.18-19
- 益田裕充,松原詩歩 (2012) 「小学生の電気回路作製時に現れる自己調整する能力と自己調整的な適応に関する研究」理科教育学研究,Vol.53,No.1,pp.123-132
- 和田一郎,熊谷あすか,森本信也 (2011) 「理科における自己調整的学習の成立過程の分析とその教授論的展開に関する研究」理科教育学研究,Vol.52,No.1,pp.121-133
- White,R.T.,(1988)Learning Science pp.22-40,Blackwell