

子どもによるメタ認知を基軸とした理科授業のデザイン

教育デザインコース 理科領域 小川 泰明
神奈川県三浦市立剣崎小学校 長沼 武志
教育学研究科 森本 信也

1. 問題の所在

現在日本の学校教育では、「基礎的・基本的な知識・技能の習得」、「知識・技能を活用して課題を解決するために必要な思考力・判断力・表現力等」、「主体的に学習に取り組む態度」が学力の3要素として規定されている（学校教育法、第30条第2項、第49条、第62条）。中でも「思考力・判断力・表現力」の育成は最重要課題として位置付けられている。学習指導要領において、すべての教科における「言語活動の充実」としてその具現化が求められているのである。理科教育に即して言えば、自然事象の観察、実験を通して、子ども自らにとって価値ある情報を選択、抽出し、それらを用いて論理的に事象の説明を試みる学力の育成である。

しかしながら、「思考力・判断力・表現力」の重要性が指摘されるにも関わらず、平成24・27年度小学校・中学校理科全国学力・学習状況調査の結果が明らかにしたのは、基礎的・基本的な知識や技能を活用し、自分の予想や仮説を立て、それを検証するために観察、実験を計画し実行していくこと、そして、得られた結果を分析・解釈し、それを整理し根拠として用いて考察を行っていくことに課題があった（国立教育政策研究所、2012,2015）。

こうした現状を踏まえ、解決の方策を検討するとき、中央教育審議会答申によって示された、「思考力・判断力・表現力」育成のための6つの活動はある重要な視点を与える。その具体的な活動は以下の通りである（中央教育審議会、2008）。

- ①体験から感じ取ったことを表現する
- ②事実を正確に理解し伝達する
- ③概念・法則・意図などを解釈し、説明したり活用したりする
- ④情報を分析・評価し、論述する
- ⑤課題について、構想を立て実践し、評価・改善する
- ⑥互いの考えを伝え合い、自らの考えや集団の考えを

発展させる

これら6つの活動には①から⑥へ、学習における具体から抽象という階層性が認められる。具体的な活動を基にした表現から始まり、解釈したものの表現へ、そして課題解決を通じた他者とのコミュニケーションへ、という学習の階層性である。

この学習の階層性を理科授業に置き換えると、それは観察、実験から事実を読みとり、意味付けて解釈するという問題解決学習におけるプロセスの質的向上として捉えられる。つまり、子どもが問題の追究という明確な見通しのもと、自らの考えを常に表現し、観察、実験により得られた事実、更には他者の考えと比較、吟味する中でより妥当性の高い、自分が納得できる考え方を構築していく学習である。その実現が求められているのである。

ここまでの議論から、次の課題が明らかである。それは理科授業において、「思考力・判断力・表現力」の学力の育成を志向するとき、メタ認知が必要不可欠であるということである。問題解決過程において、子どもが自らの考えの変容過程を常に自覚化することにより、こうした課題解決はなされるからである。

こうした活動の結果として子どもに習得される科学概念は、どのような状況で、どのように説明するのかが彼らに自覚されるので、活用可能性を帯びる。学力・学習状況調査における課題への解決策の1つとしてメタ認知が位置づけられなければならない根拠である。

2. 授業デザインにおけるメタ認知の意味付け

子どもの「思考力・判断力・表現力」の育成、それはどのような授業デザインの下で可能となるのかが議論されなければならない。「授業デザイン」という用語は当初、PDSと略語で記される、「設計（Plan）」「実施（Do）」「評価（See）」という一連の手続きに示されるように、行動主義的学習観に依拠して用いられてきた。ここでは、あらかじめ期待されるべき子どもの行動を教師が想定し、

外部からの条件づけによって、いかに望ましい行動変容を引き起こすかということに焦点が注がれた。ここに子どもがどのように学習するのかという視点は存在しない。一方、本論で使用する「授業デザイン」はメルルの言う第2世代の意味であり、構成主義的学習観に依拠している。子どもの論理に寄り添い、その本質に迫りつつ授業を構想するのである（Merrill, M.D., 1992）。

こうした視点に立つ授業論を検討するとき、藤岡の次の指摘は授業デザインにおいて、重要な示唆を与える。すなわち、「授業デザインにあっては、教師も子どもも同じ系の中であって、それぞれが自己を表現し、互いに相手を解釈しあい、引き込みあい、互いに相手を前提にしながら振舞っている」（藤岡, 1998）のである。ここにおける教師の役割は、「実体」としての知識の伝達者ではなく、子どもの学習を読み解き、必要に応じて柔軟に指導や計画を修正し、共に知識を作り上げていく支援者である。更に、学習が個に閉じているのではなく、他者との間に開かれたものであり、仲間や教師と対話的に学習を深めていく学習者像が明確に現れている。

理科授業において、こうした授業デザインの具現化を展望するとき、森本の「子どもが問いをもち、その反映として発言、あるいは演示等の積極的な情報探索活動を始めるとき、その問いは教室における大きな情報網すなわち、ネットワークの中の一つとして位置付けられていく」という指摘は、まさにこうした状況を言い表している（森本, 1999: 18）。つまり、子どもは自らの興味・関心、考え方を出発点として、自然事象へと働きかけ、個人の思考を他者との開かれた場へと位置づけ相対化し、教師は、子どもの認識に現れる科学の萌芽を適切に価値付けることでネットワーク化を促進し、整備することが理科授業デザインの内実と言えるのである。

そこで重要なのは、ネットワーク化された思考や興味・関心がクラスの構成員に受容され、共有されていることである。なぜなら、自らの思考や興味の中身との間に必然的な接点生まれ、発展や修正が志向されることで、個人の学習は拡大し、深化するからである。

この意味において、本論におけるメタ認知を基軸にした理科授業デザインの構想が必然性を帯びてくる。ネットワークに位置付けられた個々の思考が、クラスの構成員に共有される状況とは、自分が何を考えているのかを自覚化し、また他者が何を考えているのか、自分の考えとの差異は何かを思考する中で明らかになるからであ

る。

メタ認知を明確に理科授業デザインの中心に据えること、それは、子どもが自然事象に対する自らの考えを自覚化し、他者との関係性の中で修正・発展を志向する中で科学概念を構築していくこと、教師が子ども個々の潜在的な学習を読みとり、繋がりや対比を意識したネットワークを支援することによりなされる。

このような理科授業がデザインされるとき、現在の教育課題である「思考力・判断力・表現力」の育成に寄与することは想像に難くない。この学習において、子どもは他者との関係性の中に自らを表現し、絶えず他者と比較し、考えを吟味することを求められるからである。

3. 現代におけるメタ認知研究の概観

メタ認知の定義や分類について三宮は、大きく分けて2つ、静的な側面であるメタ認知的知識と動的な側面であるメタ認知的活動に分けられるとした（三宮, 2008）。メタ認知的知識とは、認知的活動の様々な特性について人がもっている知識であり、メタ認知的活動とは人の認知的活動を制御し、統制する働きである。

両者は相互関連し、メタ認知的知識をもとに認知的活動が起こり、メタ認知的活動を通じてメタ認知的知識が作られる。この関係を具体的な理科授業の事例で示したものが表1である。メタ認知的知識は理科授業で学習すべき問題に気付くことであり、それは予想や仮説という形で現れる。対応するメタ認知的活動は、観察、実験を通してメタ認知的知識を検証することである。それは推論という形でなされる。この推論の結果は新しいメタ認知的知識となり、また、新たな観察、実験を通してメタ認知的活動により検証されていく。

理科授業は基本的に、こうした2つの活動を子どもに自覚させることにより進められる。科学概念が構築されるという学習の様態を説明する考え方であり、この過程では当然のことながら思考力・判断力・表現力を駆使することが必須となる。

このような理科授業におけるメタ認知的知識とメタ認知的活動の往還が活性化されなければならない。その中でも科学概念の客観性を高める活動である考察を協同的に行っていくことが必須である。このことに関して、メタ認知能力を伸ばすための学習環境の1つとして三宮は、「仲間との共同思考の場としての授業」を挙げている（三宮, 1998）。そして、具体的な理科授業におい

表1 理科授業におけるメタ認知的知識とメタ認知的活動の解釈とその事例

メタ認知的知識 子どもがある時点で構築し、 保持している概念を基にして作られた問題	メタ認知的活動 子どもが構築し、保持している 科学概念を変容させようとする活動
<ul style="list-style-type: none"> 「食塩は水中でどのようにして存在するか」 (海水をなめたらしょっぱかったという生活経験や、 食塩が海水から得られるという既有知識から作られた問題) 	<ul style="list-style-type: none"> 「食塩は水中で目にみえない小さな粒になっているようだ」 (食塩が水に溶ける様子の観察、食塩水を蒸発させて 食塩を得た実験結果を基に推論がなされる)
<ul style="list-style-type: none"> 「食塩は水中で目に見えず小さな粒になっている。 食塩は溶けても重さは変わらないのだろうか」 (メタ認知的活動から得られた知識により作られた新たな問題) 	<ul style="list-style-type: none"> 「食塩は溶けても重さは変わらないようだ」 (水に溶かす前の食塩と水の重さが 食塩水の重さと同じことから推論される)

て、協同的な学習がメタ認知に果たす役割に関して、丸野ら（丸野・堀・生田，2002）、松浦ら（松浦・柳江，2009）の研究が報告されている。特に丸野らの視点は本研究において有用である。そこでは、グループディスカッションにおいて、素朴理論に基づくグループ編成の差異が、論証方略やメタ認知的発話に如何に影響を与えるかが分析されている。その中で、学習者が理論そのものの妥当性を検証する必要性のある状況に置かれると、メタ認知機能を働かせ、論理的な推論ルールや論証方略を積極的に活用することを報告している。

しかしながら、従来の理科授業におけるメタ認知研究は事例分析に留まり、メタ認知を重視した理科授業を如何にデザインするのか、という点については不明瞭である。そこで本論では、子どもと教師が対話を通してネットワークを構築し、メタ認知を働かせながら考えの発展を志向するという1つの授業デザインの導出を試みる。

4. 理科授業デザインの視点

4—1. 構築を目指す科学概念の内実

メタ認知を重視した理科授業デザインを考えると、問題解決過程において、自らの考えを常に自覚化させることによって、どのような科学概念を子どもに構築させていくのかを考える必要がある。なぜなら、構築させる科学概念の内実を捉えて、初めて、教師は子どもたちが適切に科学概念を構築しているかを評価し、授業をデザインすることが可能になるからである。このことを踏まえ、メタ認知の機能を基礎にして理科授業で構築させる科学概念を次の2つの視点から捉える。

1つは、子どもの考え方の多様性を認める視点である。すなわち、子どもがそれぞれ固有の既有知識や生活経験、あるいはイメージ等を出発点として自然事象の説明を試み、他者との協同過程で考えを相対化しながら、自身の興味・関心に従い情報を取り入れ、科学概念を構築して

いく学習である。このような子どもの思考の多様性を議論するとき、ホワイトの提唱する知識の記憶要素の論は着目に値する（White, R.T., 1988）。

ホワイトは、理科授業において子どもたちが記憶している知識の構成要素を普遍的な意味の記憶要素であるストリング、命題、知的技能、および特殊的・体験的意味の記憶要素であるイメージ、エピソード、運動技能に分類した。そして、これらの要素を統合し、問題解決場面で必要に応じて使用できる能力である認知的方略を設定した（森本，1999：11）。この視点から科学概念構築を捉えるとき、複数の記憶要素同士の結合、またその結合の様相として考えられる。

もう1つは、メタ認知的知識としての科学概念構築である。理科授業においてメタ認知的知識とメタ認知的活動の往還が重要であることはすでに述べた。ここでは、メタ認知的知識が更に3つに分けられることから、メタ認知的知識として科学概念が構築される意味を明らかにする。メタ認知的知識は、宣言的知識、手続き的知識、条件的知識の3つに分類される。宣言的知識は、知識の定義的な意味を表す。手続き的知識は、実際に知識を使用する際に必要となる知識である。条件的知識は、知識の使用が有効である状況についての知識である（森本，2013）。溶解概念を例に挙げれば、「物が水に溶けている液体が水溶液である」という定義的な知識が宣言的知識であり、「水に物を入れよくかき回し透明になったとき水溶液という」といった定義を調べる手段・方法についての知識が手続き的知識である。条件的知識は溶質を溶かしたときに溶液が濁っておらず、透明であるときに「水溶液である」と判断できる知識を指す。この3側面を考慮するとき、メタ認知的知識としての科学概念構築とは、子どもがどのような状況で、いかに説明できるかを理解し、また実際に説明できる状況を意味する。子どもはメタ認知的活動を通して、これら3側面を満たすメ

メタ認知的知識として科学概念を構築していく。

メタ認知の機能を基礎にし、理科授業において子どもに構築を目指す科学概念の内実が明らかである。端的に言えば、子どもによる自覚的な上述した記憶要素のネットワーク化とその深化・拡大である。こうした活動の具現化には、このような子どもの学習を支援する教師の役割が明確にされなければならない。次の視点である。

4—2. ネットワーク化を支援する教師の役割

上述したように、理科授業における子どもの科学概念構築の内実を捉えるとき、教師の役割は子どもがどのような記憶要素を使用し、自然事象を説明しようとしているのかを判断し、他者の考えや記憶要素との関連性を探らせる中で、記憶要素のネットワーク構築を支援することである。当然、理科授業が協同的に行われる場において、その支援は子どもと教師との対話を通して行われる。このような、対話的な授業における教師の支援を具体化するに際して、パリンサーの考えは有用である (Palincsar, A.S., 2003)。

パリンサーは対話的な授業を進める上で教師が取っている行動を次の6つに分析している。

- ①目立たせる (marking)
- ②もどす (turning back)
- ③復唱する (revoicing)
- ④表現させる (modeling)
- ⑤付け加える (annotating)
- ⑥まとめる (recapping)

教師は、これら6つの教授行動を通して子どものネットワーク化を支援していく。具体的には、子どもの考えや表現において重要な箇所を「①目立たせる、③復唱する」ことで対話を焦点化し、議論が本筋からズレてきたときには、話を「②もどす」ことで認識の深化を促す。また、常に考えを「④表現させる」こと、子どもの議論に新たな情報を「⑤付け加える」ことによって、多様な記憶要素の存在を背景とした認識の拡大を促す。あるいは、子どもたちのそれまでの議論を「⑥まとめる」ことにより、記憶要素同士の繋がりが対比を意識化させていくのである。子どもの多様な記憶要素による認識を前提として、それら記憶要素のネットワーク化による科学概念構築を教師の6つの教授行動により支援し、ネットワークを深化・拡大させていく。以上が本論における理科授業デザインの視点である。

5. デザインされた理科授業の概要

5—1. 授業の単元名

小学校第6学年「ものの燃え方と空気」

5—2. 授業の対象

国立大学附属小学校第6学年，対象児童41名

授業者は教職歴20年で、本稿の授業デザイン理論を熟知し、これを踏まえた上で実践した。

5—3. 授業の実施期間

平成26年4月～5月

5—4. 授業の内容・活動及びメタ認知の位置付け

本単元「ものの燃え方と空気」では、物を燃やしたときの物や空気の変化を推論しながら調べる活動を通して、物を燃やすには酸素が必要であること、新しい空気が常に入ってくることで燃え続けることが学習の目標である。本単元では表1に示すように、学習内容を5つにわけて計画した。更に、学習活動とメタ認知的知識との関連性についても分析した。表2にある1～12時でメタ認知的知識が徐々に深化されていくことを概観する。

「火の消し方」(1～2時)では、単元の導入として火の消し方を協働的に考え、実際にその方法を試して火を消す活動を通して手続き的知識が構築された。振り返りにおいて、「火の消し方はわかったが、なぜ火が消えたかわからない」ことに着目することで、次の学習へと繋がっていった。

「燃え方と空気の関係」(3～4時)では、前時との繋がりから、物が燃えることは空気と関係があるのではないかと、という問いから始まった。まず、燃え方と空気の間を予想し、集気瓶の中に燃えたらろうそくを入れる実験が行われ、徐々に火が消えていったという事実が集気瓶中の空気を炎が食べてエネルギーに変換したというイメージ等を用いて解釈され、手続き的知識が構築された。次に、本時の結論として空気には物が燃えるのを助けるはたらきがある、とことばでまとめ宣言的知識が構築された。最後に振り返りの場面で、「確かに空気が燃えることに関係していたことがわかったけど、空気の成分には、酸素、窒素、二酸化炭素があって、どの成分が関係しているのかはわからない」ことが明らかとなり、次の学習の問い、「空気のどの成分が燃えるのを助けるのか」が見出された。

「燃え方と空気の成分の関係」(5～6時)では、前時に作られた問いを検証するため、どの成分が燃えることと関係するのかが予想された後、100%酸素、窒素、

二酸化炭素中に燃えたらろうそくを入れる実験が行われた。酸素中で激しく燃えること、窒素、二酸化炭素中では燃えないことを観察し、炎は酸素を食べてエネルギーに変換できるが、窒素、二酸化炭素は変換できないイメージ等によって事象が説明され、手続き的知識の構築がなされた。そして、酸素が物を燃やすのを助け、窒素、二酸化炭素は助けない、とことばで学習がまとめられ、宣言的知識の構築がなされた。また、振り返りにおいては「燃えるときに空気を食べるだけだと燃えた後の集気瓶の中は真空になってしまうから、何かの気体を炎は吐き出しているはず」という考えをもとに、「酸素中で物を燃やす前後で空気の成分の割合はどのように変化するか」という次なる問いが見出された。

「燃え方と空気成分の変化」(7～8時)では、物が燃えるとき酸素が別の物に変わるのかを予想し、100%酸素中でろうそくを燃やし、火が消えた後の集気瓶内の空気成分の組成を気体検知管によって調べる実験を行った。酸素がすべてなくならず、二酸化炭素もわずかにしか出てこない結果から、炎が酸素を食べて二酸化炭素を吐き出すイメージ等により手続き的知識が構築された。更に、物が燃える時、酸素が使われ、二酸化炭素ができる、とことばで宣言的知識が構築された。ここでの振り返りでは、「物が燃えるとき酸素が二酸化炭素になるってわかったけど、実際どうやって入れ替わるのか」という次の学習の視点が見出された。

「空気の流れと燃え方の関係」(9～12時)では、物が燃えるときどのように換気されるのかという問いに対して予想がなされ、底なし集気瓶内に燃えたらろうそくを立て、線香の煙で空気の流れ方を探る実験が行われた。温められた空気は上昇するという既習知識を用いながら実験結果を説明し、酸素が下から炎に入り、二酸化炭素となって上から出て行くイメージ等によって手続き的知識が構築された。ここでの学習は、換気されて酸素が入ってくことで燃え続けることができる、とまとめられ宣言的知識が構築された。そして、単元全体を振り返ることで、「ものの燃え方と空気」に関して構築された知識の説明可能な状況が一層明確化された。

このように単元全体を概観するとき、授業の振り返りによって、構築された知識が子どもにとってその時点で説明する状況を明確化し、新たな問題解決を生起したことがわかる。どのような状況で知識が使えるかを自覚する、つまり条件的知識が構築されることで知識の説明す

る状況の拡大が志向されたのである。

更には、単元の進展とともに知識が説明する状況が拡大・深化する、すなわち条件的知識が深化する過程では、手続き的知識、宣言的知識も共に深化した。知識が説明する状況が徐々に鮮明になるにつれ、その説明に関わるイメージやことばが質的に高められ、科学的な色彩を帯び、洗練されていったからである。

理科授業においてメタ認知が機能するとき、言い換えれば宣言的知識、手続き的知識、条件的知識というメタ認知的知識の諸側面が学習場面において密接に関わり合い、深化を遂げるとき、学習が子どもにとって必然性のもとに進められ、自らが自覚的・随意的に使用できる知識として科学概念が構築された。

本稿では、表2の3～4時における「予想」と「考察」の発表場面を事例として、学習活動とメタ認知的知識との関連性について、以下で詳しく検討する。理科授業において「予想」は子どもの学習への見通しを示す活動であり、「考察」は学習についての振り返りを示す活動であり、共にメタ認知が最も機能する場面だからである。

6. 結果

分析対象とした授業における、「予想」と「考察」の発表場面の中心となるプロトコルを表3に示す。プロトコルにおいて教師の発言をT、児童の発言をC、クラス全体の同意等をCsとして表した。また、教師の教授行動に当たる部分を下線で示した。

7. 分析

上述した理科授業デザインの視点に基づき、表2の3～4時の「予想」と「考察」の発表場面において如何に授業がデザインされたのかを分析する。

7-1. 予想の発表場面

予想の発表場面では、最初にC1が空気を○で表し、火がその○を食べることで燃え続け、最終的に○がなくなることによって火が消えるという描画をクラスに発表した。この描画には、この後クラスの対話において追究され深められていく2つの視点を見ることができる。

1つは「火が空気を食べる」と擬人化したイメージで、物が燃えるときに空気が使われることを子どもなりに捉えている点である。もう1つは空気が使われることにより減少し、集気瓶内すべての空気がなくなり火が消えると捉えている点である。この2つの視点を潜在させるC1

表2 学習の流れ

次	「学習内容」 (授業時数)	学習活動とメタ認知を重視した授業デザインの視点
第 一 次	「火の消し方」 (1~2 時)	<p>[予想] 火の消し方にはどのようなものが考えられるか、予想し、発表し、クラス全体で共有する。 [実験・結果] 予想を検証するための実験方法を考え、実験を行い、結果をクラス全体で共有する。 【手続き的知識】火を消す方法が言える。</p> <p>[振り返り] 学習を振り返り、次時の見通しとなる問いを見出す。 【条件的知識】「どうして火は消えたのかな。空気が関係しているのかな。」</p>
	「燃え方と空気 の関係」 (3~4 時)	<p>[問い・予想] 火のついたろうそくを集気瓶に閉じ込めると、炎の様子がどう変化するかを予想し、発表し、クラス全体で共有する。 [実験・結果] 予想を検証するための実験を行い、結果をクラス全体で共有する。 [考察] 予想を基に描画やことばで考察を行い、発表し、クラス全体で考えを共有する。 【手続き的知識】物が燃える様子と空気を関係づけて説明できる。</p> <p>[結論] 考察により得られた具体的な解釈を抽象化し、ことばとしてまとめる。 【宣言的知識】「空気には物が燃えるのを助けるはたらきがある。」</p> <p>[振り返り] 学習を振り返り、次時の見通しとなる問いを見出す。 【条件的知識】「物が燃えるのには空気が関係している。でも、空気の成分には酸素、窒素、二酸化炭素があるぞ。どの成分が関係しているのかな。」</p>
	「燃え方と空気 の成分の関係」 (5~6 時)	<p>[問い・予想] 火のついたろうそくを酸素、窒素、二酸化炭素 100%で満たされた集気瓶に閉じ込めたとき、炎の様子の変化を予想し、発表し、クラス全体で共有する。 [実験・結果] 予想を検証するための実験を行い、結果をクラス全体で共有する。 [考察] 予想を基に描画やことばで考察を行い、発表し、クラス全体で考えを共有する。 【手続き的知識】物が燃える様子と酸素、窒素、二酸化炭素を関係付けて説明できる。</p> <p>[結論] 考察により得られた具体的な解釈を抽象化し、ことばとしてまとめる。 【宣言的知識】「酸素には物が燃えるのを助けるはたらきがあり、窒素、二酸化炭素にそのはたらきがない。」</p> <p>[振り返り] 学習を振り返り、次時の見通しとなる問いを見出す。 【条件的知識】「酸素が使われるだけだと、集気瓶の中は真空になるぞ。何か別の気体が出てないとおかしい。」</p>
	「燃え方と空気 成分の変化」 (7~8 時)	<p>[問い・予想] 火のついたろうそくを酸素 100%で満たされた集気瓶に入れ、火が消えた後の集気瓶内の空気の成分の様子を予想し、発表し、クラス全体で共有する。 [実験・結果] 予想を検証するための実験を行い、結果をクラス全体で共有する。 [考察] 予想を基に描画やことばで考察を行い、発表し、クラス全体で考えを共有する。 【手続き的知識】物が燃えたことによる空気の成分の割合変化を説明できる。</p> <p>[結論] 考察により得られた具体的な解釈を抽象化し、ことばとしてまとめる。 【宣言的知識】「物が燃えるとき、酸素が使われ、二酸化炭素ができる。また、火が消えたときでも酸素は完全になくなったわけではない。」</p> <p>[振り返り] 学習を振り返り、次時の見通しとなる問いを見出す。 【条件的知識】「物が燃えると酸素が使われて二酸化炭素が出てくることはわかったけど、空気中では実際にどうやって入れ替わるのかな。」</p>
第 二 次	「空気の流れと 燃え方の関係」 (9~12 時)	<p>[問い・予想] 物が燃え続けるときの換気のされ方を予想し、発表し、クラス全体で共有する。 [実験・結果] 予想を検証するための実験方法を考え、実験を行い、結果をクラス全体で共有する。 [考察] 予想を基に描画やことばで考察を行い、発表し、クラス全体で考えを共有する。 【手続き的知識】物の燃え方と空気の流れを関係づけて説明できる。</p> <p>[結論] 考察により得られた具体的な解釈を抽象化し、ことばとしてまとめる。 【宣言的知識】「換気されて酸素が入ってくことで燃え続けることができる。」</p> <p>[振り返り] 単元の学習を振り返り、物の燃え方と空気の流れを整理する。 【条件的知識】「酸素を含んだ新しい空気が入ってくことで、燃え続けられる。そのためには、燃えた後に出てくる二酸化炭素の出口が必要なんだ。」</p>

表3 授業のプロトコル

発話	プロトコル	教師による 教授行動
	《予想の発表場面》	
C1	丸が空気（空気を○で表す）で火が丸を食べると考えると、最終的に全部なくなるから火が消える。	
C2	皆が運動するときにご飯食べないと力がつかないのと同じように、火が空気を食べないと燃え続けられない。	
T1	<u>他にどうですか？</u> 同じような予想でもいいですよ。空気って言葉が使えたのは大事ですよ。目の前にあるのは空気の話。	目立たせる 表現させる
C3	僕も火が消えると思って、完全に密閉されてると、ずっと同じところにいると空気が入らなくて苦しいじゃないですか。それと同じで、さっきC2さんが言ったように、どんどん食べていくと空気が薄くなって、最終的には完全に空気がなくなると、火は燃えなくなると思います。	
T2	<u>非常に重要な視点だな。どうぞどうぞ、繋げてもいいよ。</u>	目立たせる 表現させる
C4	繋げてっていうか、僕もC3さんと同じで、人間でいう水の中に考えました。最初の方はまだ酸素が残ってるとして、水の中にいるとだんだん苦しくなってくる。水の中に潜っているように、火もだんだん酸素を使っていて、最終的に消えちゃう。	
C5	C4さんの聞いて思い出したんですけど、お風呂とか入ってるときに桶があるじゃないですか。かぶせて、そんなかに顔突っ込んで、しばらくして・・・	
T3	やったことある。 <u>絵で描いて。</u>	表現させる まとめる
C6	ここまで水があるじゃないですか。空気があるけど、呼吸をしてる間に空気を全部吸い込んじゃうから、その内火も苦しいっていうか、空気がなくなっちゃうと空気が吸えないみたいな感じだと思います。	
	《考察の発表場面》	
C7	僕たちは炎の体型で考えました。空気が多いときはたくさん空気を食べてたんですけど、空気がだんだん減ってくるといっぱい食べれない。だから、だんだん炎が痩せてきて消えちゃうと思いました。	
C8	僕たちの班はC7の班に付け足しをするんですけど、火はピーカーの中の限りのある空気を吸収し続けるから、後半は空気が薄くなり、火が燃える力が弱まって火が消えたと思いました。	
T4	もし、 <u>空気を一個ずつ食べてるんだったら同じ炎のままずっと燃えてるよね。なくなった瞬間にぱたっと消えちゃう。でも実際はちがったよね。っていうのを今、空気の濃さで表現してますね。</u>	復唱する
C9	僕たちの班は、食べられる量は同じだけど食べて自分の栄養になるものが減ってくと思いました。この赤い丸（窒素や二酸化炭素といった酸素以外の空気の成分）が食べても意味がないもので、白い丸（空気中の酸素）が食べられるもの。これを一個食べると一個これに変わる。栄養のあるものの数がどんどん減って、最終的には全部栄養がないものだから、吸っても意味がないということだと思います。	
T5	<u>同じこと言ってるのわかります？</u> その班も付け足せる？ <u>裏を返すとおんなじこと。ようは食べる物の量が？</u>	もどす 表現させる
Cs	減ってる。	
T6	<u>減ってるってことだからね。イメージわいてきました？</u> この矢印に注目して欲しいんです。矢印（C1の描画における、空気が炎の中に取り込まれることを表す矢印）。	復唱する 目立たせる
C10	私達はこの人を火と例えて、ハンバーグを空気と例えました。切り分けて食べるときは太るんだけど、少なくなると、最終的にハンバーグ食べられなくなっちゃって、痩せて火が消えるってことに繋がるんじゃないかと思いました。	
T7	<u>空気がたくさんあるってときには、いちどきに大きな塊食べれるんだよね？</u> 私マーブルチョコ（粒状のチョコレート）でイメージしたんだけど、 <u>マーブルチョコがいっぱいあるときに、一気に口の中マーブルチョコ入れました。味こいよね。その濃さを炎だと思って下さい。マーブルチョコが減ってきました。味は？</u>	もどす 付け加える 表現させる
Cs	薄くなる。	
T8	最後一粒になりました。味は？	
Cs	ちょう薄い。	
T9	<u>濃さの問題があるんですよ。まさにハンバーグと矢印がそうなんです。矢印の数が少なくなってるの気づいた？</u> 付け足しがあれば付け足し待ちます。	復唱する 目立たせる 表現させる
C11	僕たちの班は、ハンバーグと同じ考えで、欲張な人だったら好きな物とか最初いっぱい食べれるんですけど、なくなってくると寂しくなるから、ちょっとずつ食べる。それと一緒に、最初いっぱい食べるんだけど、だんだん欲張れなくなると、これをちょっとずつ食べるから、どんどん火が小さくなって、最後さっきの先生のマーブルチョコみたいに一個しかなくなっちゃって、これも食べちゃうと消えちゃうって考え方です。	

のイメージが起点となり、この後の対話を方向付けた。

C2 は「ご飯を食べないと力がわかない」という自分たちに身近なエピソードを挙げ、火にとっては空気がご飯であるというように、火が空気を食べることに意味付けを行い、物が燃えるときに空気がなぜ使われるのかという根拠を示すことで C1 のイメージにおける「空気を使って燃える」という点を補強した。T1 は C1, C2 の描画と発言から「空気」という言葉を「目立たせる」ことによって、物が燃えることを空気との関連から考えていることに価値付けた。そして、関連した予想の発表を求める「表現させる」教授行動により、この視点へと議論を焦点化してイメージを深化させることを促した。

T1 のこうした支援のもと、C3 は C1 のイメージにおける集気瓶内の空気がなくなり火が消えるという点について、「密閉されてる」というストリングと空気の入れ替えの無い閉鎖空間に居ると人は息苦しくなるというエピソードから、C1 の「空気がなくなり火が消える」というイメージの、「なぜ空気がなくなるのか」という部分の根拠を明らかにした。T2 はこの C3 の発言を重要な視点と価値付け「目立たせる」ことで、またこの視点から意見を繋げて「表現させる」ことで、密閉という言葉の意味をクラスで共有化し、深化させることを促した。

この C3 による集気瓶内の空気の出入りが無いという前提の明確化と T2 の価値付けを受けて、C4 は人が水の中に潜るとき体内の酸素が徐々に使われて息が苦しくなっていくというエピソードをもとに、集気瓶内の限られた空気が使われていくことで、火も苦しくなってやがて消えるというイメージを今までの議論に重ねていった。

C5 は C4 による水に潜った人間が苦しくなるイメージからお風呂場でのエピソードを想起し、浴槽で風呂桶をひっくり返して空気を閉じ込め、その中に顔を突っ込むと呼吸が出来るが、次第に苦しくなることを挙げ、このことと同様に集気瓶内に閉じ込められているろうそくの炎も苦しくなって最終的に消えるというイメージを更に重ねていった。T3 は C5 にことばによる説明だけでなく描画によって「表現させる」ことにより、クラス全体にイメージを共有化させてこれまでに出てきた議論の内容を「まとめる」ための支援を行った。

このように予想の発表場面では、C1 によってクラスに提示されたイメージに潜在する、「火が空気を使って燃える」、「空気がなくなり火が消える」という2つの視点が他の児童によるエピソードやイメージ、あるいはス

トリングといった記憶要素の付加によって徐々に顕在化し、クラスに共有化されていったことがわかる。

特に、空気がなくなり火が消えることの根拠として挙げられた、C3 による閉鎖空間における息苦しさ、C4 による水中での息の我慢、C5 による風呂桶と湯船で出来た空間での呼吸というエピソードの提起に見られるように、なぜ空気がなくなるのか、空気がなくなるとなぜ火が消えるのかが対話の進行とともに明らかにされ、実感的に理解されていったことがわかる。これらは前に発表した児童のイメージやエピソード、それまでにクラスで共有された考えをモニタリングし、考え方への根拠付けや別の視点からの再説明等を通して行われた。このように子どもはメタ認知的活動を機能させ、イメージやことばを様々なエピソードと関連付けてネットワーク化することで根拠を持たせ、自分たちの経験と結びつけた実感的なものへと変容させながら手続き的知識を構築していった。

また、こうした記憶要素の結びつきと深化は T1, T2 による重要なことば、焦点化させて深めさせたい状況を「目立たせる」支援、T3 によるイメージの視覚化やそれまでの議論を「まとめる」支援、T1, T2 による関連した意見を「表現させる」支援のもとなされた。C1, C2 の発言を基にして、T1 は燃え方を空気との関連から説明していくことをクラスに方向付け、C3 の発言を基に T2 は密閉ということばの意味する状況を明確化し共有することをクラスに促していった。これらの教師の支援が適切であったことは、子どもが教師の価値付けを受けながら、上述したように予想を深化させていった学習活動から保証される。メタ認知を基軸とした理科授業がデザインされたことが明らかである。

7-2. 考察の発表場面

考察の発表場面において、先ず初めに C7 はヒトが食べ物を食べないと痩せていくように、炎も空気を食べられなくなると痩せるというイメージの描画を発表した。このイメージは実験結果の時系列に沿って、次の3つの段階を説明しようとしている。集気瓶の中に火のついたろうそくを入れたとき、①初めは激しく燃え、②徐々に炎が小さくなっていき、③やがて炎が消えるという段階である。C7 のイメージでは各段階における理由をそれぞれ、①空気が沢山あるから沢山食べて激しく燃え、②空気が減ってきて食べる量が減るから炎が痩せて小さくなり、③最終的に痩せ過ぎて消えると説明した。

C8 は C7 のイメージに補足する形で、予想でも出てき

た「限りのある空気」というストリングを用いて根拠を示しながら②の段階を空気が薄くなると表現し、③の段階を燃える力が弱まったと説明し、イメージを重ねた。T4はC7、C8のイメージを媒介とした3つの段階の説明を解釈し、言い換えて「復唱する」ことで実験結果における燃え方の変化、すなわち①と②の段階を空気の濃さの変化で捉えようとしている点をクラスに共有させた。

C9はより論理的に各段階を説明しようと試み、空気を食べる量は同じだが、食べる空気の栄養のあるなしの割合が変化していくイメージを「栄養のある空気」、「栄養のない空気」というストリングを用いてクラスに発表した。①の段階を栄養のある空気を沢山食べて同じだけ栄養のない空気を出す過程、②の段階では空気の変換が進み、ほとんど栄養のない空気が割合を占めており、食べた空気の中に栄養のある空気がほとんど含まれない状態だとし、③の段階は更に空気の変換が進み、最終的にすべての空気が栄養のないものとなり食べても意味がないので炎が消えると説明した。

T5はC9による栄養のある空気と栄養のない空気との変換による説明によって、対話の流れが「炎は空気を食べた後に何か吐き出すのか」という視点にずれることを事前に防止するため、C9の表現とC7、C8の表現は一見異なることを説明しているように見えるが、結果的に同じことを言っていると指摘し、①と②の段階における空気の取り込み方の違いへと対話の焦点を「もどす」支援を行った。そして、C7、C8、C9のイメージに共通する「食べてエネルギーになる空気が減っている」点を子どもにことばで「表現させる」ことでこれらのイメージを結びつけ、T6の「復唱する」支援によって共有化させた。T6は更にC7による描画における空気の粒が炎の中へと移動することを示した矢印を「目立たせる」ことで、①と②の段階における空気が炎の中に取り込まれる様子の違いについて考えるよう対話の焦点化を図った。

C10はC7、C8とほぼ同じイメージで、空気をハンバーグ、炎をヒトに例え、ハンバーグを切り分けて食べるように空気も少しずつ使われるというイメージで説明した。しかし、この説明では炎が常に同じ量の空気を食べていくこととなり、①と②の段階における燃え方の違いまでは説明出来ない。

そこで再度①と②の段階における燃え方の違いへと対話の焦点を「もどす」ため、T7は「空気が沢山あるときは一度に沢山食べ、空気が少ないときは一度に食べる

量が少ない」という新しい視点をマールチョコのエピソードによって「付け加える」支援を行った。沢山のチョコを口に入れたときの味の濃さ、チョコが少なくなると食べ惜しむように少しずつ食べて味は薄くなる、というような生活経験を想起させること、加えてことばで「表現させる」ことで新しい視点をクラスで共有化した。

新しい視点の提供の後、T9はC10によるハンバーグのイメージとC7による描画の矢印との関係を「味の濃さ」という視点から整理して「復唱する」ことで結びつけ、C7の描画における矢印の本数が①から②の段階にかけて減少していることを「目立たせる」ことを通して、①の段階では炎が激しく燃え、②の段階では徐々に炎が小さくなったことを包括的に説明可能な考え方を「表現させる」ための支援を行った。

T7、T8、T9の一連の支援を受け、C11はC10によるイメージのハンバーグを「好きな食べ物」に置き換え、①の段階を「欲張りなヒトは好きな物を最初いっぱい食べる」、②の段階を「欲張れなくなり、少しずつ食べる」というようなエピソードや命題を含むイメージで、③の段階をT9によるエピソードを基にした、最後の一欠片を食べきってしまうと消えるというイメージで説明した。

このように考察の発表場面でも予想の発表場面と同様に、イメージを基にした描画が対話の起点となり、更なるイメージの重ね合わせやエピソードの付加、ストリングや命題による解釈が行われ、実験結果の3つの段階を論理的に説明し得る科学概念を構築していった。

具体的には、先ずC7、C8による①と②の段階の炎の大きさの違いがまだ曖昧であるイメージから始まり、C9による新たなイメージによって①と②における差異の解釈が試みられることでイメージが拡大された。また、それと同時に「栄養のあるもの」、「栄養がないもの」といったストリングが説明に使用されることで、酸素や二酸化炭素といった空気の成分と物の燃え方という次の学習の視点が内包されていった。次いでC10によるヒトとハンバーグの例えによってC7、C8によるイメージの具体化がなされ、最後にC11がハンバーグを好きな物に一般化し、「好きな物が沢山あると、一気に食べる」、「少なくなるとちょっとずつ食べる」という子どものエピソードを基にした命題を含むイメージへと深化させることで、「物が燃える」という科学概念が意味する状況を空気との関係から子どもなりに明らかにしたのである。

この過程では、予想の発表場面と同様にメタ認知的活

動を通した記憶要素の深化とネットワーク化による手続き的知識の構築に加え、C9 のイメージ中に現れた「栄養のあるもの」、「栄養のないもの」という酸素と二酸化炭素を意味するストリングのように、次の学習である「燃え方と空気の成分の関係」へと繋がっていく考え方を見ることが出来た。そして実際に、授業の終わりに行われた振り返りの場面で、C9 のイメージに対して突っ込んで考えることで「空気の成分」という視点を見出し、次時の学習の問いを作り上げていった。すなわち、C9 のイメージや考え方が、メタ認知的活動を通した手続き的知識の構築過程において、条件的知識の萌芽としての色彩を帯びていったのである。

上述した記憶要素の深化とネットワーク化、メタ認知的知識としての科学概念構築は次のような教師の支援のもとなされた。T6, T9 で子どもの表現を「目立たせる」ことで、また T7 で新たな情報を「付け加える」ことによって、一貫して炎の大きさの変化へと子どもを意識付け、T5, T7, T8, T9 でその視点から「表現させる」ことを促した。更に、T4, T6, T9 にみられるように子どもの考えを「復唱する」ことでその時点でのクラスの考え方を整理して共有し、T5, T7 では対話の焦点を本筋へ「もどす」ことにより論理的な科学概念構築を支援したのである。こうした子どもと教師による対話的な理科授業においては、子どもの学習と教師の支援が相互連関することで科学概念構築がなされることが明らかである。

8. おわりに

本稿では、メタ認知を視点として授業実践の分析を行い、メタ認知を基軸とした理科授業が以下の諸点を必須要件としてデザインされることを明らかにした。

- ・学習者個人の記憶要素が他者の記憶要素とネットワーク化されることで深化・拡大され、子どもなりの論理を基盤とした科学概念が構築された。
- ・対話を媒介としてメタ認知的活動が機能することで、子どもに構築される科学概念はメタ認知的知識としての性質を帯びた。
- ・教師による6つの教授行動を通じた子どもの学習の価値付けにより、子どもの学習と教師の支援は相互連関し、メタ認知的活動と記憶要素のネットワーク化は促進された。

以上の視点を具備する、メタ認知を基軸とした理科授業のデザインは、子どもにおける「思考力・判断力・表

現力」の育成に寄与すると考えられる。

引用・参考文献

- ・ 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』
- ・ 国立教育政策研究所 (2015):『平成 27 年度全国学力・学習状況調査【小学校】報告書』
- ・ 三宮真智子 (2008):『メタ認知』, 北大路書房
- ・ 三宮真智子 (1998):「メタ認知能力を育てる授業」『指導と評価』2 月号, 図書文化社, pp.36-39
- ・ 中央教育審議会 (2008):「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について (答申)」
- ・ Palincsar,A.S. (2003): Collaborative Approaches to Comprehension Instruction,*Rethinking reading comprehension*,p.109,The Guilford Press
- ・ 藤岡完治 (1998):「授業をデザインする」浅田匡・生田孝至・藤岡完治『成長する教師—教師学への誘い』金子書房, p.12
- ・ White,R.T. (1988): *Learning Science*,pp.22-40,Basil Blackwell.
- ・ 松浦拓也・柳江麻美 (2009):「協同的な学習におけるメタ認知に関する事例的研究 - 中学校理科における話し合い場面を中心にして -」『理科教育学研究』50 (2), pp107-116
- ・ 丸野俊一・堀憲一郎・生田淳一 (2002):「ディスカッション過程での論証方略とメタ認知的発話の分析」『九州大学心理学研究』3, pp.1-19
- ・ Merrill,M.D. (1992): Constructivism and Instructional Design,in Duffy,T.M. & Jonassen,D. H.(eds.).*Constructivism and the Technology of Instruction*,pp.99-114,Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.
- ・ 森本信也 (1999):『子どもの学びにそくした理科授業デザイン』, 東洋館出版社
- ・ 森本信也 (2013):『考える力が身につく対話的な理科授業』, 東洋館出版社