

京都教育大学
平成 28 年度 修士論文

科学的モデルを構築・活用する力を育成する
理科授業の開発

教育学研究科
教科教育専攻 理科教育専修
伊豆蔵 功己

指導教員：谷口 和成
指導教員：沖花 彰

目次

第 1 章	緒言	3
第 2 章	認識の構成に関する諸理論	6
2.1.	ピアジェ (Piaget) の理論	6
2.1.1.	発生的認識論	6
2.1.2.	発達段階論	7
2.2.	ヴィゴツキー (Vygotsky) の理論	9
2.2.1.	発達の最近接領域 (ZPD)	9
2.3.	認識に着目したプログラム (CASE プログラム)	11
2.3.1.	CASE プログラムの開発背景	11
2.3.2.	CASE プログラムの授業展開	11
2.3.3.	CASE プログラムの教材	13
2.4.	諸理論の本研究への応用	16
第 3 章	中学校 1 年生の実態	17
3.1.	調査問題の開発背景	17
3.2.	調査問題の開発	23
3.3.	実態調査の実施	34
3.3.1.	対象生徒について	34
3.3.2.	実態調査の結果	36
(1)	モデルの認識調査の結果	36
(2)	モデルの使用調査の結果	39
3.4.	第 3 章のまとめ	41
第 4 章	中学校 1 年生における授業の開発	42
4.1.	単元「物質の状態変化」の構成と特徴	42
4.2.	開発した授業	45
4.2.1.	モデルを用いて思考する現象	45
(1)	教科書で扱われる現象	45
(2)	考案したモデルを用いて思考する現象	45
4.2.2.	授業内容	48
4.3.	開発授業の実践	53

4.3.1.	開発授業の実践概要	53
4.3.2.	開発授業の実践結果と考察	53
(1)	モデルの使用調査の分析	53
(2)	ワークシートの分析	56
(3)	授業記録の分析	58
4.4.	第4章のまとめ	65
第5章	中学校2年生における授業の開発	66
5.1.	単元「大気中の水蒸気の変化」の構成と特徴	66
5.2.	開発した授業	68
5.2.1.	モデルを用いて思考する現象	68
5.2.2.	授業内容	69
5.3.	事前調査（モデルの使用調査）の実施	73
5.4.	開発授業の実践	76
5.4.1.	実践内容	76
5.4.2.	結果と考察	77
(1)	モデルの使用調査の分析	77
(2)	ワークシートの分析	80
(3)	授業記録の分析	83
5.5.	授業の再提案	91
5.6.	第5章のまとめ	92
第6章	中学校3年間を通したモデルの構築を促す授業	94
6.1.	2年間を通した授業実践	94
6.1.1.	2年間を通した授業実践の概要	94
6.1.2.	2年間を通した授業実践の分析	94
(1)	モデルの認識調査の分析	94
(2)	モデルの使用調査の分析	98
6.2.	中学校3年生における授業の提案	100
6.3.	第6章のまとめ	102
第7章	結言	103

第1章 緒言

型や模型、模範など、モデルには様々な意味が存在するが、電流を水流に例えて思考する水流モデルなどの自然科学及び理科教育の分野で用いられるものは特に、‘科学的モデル（以下、モデル）’と呼ばれている。ここでいうモデルとは、理科教育用語事典¹⁾と理科重要用語 300 の基礎知識²⁾を参考にして、「直接五感で観察しえない構造、機構を情報から推論し、その推論を既知の推体物で表したもの」を指すこととする。

このモデルについて、Gilbert ら³⁾が「モデルは理論よりも知覚的に理解し易いために、科学研究を行う上で重要な役割を担っている」、Treagust ら⁴⁾が「科学的モデルは科学的プロセスの重要な一部分である」、原⁵⁾が「『モデル』は科学・技術のあらゆる分野に浸透しており、またすべての分野にとってなくてはならないもの」と述べている。このことから、モデルは、理科（科学）において重要な考え方であるといえる。その中でも、特に「粒子モデル」は、現行の中学校学習指導要領⁶⁾において、理科の目標「自然の事物・現象についての理解を深め、科学的な見方や考え方を養う」にあるような、「科学的な見方や考え方」として重要な位置づけとなっており、学校現場でその重要性が謳われている。

しかし、中学校学習指導要領では、具体的なモデルの指導方法は明記されていない。また、学習到達度調査⁷⁾では、日本の生徒が「モデルの使用や応用を重視した理科の授業」があまり活発に行われていないと認識していることが明らかとなっていることから、モデルの指導方法が確立されていないことが分かる。さらに、峯崎ら⁸⁾や森本ら⁹⁾によって、中学生における粒子モデルの定着不足が、雲財ら¹⁰⁾や丹沢ら¹¹⁾によって、モデルの役割や性質の認識不足が指摘されている。また、国立教育政策研究所が行った「特定の課題に関する調査」¹²⁾の結果でも、状態変化や化学変化の学習で、粒子モデルを用いて質量の保存に関する学習をしているにもかかわらず、その理解が深まっているとは言い難い状況であることが明らかになっており、粒子モデルや原子・分子のモデル等を使った指導の工夫を求めている。以上から、生徒がモデルを用いた思考を獲得するために、具体的な指導方法の確立が求められているといえる。

そもそも粒子モデルは、山口¹³⁾が「物質が「目に見えない粒子の集まりである」とする見方や考え方の定着は簡単にはいかない」、今村¹⁴⁾が「微視的な捉え方が日常とかけ離れていて非常に難解」、三輪¹⁵⁾が「『すべての物質は粒子からできている』と説明しても目に見えないものをイメージさせることは難しい」といつていることから、中学生の概念的理解は難易度が高い。また、ピアジェの理論を基に考えても、粒子モデルのような抽象的な思考が

求められる形式的モデルの構築には、認知的に高次であるシェマを獲得する必要があるといえる。

そこで、英国には、ピアジェとヴィゴツキーの理論に基づき、理科の授業を通じて、生徒の認知能力の向上（CA）を目的とした CASE プログラムが存在する。その教材には、目に見えない現象を説明するために、班や全体での討論を通して繰り返し、モデルを考える活動を行い、シェマ「形式的モデルの構築と使用」の獲得を目指したものがある。実際、日本において、野ヶ山ら¹⁶⁾や平島ら¹⁷⁾によって授業実践も行われ、不完全な粒子モデルながらも自発的な出現に成功しており、モデルの構築を促すことに、一定の成果を上げている。しかし、これらは全て、小学校理科「ものの溶け方」の単元における単発的なはたらきかけとなっており、科学的モデルとしての粒子モデルの獲得には継続的なはたらきかけが求められていた。

以上を踏まえて、本研究では小学校理科との学びの連続性を踏まえて、認知促進に着目して、中学校 3 年間を通した科学的モデルを構築・活用する力を育成する理科授業を開発することを目的とした。ここでいう、‘活用’とは、自分が構築したモデルを用いて思考することを指す。

第 2 章では、本研究において授業を開発する際に参考にした、認識の構成に関する諸理論について述べる。第 3 章では、本研究を行うにあたり、①自然現象に対してどのように思考するのか、特にその時のモデルの使用状況、②モデルの役割や性質に対してどのように認識しているのか、という 2 つの視点から中学生のモデルを用いた思考の実態を把握することを目的として、調査問題の開発、実施について述べる。また、ここでは、小学生時にモデルの構築を促す授業を経験した生徒とそうでない生徒の結果を比較することによって、小学生時に経験したモデルの構築を促す授業の有効性を検討する。第 4 章では、中学校 1 年生を対象にしたモデルの構築を促す授業を、第 2 章の諸理論を参考に、単元「物質の状態変化」で開発、実施し、その効果を検討する。特に、授業中に必要な教師の介入や班討論の効果を具体的に明らかにすることを目指す。第 5 章では、第 4 章と同様に、中学校 2 年生を対象にしたモデルの構築を促す授業を、単元「大気中の水蒸気の変化」で開発、実践し、その効果を検討する。特に、討論の効果、また教師の適切な介入を明らかにすることを目指す。第 6 章では、中学校 1 年生、中学校 2 年生と 2 年間を通して、モデルの構築を促す授業を行い、モデルを用いた思考にはたらきかけた効果を検討する。ここでは、「モデルの使用調査」と「モデルの認識調査」の結果からその効果を検討する。そして、それらを踏まえて、

中学校 3 年生におけるモデルの構築を促す授業を提案し，中学校 3 年間を通したモデルを構築・活用する力を育成する理科授業を開発することにする。

第2章 認識の構成に関する諸理論

本研究においてモデルの構築を促す授業を開発する上で、認識の構成に関する理論を参考にした。本章ではその諸理論について説明する。

2.1. ピアジェ (Piaget) の理論

2.1.1. 発生的認識論

ピアジェは、子どもの「認識」を調査し、「発生的認識論」と呼ばれる理論を確立した。それは、「認識」が個人の中で、環境から得られる情報に対して、「同化 (assimilation)」「調節 (accommodation)」「均衡化 (equilibrium)」を行うことで、誰もが年齢とともに認識が構成されていくという考え方である。「同化」「調節」「均衡化」について詳しく述べる。

「同化」とは、生物の文脈でも用いられ、生物の専門書には、「同化 (assimilation)」というのは、生物が外界から取り入れた養分を自分のからだをつくる成分に変えることをいいます。英語の *as-similate* とは「自分のものにする」という意味です。」¹⁸⁾と記載されている。その生物の文脈における同化を踏まえて、「認知的行為もまた諸対象を機能的に取り込んで行為 (シエム) の保存と拡張に役立てようとするので、これも一種の同化である」¹⁹⁾とピアジェは考えている。つまり、人は環境から得られる情報に対して、自分のシエマを拡張して理解し、自分のものにするという同化を行う。

しかし、自分の持っているシエマと環境から得られる情報との間に矛盾が存在すると、理解できず葛藤 (認知的葛藤) が生じ、自分の持っているシエマを拡張するだけでなく、変える必要が出てくる。この場合に、自分の持っているシエマとの矛盾を解消するために、シエマを作り変えるという「調節」を行う。

このように、人は環境から得られる情報と、自分の持っているシエマとの均衡を保とうとする。この、「同化」を行うことで生じた、自分の持っているシエマと環境から得られる情報との矛盾を解消する「調節」を行って均衡を保とうとする心的作用のことを「均衡化」とよぶ。

さらに、ピアジェは、「均衡破壊を再構造化する「再均衡化」が「発達の動力」になりうる」²⁰⁾や、「対象を認識するということは、対象にはたらきかけてそれを変換し、その変換を通じて対象の諸特性を発見することである。」²¹⁾と述べている。これを解釈すると、人間は対象、つまり環境から得られる情報に対して「同化」「調節」「均衡化」を繰り返し行い、自分のシエマを変換することで、認識を発達させ、それを基盤としてまた別のものを理解す

るものであるといえる。

2.1.2. 発達段階論

ピアジェは、2.1.1.で述べた、「発生的認識論」の立場から認識の発達を捉えて、児童・生徒はある段階を経て、認知発達していくものであるとする。ピアジェはその段階を、感覚運動期・前操作期・具体的操作期・形式的操作期の4つの段階（図2-1）に区分して考え、この発達の段階の出現は常に一定であり、順序が変わったり、出現しない段階があったりはないとしている。

では、以下にそれぞれの発達段階について詳しく述べる。

(1) 感覚運動期（period of sensory-motor intelligence）

この段階は目安として、0歳から2歳ごろまでであり、見たり聞いたりといった感覚や運動によって、対象を認知する。この段階において、感覚器から新しいものを受容したり、刺激などを外界から求めたり、周囲との関わりの中で、運動機能の発達や外界の認識をできるようになる。

(2) 前操作期（pre operational period）

この段階は目安として、2歳ごろから7歳あるいは8歳ごろまでであり、机などの無生物にも、それ自身の霊魂（アニマ）が宿っている、つまり生きていると考える、アニミズムが表出する段階である。また、あるものを他のものにみたてて遊ぶ、いわゆる象徴的遊びが盛んになるのもこの段階である。最も大きな特徴としては、自分が対象を見たときに、他者も同様に見ていると考え、自己中心的な表象に基づいて思考するところである。つまり対象に対する個々のイメージを中心として考えるため、大人の抽象的・論理的な考え方と比べて行為中心的であり、より具体的である。この段階の後半は、概念化がより進んでいき、推理や判断が、部分と全体、特殊と一般といった関係の中で、ある程度捉えることができるようになっていく。しかし、まだまだある対象に対して、視覚的に、自分が見たある特徴への中心化から離れることができず、直観に重きが置かれ、論理的操作は見られない。

(3) 具体的操作期 (concrete operational period)

この段階は目安として、7 歳から 12 歳ごろまでである。後述するが、この段階において初めて「操作*」を獲得する。視覚的に捉えたものに左右されず、対象に対して論理的に思考することが可能になってくるが、あくまでもこの対象は、具体的なものに限定されており、抽象的なものに対しては具体物などの支援や経験なしでは思考することができない段階である。

*「操作」について

ピアジェは思考を活動の内化したもの、すなわち心内活動として考えている。前操作期までは、まだそれぞれ別々に内化していた心内活動は、具体的操作期、更に言えば、形式的操作期になるにつれて、それらがつながり、大きな 1 つのまとまりをもつようになる。このように、それぞれの心内活動はお互いに関係し合って、1 つのものに組織化され、この心内活動の構造を、ピアジェは「操作」と言っている。いわば、論理的思考の枠組みのことである。

(4) 形式的操作期 (formal operational period)

この段階は目安として、12 歳以降である。具体的操作期では、論理的思考が可能とはいえ、対象が具体的なものに限定されていたが、この段階はあらゆるものに対して論理的思考が可能になる。また、特徴としては、仮説演繹的な思考形態が成立し、あるものに対して全ての可能性を発見し、現実をその中の一つとして捉えることができる点である。そして、思考の対象が現実そのものではなく、それを含んだ考えなど命題となる。つまり、科学的推理ができる前段階であり、その命題の関係性などを捉えることができる。加えて、事象同士を関係づけて捉えることもできる。

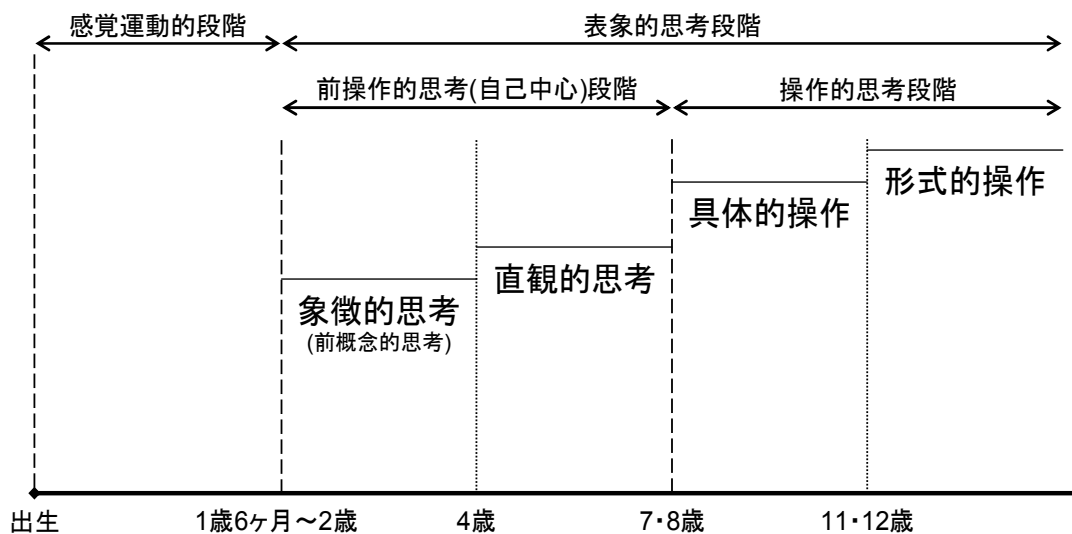


図 2-1 ピアジェの発達段階モデル

2.2. ヴィゴツキー (Vygotsky) の理論

2.2.1. 発達の最近接領域 (ZPD)

ヴィゴツキーは、「できる」「できない」に二分化されていた学習状況を見直し、「できない」にも「一人では解決できないが、他者からの助けがあれば解決できる」ものと「他者からの助けがあっても解決できない」ものがあることに、焦点を当てた。そこで、それらの境界を「発達の最近接領域」(Zone of Proximal Development : 以下 ZPD と略記) と呼んだ (図 2-2)。これらにはたらきかけることが、教育の意義であるとヴィゴツキーは述べている。一人で解決できる課題や他者からの助けがあっても解決できない課題であった場合、生徒が葛藤しないままに課題を解決してしまったり、葛藤もしないままに課題に取り組むのを諦めてしまったりすることもあり、生徒の発達段階の向上は期待できない。つまり、生徒たちに与える課題は、生徒たちの発達の最近接領域に応じたものでなければならない。その生徒たちの発達の最近接領域を見極めるためには、生徒の発達段階というものを把握する必要がある、先述したピアジェの発達段階論と組み合わせて考える必要がある。



図 2-2 発達の最近接領域

ここで、最近接領域の考え方においては、他者からの助けが必要不可欠であることが明らかである。つまり、他者との関わりが、発達において大切であるとヴィゴツキーは考えている。実際、ヴィゴツキーは、「あらゆる高次の精神機能は、子どもの発達において二回あらわれます。最初は集団的活動・社会的活動として、精神間機能として、二回目には個人的活動として、子どもの思考内部の方法として、すなわち精神内機能としてあらわれます。」と提唱している²²⁾。これを、柴田²³⁾の解釈を参考にすると、最初、他の人々との協同作業のなかで、外的な「精神間機能」として現れ、やがて個々人の「精神内機能」、つまり論理的思考や道徳的判断、意志などの様式へと転化するとした。生徒の課題解決能力の発達は、他者との社会的文脈の中で起こるものであるとしているのである。

2.3. 認識に着目したプログラム（CASE プログラム）

2.3.1. CASE プログラムの開発背景

CASE プログラムは上述した、ピアジェとヴィゴツキーの理論に基づいて構成され、理科の文脈を通して、子どもの思考にはたらきかけ、認知発達の促進（CA）を目指したプログラムである。

1974 年から 1980 年にかけて、Shayer や Adey らはイギリスの中等学校生徒の認知能力が、ピアジェの理論と一致するのか確認することを目的として、CSMS 調査（the Concepts in Secondary Mathematics and Science Programme）²⁴⁾を行った。その結果、認知発達において段階は存在し、ピアジェの理論と一致することが明らかとなった。

一方で、ピアジェが報告している認知能力の発達年齢に比べて、現実の発達段階の分布は遅れていること、また現行の理科のカリキュラムが実際の生徒の発達段階を超えていることも明らかとなった²⁵⁾。

そこで生徒の発達段階と、現行の理科のカリキュラムとを一致させることを目指し、CASE プログラムは開発された。

2.3.2. CASE プログラムの授業展開

CASE プログラムでは上述したヴィゴツキーの理論を基礎として、具体的準備・認知的葛藤・社会的構成・メタ認知・ブリッジングという 5 つの「柱」で授業が構成されている（図 2-3）。それぞれについて、詳細を以下に述べる。

1) 具体的準備（Concrete preparation）

生徒たちに課題を与えたとしても、用いられる用語や活動の意味が分かっていなければ、課題に対する本質的な思考、つまり認知的葛藤をさせることはできない。そこで、具体的準備では、課題に用いられる、新しい用語に慣れさせることで、生徒が遭遇する困難が、用語や状況によるものでないようにする。

2) 認知的葛藤 (Cognitive conflict)

生徒が自分一人では解決することができない課題に遭遇する時に起こるものであり、認知的葛藤をすることで、生徒の認知発達は促される。認知的葛藤の原理は、ヴィゴツキー(1978)によって研究された「発達の最近接領域」(Zone of Proximal Development: 以下 ZPD と略記) の考え方に要約されているものでもある。2.2.1.で述べたが、ZPD とは、「一人では解決できないが、他者からの助けがあれば解決できる」ものと「他者からの助けがあっても解決できない」ものとの境界に位置する領域である。

3) 社会的構築 (Social construction)

討論を通して、理解を構築するためのものである。2.2.1.で述べたヴィゴツキーの理論を受けて社会的構築では、他者に話しかけ、他者と議論し、他者同士の議論を耳にするといった、他者との関わりの中で、生徒が理解を構築するように設定されている。したがって、CASE プログラムの授業では、グループ討論やクラス討論が必ず設定されており、授業の結論よりも討論をする過程に重きが置かれている。特に認知的葛藤が生じたところでの討論は、非常に重要となってくる。

4) メタ認知 (Metacognition)

メタ認知とは「自分自身の思考について、思考すること」を意味する。生徒が、ある課題を解決するとき、その課題の何が難しかったのか、自分がその課題に対してどのように思考したのかを、考えるのである。そうすることで、思考を一般化し、理解を内的なものとする。しかしメタ認知は非常に難しい活動であり、容易にできるものではない。そこで CASE プログラムでは、「メタ認知しようとして、もがいている時に行っていること」も含めて、メタ認知としている。

5) ブリッジング (Bridging)

CASE プログラムの中で、ある特定の文脈において思考した形式を、他の文脈において用いたり、日常生活における様々な経験と結び付けて思考したりすることをいう。その結果、CASE プログラムで習得した思考の形式を、一般化することができる。

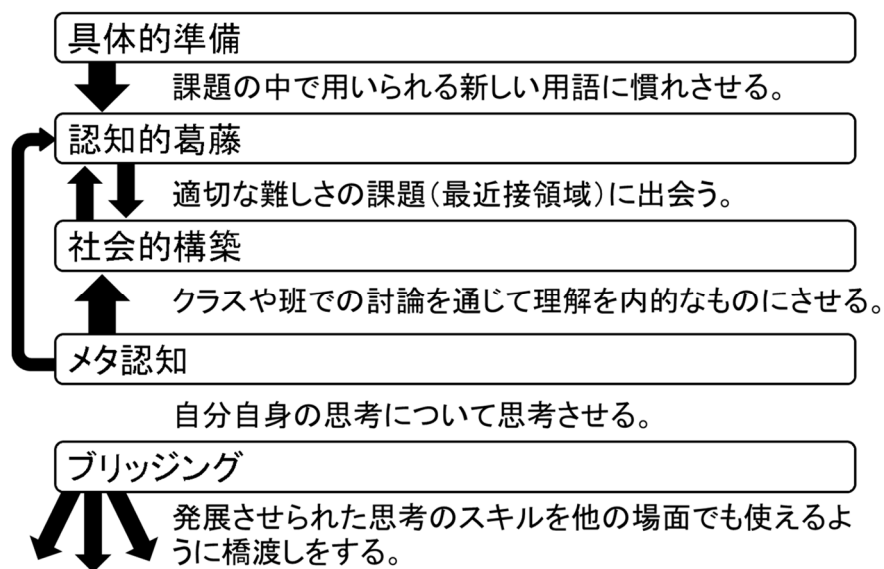


図 2-3 CASE の授業展開

2.3.3. CASE プログラムの教材

CASE プログラムには、高学年向けの教材として、「Thinking Science」が存在する²⁶⁾。これは、2.1.2.で述べたピアジェの発達段階論を基に、具体的操作期から形式的操作期への移行を促進するものであり、11～14 歳の生徒を対象に開発されたものである。1 回 60 分の授業を全 30 回、2 年間で実施するように構成されており、通常の理科授業とは別に時間を設けて行われる。

また CASE プログラムの授業は、生徒の発達段階の移行、つまり認知能力の向上 (CA) を目的として行われているため、それぞれの授業において獲得することを目指す、思考操作 (シエマ) が設定されている。通常、1 つの授業に対して、1 つのシエマが設定されており、数回の授業に同じシエマが設定され、1 つのシエマに対して、様々な文脈ではたらきかけを行うことで、生徒がそのシエマを獲得するようになっている。表 2-1 に、「Thinking Science」の全 30 回の授業の一覧とそのシエマを示す。

表 2-1 「Thinking Science」の授業一覧とシエマ

テーマ	シエマ	テーマ	シエマ
1 変わるものは何か	変数	16 相互作用	変数
2 二つの変数	変数	17 コインを回す	蓋然性
3 どんな関係か	変数	18 味見	蓋然性
4 「公正な」テスト	変数	19 わらじ虫の行動	相関性
5 転がるボール	変数	20 手当と効果	相関性
6 グループに分ける	分類	21 サンプリング:池の中の魚	蓋然性
7 進んだ分類	分類	22 サイコロを投げる	蓋然性
8 歯車と比率	比例性・比率	23 物質の状態を説明する	形式的モデル
9 手押し車	比例性・比率	24 溶液を説明する	形式的モデル
10 幹と枝	反比例性	25 化学反応を説明する	形式的モデル
11 つりあいを保つ	反比例性	26 圧力	複合的な変数
12 電流、長さ、太さ	反比例性	27 浮かぶ・沈む	複合的な変数
13 豆のサンプリング	蓋然性	28 丘を登り谷を下る	平衡
14 豆を育てる	蓋然性	29 ダイバー	複合的な変数
15 選択肢	組み合わせ	30 つりあいを取り戻す	平衡

特にここでは、2.4.で述べるが、本研究と関わりのあるシエマ「形式的モデルの構築と利用」について紹介する。このシエマの獲得を目指した、モデルの構築に関する授業が、「Thinking Science」には3回（Lesson23~25）設定されている。そもそも、シエマ「形式的モデルの構築と利用」とは、抽象的な実体を想像上で操作しなければならない、ワーキングモデルを使うもので、目に見えないものを微視的な視点で見て、それらをモデル化し、想像上で動かしたり変化させたりする思考操作のことである。したがって、このシエマは、粒子モデルではなく、より広義のモデルである形式的モデルの構築を目指しているものであるが、3回の授業の内容は粒子モデルの構築を想定されているものである。3回の授業の概観について、以下の表 2-2 に示す（詳しい展開は、参考資料を参照のこと）。

表 2-2 シェマ「形式的モデルの構築と利用」の獲得を目指した授業の概観

テーマ	概観
Lesson23 物質の三態を説明する	この授業が「観察したことをモデル化する」能力を育成する一連の授業（Lesson23,24,25）の最初の授業となる。モデルというものは何かの概念を表すものである。 実際の模型には操作可能な部分がある。形式的なモデルにおいても、何かの実体を抽象化した”操作可能な部分”が想定されていなければならない。そしてそのモデルは”仮想の世界”を提供し、その世界の中で実験の結果や原因、影響といったものを思考したり予想したりできようになるのである。そこで形式的なモデルをつくり上げるためには、他の知的能力と同様に、必要とされるモデルの目的によってたくさんの変数を同時に把握することが必要になる。 本授業では、生徒自らが観察し、記述し、説明するといった理解の過程に重点を置かれている。具体的にはステアリン酸や水、ロウなどの状態変化を見せて、その現象を説明させる。一見すると、普通の物質の三態変化の授業のようにみえるが、普通の授業と異なり、本授業で生徒に完璧な粒子モデルを期待しているわけではない。それどころか粒子について学習した後でも、そのことについて何も触れない可能性もある。ここで重要なことは、彼らが自らモデルを作ることによって、観察したことについて説明しようとする過程なのである。したがって、説明のために使われるモデルのアイデアは生徒の中から出てくるものでなければならない。彼らは頭の中でモデル化を行うことや、そのモデルでコミュニケーションすることを練習する。そうしてモデル化ができるようになるとこれまでに経験した他のすべての認知形式が働くようになる。 そして最後にいくつかの一般的なモデル化の例を提示する。気象に関するもの、経済に関するもの、危険率の評価、生態系に関するものである。
Lesson24 溶解を説明する	この授業は Lesson23 と非常に似通ったものである。本授業では物質が溶解する様子を観察させ、生徒に溶液を作るということについて説明をもとめる。一般的に認められた、科学的な説明は三態変化の場合と同じであるが、今回もまた粒子モデルを無理に押し付けることはしない。生徒たちは全く異なったモデルに行き着くかもしれないが、それでも構わないのである。但し、生徒たちの提案した様々なモデルを吟味させるときは、記述するということと、説明するということの違いに留意する。
Lesson25 化学反応を説明する	この授業が「説明する」ということに関する学習の最後になる。この授業の中で、生徒はモデルを作り出すか、少なくともモデルを使って説明できるようになる必要がある。今回の現象は化学反応である。ここで、粒子モデルを説明のためのモデルとして提示する。そして生徒はこれまでに見てきた現象を、このモデルに結びつけなくてはならない。この授業ではほとんどの生徒が認知的葛藤に直面するように計画されている。融解や溶解は、物質の粒子性についての考え方が不完全なものであっても説明できる。それは記述することと、説明することにあまり差がないためである。しかし不可逆性の化学反応においては差があるため、説明するためには、初期の形式的な思考を必要とする。具体的に、融解や溶解の場合は、粒子が混ざり合っているがそれらの粒子自身の変化はしていない（不変）ということが分かり、化学反応の場合には、粒子がくっつく（結合する）ということがわかるような説明を考え出さなくてはいけない。また、粒子同士が近かったり遠かったりするという点については、運動論から予想されることもあるだろう。

2.4. 諸理論の本研究への応用

ここでは、以上の諸理論の本研究への応用を検討する。

ピアジェのいうシェマは、「条件制御」や「分類」といったように、理科の文脈に含まれるものが非常に多い。また、シェマの中でも中学校理科には、抽象的な思考力が求められるシェマが多く含まれているため、その拡張や変換は難しい。そこで、教師は理科の学習内容に含まれるシェマを把握し、そのシェマにはたらきかけ、シェマの拡張、変換に重視した授業を通常授業の随所で行うことで、生徒の理解の基盤が広がると考えられる。

本研究では特に、モデルの構築・活用する力を育成する授業を行う上で、「形式的モデルの構築と利用」のシェマに着目する。このシェマの獲得には、2.3.3.で述べた Lesson23～25 の授業のように、目に見えない現象を観察し、それを説明する中でモデルを構築し、その矛盾や限界を見出し、修正し、モデルを再構築（スクラップアンドビルド）する経験が必要であることが分かる。加えて、森本ら²⁵⁾が、「学習者一人ひとりの概念構造は、彼ら自身がその考えの限界や矛盾を見出せない限り、変わりづらい、堅固なものになると考えられる」と述べており、このことから自分の構築した概念、モデルも、限界や矛盾を見出さない限り、変容が難しいといえる。そこで本研究の授業開発においても、以上を参考にして、自ら構築した矛盾や限界を見出し、修正し、再構築する機会を設定したモデルの構築を促す授業を開発することとする。

また、授業の中では、2.2.1.で述べた、ヴィゴツキーの「発達の最近接領域」にしたがって、他者からの助けがあれば解決できる課題を設定し、班討論や全体討論といった他者の考えと出会う場面を繰り返し取り入れて、展開することにする。

第3章 中学校 1 年生の実態

本章では、モデルの役割や性質をどのように認識しているか、また自然現象に対してどのように思考するのか（特に、その時のモデルの使用状況）、といった中学生のモデルを用いた思考の実態を把握するため、調査問題を開発し、実施したため、本章では報告する。

3.1. 調査問題の開発背景

調査で用いる調査問題を開発するにあたり、先行研究において実施された調査、及びその結果を数例、紹介する。

treagust ら⁴⁾は、科学において、モデルの重要性が謳われている一方で、理解せずに表面的に使われたモデルは、理解の妨げとなると指摘されていることを報告している。また学生の理解は、必ずしも科学的に正しいとは限らず、教師が生徒に求めているモデルの理解と実際の生徒の理解との間に差がある可能性があり、教師が生徒のモデルが持っている役割の理解の多様性を知ることが必要であると述べている。以上を踏まえて、treagust らは、オーストラリアにおいて、生徒のモデルに対する認識を確認することを目的として、中等学校生徒 228 名（13～15 歳）を対象に、質問紙調査を実施した。なお、調査問題は、モデルの性質を、「多重表現性」「特徴の顕在化」「現象の説明」「現象の推測」「暫定性」の 5 つに大別し、それぞれの性質について正しく認識しているのか確認するために、調査「Students' Understanding of Models in Science（以下、SUMS）」（図 3-1）を開発し、実施している。その結果、多くの生徒がモデルの性質を完全に認識できていないことを明らかにしている。

Factor [†] / Item Number	Item	Mean (sd)	%		
			Disagree*	Not sure	Agree**
MR/1	Many models may be used to express features of a science phenomenon by showing different perspectives to view an object.	3.56 (0.96)	12	27	61
MR/2	Many models represent different versions of the phenomenon.	3.33 (0.97)	15	41	44
MR/3	Models can show the relationship of ideas clearly.	3.67 (0.97)	11	27	62
MR/4	Many models are used to show how it depends on individual's different ideas on what things look like or how they work.	3.56 (0.91)	10	34	56
MR/5	Many models may be used to show different sides or shapes of an object.	3.60 (0.86)	11	25	64
MR/6	Many models show different parts of an object or show the objects differently.	3.44 (0.93)	14	34	52
MR/7	Many models show how different information is used.	3.51 (0.93)	11	34	55
MR/8	A model has what is needed to show or explain a scientific phenomenon.	3.52 (0.93)	13	30	57
ER/9	A model should be an exact replica.	3.14 (1.17)	36	21	43
ER/10	A model needs to be close to the real thing.	3.74 (1.10)	13	18	69
ER/11	A model needs to be close to the real thing by being very exact, so nobody can disprove it.	3.35 (1.09)	23	28	49
ER/12	Everything about a model should be able to tell what it represents.	3.61 (0.94)	14	23	63
ER/13	A model needs to be close to the real thing by being very exact in every way except for size.	3.57 (1.11)	18	20	62
ER/14	A model needs to be close to the real thing by giving the correct information and showing what the object/thing looks like.	3.83 (0.99)	9	16	75
ER/15	A model shows what the real thing does and what it looks like.	3.69 (0.91)	9	26	65
ER/16	Models show a smaller scale size of something.	3.77 (1.06)	15	15	71
ET/17	Models are used to physically or visually represent something.	3.85 (0.95)	9	17	74
ET/18	Models help create a picture in your mind of the scientific happening.	3.55 (1.06)	16	19	65
ET/19	Models are used to explain scientific phenomena.	3.36 (0.88)	12	43	45
ET/20	Models are used to show an idea.	3.80 (1.02)	12	9	79
ET/21	A model can be a diagram or a picture, a map, graph or a photo.	3.46 (1.11)	20	22	58
USM/22	Models are used to help formulate ideas and theories about scientific events.	3.41 (0.87)	14	37	49
USM/23	Models are used to show how they are used in scientific investigations.	3.46 (0.95)	15	32	53
USM/24	Models are used to make and test predictions about a scientific event.	3.35 (0.90)	14	42	44
CNM/25	A model can change if new theories or evidence prove otherwise.	3.82 (0.90)	6	23	71
CNM/26	A model can change if there are new findings.	3.79 (0.90)	7	22	71
CNM/27	A model can change if there are changes in data or belief.	3.62 (0.90)	10	26	64

[†]MR (Models as multiple representations); ER (Models as exact replicas); ET(Models as explanatory tools); USM (The uses of scientific models); and CNM (The changing nature of models).
* Disagree = Strongly Disagree and Disagree. ** Agree = Strongly Agree and Agree.

図 3-1 先行研究で用いられた調査問題 (treagust ら)

また雲財ら¹⁰⁾は、モデルベース推論¹⁾を育成する指導法への示唆を導出することを目的として、2013年に、公立中学校の第3学年105名、国立大学の学生89名を対象として、質問紙調査を実施した。質問紙調査は、「現象の説明・予測」「特徴の顕在化」「暫定性」「限界性」という4つの観点を設定して行われている(表3-1)。その結果、中学生はモデルを、現象を単純化したり可視化したりしているものと捉えている傾向にあること明らかにした。また、結果からモデルが現象の説明や予測に使われるといったモデルの目的や、モデルが持つ説明の限界性や暫定性といった性質に対する認識がまだ確立していない中学生が多いと解釈し、それはモデルを用いて現象の説明や予測をする学習活動が少ないことに起因していると考察している。

¹⁾ モデルベース推論は、主に「モデルの構築」に関するモデルベース推論と、「モデルの適用」に関するモデルベース推論の2つに大別できる。モデルの構築に関するモデルベース推論は、モデルの構築、評価、修正といった自然現象を説明するモデルの構築活動における推論である。一方、モデルの適用に関するモデルベース推論は、既存のモデルを適用し、仮説を形成したり未知の現象を説明・予測したりするといった、知識の創造や精緻化における推論である。

表 3-1 先行研究で用いられた調査問題（雲財ら）

観点	質問項目の例
現象の説明・予測	科学では、モデルを用いることで、現象を説明・予測することができる
特徴の顕在化	モデルは複雑な現象を単純にし、簡潔に表すことができる
限界性	モデルによる現象の説明には限界がある
暫定性	モデルは、一時的なものであつて、変化する可能性がある

以上のように、中学生において、モデルの役割や性質を完全に認識していない現状が明らかとなっている。それに加えて、実際に生徒が、自然現象に対してどのようにモデルを用いた思考をしているのか、特に、物質は小さな粒でできているという粒子概念の保持状況を確認した調査も存在する。以下に、その 2 つの例を紹介する。

井津ら²⁷⁾らによって、1983 年に、小・中・高校生における「状態変化の粒子的とらえ方」についての実態調査が、京都教育大学附属学校の小学校 2 年生から高等学校 3 年生までの 739 名を対象に行われた。その経緯としては、これまでに、幼・小・中・高校の理科教材の系統化を行い、それを日常の授業に生かすことをねらいとして、まず、当時の現行学習指導要領に基づき、小・中・高校の化学的領域の学習内容の関連表を作成し、指導上の問題点について検討している。続いて、関連表の再検討とともに、小・中・高校の各校種間において特に関連の深い状態変化教材の系統化と内容および取り扱いについて検討を加えてきている。この中で、1980 年頃の教育課程の改訂によって、小学校教材の中から粒子概念の取扱いがなくなったこと、また、小・中・高校を通じて高校理科 I の段階で化学領域の一応のまとまりがなされるが、理科 I では状態変化が取り扱われないことなどが明らかとなった。この状態変化教材の系統化と一貫性をはかるには、児童生徒が物質を粒子的に捉えることが必要であり、そのための指導が不可欠であると考えた。そこで、井津らは、児童・生徒の理解の実態を追及するために、同一の状態変化の現象を小・中・高校生のそれぞれが粒子的にどのようにとらえているのかを調査することとした。

調査問題（図 3-2）は、空気と水が入った注射器を押したとき、縮み方に違いが出る理由を絵と文で説明させるというものである。具体的には図 3-2 の＜実験＞を小・中学校では生徒に実験させ、高校では教卓実験で示す。次に、＜問題＞を校種・学年に関係なく、同じ文

章を読ませるとともに教師が朗読した後に＜自分の考え＞を絵と文で書かせる。

その結果、中学校 1 年生において、絵と文のどちらにおいても粒子的な表現がみられた生徒は、全体の 45.2%となっており、半数以上が粒子的な見方ができていないことが明らかとなった。また中学校 2 年生では、粒子的な見方ができている生徒は全体の 38.5%となっており、1 年生よりも粒子的な見方のできる生徒が減少している。その回答として、空気と水の違いをかたさや力の強弱でとらえているものが多く、中 1 で学習した力の印象が強く残っており、粒子概念形成に混乱をきたしているものと考えられる。以上のような結果を踏まえて、「中学低学年における指導の在り方に問題を含んでいるようである」と述べている。

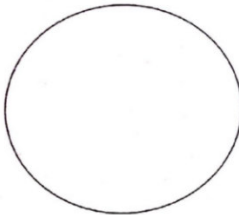
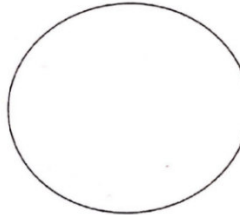
理科調査 附属 (京都小, 桃山小, 京都中, 桃山中, 高等学校)	
() 年 () 組 () 番・名前 ()	
＜実験＞	注射器をつかって、空気や水を右の絵のようにおしちちめてみます。 空気は、ものすごくちぢみます。水はちぢみません。 
＜問題＞	空気と水のちぢみ方に、こんなちがいがでるのは、空気と水がどうなっているからでしょうか。それぞれの様子がよくわかるように、絵と文で書いてください。
＜自分の考え＞	
(絵)	(空気の様子)  (水の様子) 
(文)	 

図 3-2 先行研究で用いられた調査問題（井津ら）

また村上²⁸⁾は、これまでの中学校学習指導要領から、小学校においては、日常の身近な現象や体験的な実験を基に、物質に関わる性質・現象を知識として獲得することが主な内容であり、中学校においては、物質の性質等の学習を深めるとともに、最終的にはそれらの物質の様々な性質を原子・分子・イオンの「粒子概念」で理解することが目標になっていることを解釈し、一方で、中学生における「粒子概念」の定着不足であるという現状を示している。

その上で、「粒子」が小・中学校の理科教育の柱のひとつとされたことを踏まえ、改めて「物質は小さな粒でできている」という「粒子概念」の表裏の関係にある「粒と粒の間のすき間」および「粒の（熱）運動」に焦点を当てて、それらの理解度を調査するアンケートを実施した。対象は主として岩手県内の小学 5, 6 年生, 中学 1, 2, 3 年生, 高校 1, 2 年生, および大学 3 年生で、大学生を除いて各学年の人数は 70 名前後であった。

アンケートでは、改訂前の中学 2 年の単元「原子・分子」で学習する粒子概念の内容「物質は小さな粒でできている」。「粒は消滅しない」、「粒の質量や大きさは変わらない」を事前に説明した後、「気体と液体の性質の違い」に関する 3 つの問題（図 3-3）を「粒で考えよう」というタイトルをつけて調査が行われた（2008 年、5～7 月実施）。なお、回答を記入させる際に、それぞれの問題に関する演示実験をビデオで見せている。

アンケートを実施した結果、中学 2 年の「原子・分子」を学習した後でも中学・高校の生徒には「粒子概念」が定着していないことを明らかにしている、また物質を構成している基本粒子の理解（物質はすべて小さな粒でできている、粒と粒の間はすき間である、粒は消滅しない、粒の質量や大きさは変わらない、など）が正しくされていなかった。

- | |
|--|
| <p>問題 1: 袋に入れたエタノールを暖めて気体にして袋を膨らましたとき（液体のエタノールはなくなっている）、気体になったエタノールの粒と粒の間にすき間ができる図を示し、そのすき間はどうなっているか（すき間には何があるのか）を問う。（選択肢から選ぶ）</p> <p>問題 2: 注射器の中の空気はピストンを押すと押し縮められるが、水はピストンを強く押しても押し縮められないという現象を見せ、その理由を問う。（図と文で説明する）</p> <p>問題 3: 色のついた液体と気体を小さなピーカーに入れ、それぞれ大きな瓶の中に静置したとき、気体だけが瓶全体に広がっていく現象を見せ、その理由を問う。（図と文で説明する）</p> |
|--|

図 3-3 先行研究で用いられた調査問題（村上）

以上のように、先行研究で調査が行われ、その結果から、中学生において、モデルの役割や性質を完全に認識できておらず、実際に目に見えない現象に対して思考することを求めると、粒子概念を用いて思考できず、粒子概念が定着していないという現状が明らかとなっている。また、先行調査の特徴として、生徒がどのようにモデルを認識しているかという調査は、国内の論文を通覧した限り、上述した雲財らに加えて、丹沢ら¹¹⁾の報告の2件のみであり、非常に少ない。加えて、生徒に絵と文で目に見えない現象に対して説明を求めて、実際のモデルの使用状況を調査している調査の多くが、エタノールの体積膨張実験や押し縮められる空気といった、教科書^{29),30)}に記載されている文脈(図3-4)からの出題が多くなっている。

これらを踏まえて、生徒がモデルの役割や性質をどのように認識しているのか確認することを目的とした「モデルの認識調査」と、自然現象に対してどのように思考するのか、特にその時のモデルの使用状況を確認することを目的とした「モデルの使用調査」を開発することとした。なお、「モデルの使用調査」に関しては、上述した先行研究と同様に、教科書に記載されている文脈から出題すると、教科書に記載された絵を記憶して回答するような、現象を説明するのに便利な思考の道具であるというモデルの意義を見出していない生徒が評価されてしまうことが危惧されるため、教科書に記載されていない文脈で出題することにした。

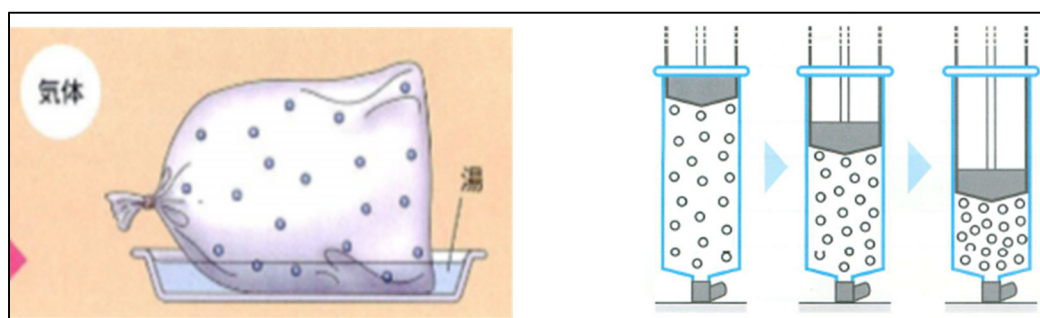


図3-4 教科書に記載されている文脈

※左図：大日本図書（中学校1年生） 右図：東京書籍（小学校4年生）

3.2. 調査問題の開発

(1) モデルの認識調査の開発

モデルの役割や性質をどのように認識しているのか、確認することを目的として、3.1.で述べた、treagust ら⁴⁾が開発した SUMS を翻訳し、尺度を構成し直して「モデルの認識調査」を作成することにした。

翻訳した質問項目を表 3-2 に示す。

表 3-2 SUMS を翻訳して作成した質問項目

観点	翻訳した質問項目
多重表現性	(1) モデルは、異なるものの見方を示すことによって、科学的な現象の特徴を表現するのに用いることができる。
	(2) モデルの中には、現象をいろいろな視点で解釈したものがある。
	(3) モデルは、いくつかの考えのつながりをはっきりと示すことができる。
	(4) モデルは、物事がどのように見えるのか、またはどのようにはたっているのかに対するそれぞれの考えによるものであることを示すために用いられる。
	(5) モデルは、ある対象の様々な側面や形を表現するのに用いることができる。
	(6) モデルは、ある対象の様々な部分を示したり、対象を違ったように示したりすることがある。
	(7) モデルは、様々な情報がどのように用いられているのかを示すことがある。
	(8) モデルは、科学的な現象を示したり説明したりするのに必要な要素を持っている。
特徴の顕在化	(9) モデルは、現象の正確な複製であるべきである。
	(10) モデルは、実物に近い必要がある。
	(11) 誰もが反証できないために、モデルはとても正確であることによって、実物に近づく必要がある。
	(12) モデルの全ての要素は、モデルが表現することを説明できるべきである。
	(13) モデルは、大きさを除くすべてにおいて、とても正確であることで、実物に近い必要がある。
	(14) モデルは、正しい情報を与えたり、物や現象がどのようにみえるのかを示したりして、実際の物や現象に近い必要がある。
	(15) モデルは、実物のふるまいやそれがどのように見えるのかを示す。
	(16) モデルは、より小さなスケールで何かを示す。
現象の説明	(17) モデルは、何かを物理的に、もしくは視覚的に表すために用いられる。
	(18) モデルは、科学的な現象のイメージを頭の中に描くための手助けをする。
	(19) モデルは、科学的な現象を説明するために用いられる。
	(20) モデルは、考えを示すために用いられる。
	(21) モデルは、図表や絵、地図、グラフ、写真になることがある。
現象の推測	(22) モデルは、科学的な現象に関する考えや理論を組み立てる手助けとして用いられる。
	(23) モデルは、科学的な探究活動において、考えや理論がどのように使われているのかを示すために用いられる。
	(24) モデルは、科学的な現象を予測し、確かめるために用いられる。
暫定性	(25) モデルは、新しい理論が証明されたり、証拠がくつがえされたりすれば、変わることがある。
	(26) モデルは、新しい発見があれば変わることがある。
	(27) モデルは、データやこれまで（正しいと）信じていたことの中に変化があれば変わることがある。

作成した 27 項目の質問項目（表 3-2）の妥当性を検討するため、3.3.で述べるが、中学校 1 年生を対象に実施した調査結果を用いて因子分析（最尤法、プロマックス回転）を行った。分析においては、因子負荷量が.350 に満たなかった 2 項目（「(15) モデルは、実物のふるまいやそれがどのように見えるのかを示す。」，「(16) モデルは、より小さなスケールで何かを示す。」）を削除し、再度、因子分析を行った。なお、因子数は 5 因子構造を採択した。以上の因子分析の最終的な結果を表 3-3 に示す。

表 3-3 に示した因子負荷量に基づき、各因子について検討すると、第Ⅰ因子は、「モデルは、ある対象の様々な側面や形を表現するのに用いることができる。」，「モデルは、物事がどのように見えるのか、またはどのようににはたっているのかに対するそれぞれの考えによるものであることを示すために用いられる。」などに対して負荷量が高く、モデルがあらゆる角度から複合的に情報を表現する性質を表す質問項目で構成されているため、第Ⅰ因子を「多重表現性」と解釈した。

第Ⅱ因子は、「モデルは、科学的な現象を説明するために用いられる。」，「モデルは、科学的な現象を示したり説明したりするのに必要な要素を持っている。」などに対して負荷量が高く、モデルの現象を説明する役割を表す質問項目で構成されているため、第Ⅱ因子を「現象の説明」と解釈した。

第Ⅲ因子は、「モデルは、大きさを除くすべてにおいて、とても正確であることで、実物に近い必要がある。」，「モデルは、実物に近い必要がある。」などに対して負荷量が高く、ある特徴をはっきりと示すモデルの性質を表す質問項目で構成されているため、第Ⅲ因子を「特徴の顕在化」と解釈した。

第Ⅳ因子は、「モデルは、新しい発見があれば変わることがある。」，「モデルは、新しい理論が証明されたり、証拠がくつがえされたりすれば、変わることがある。」などに対して負荷量が高く、モデルの変化する可能性がある性質を表す質問項目で構成されているため、第Ⅳ因子を「暫定性」と解釈した。

第Ⅴ因子は、「モデルは、科学的な探究活動において、考えや理論がどのように使われているのかを示すために用いられる。」，「モデルは、科学的な現象を予測し、確かめるために用いられる。」などに対して負荷量が高く、モデルの現象を推測する役割を表す質問項目で構成されているため、第Ⅴ因子を「現象の推測」と解釈した。

表 3-3 因子分析結果（プロマックス回転後の因子パターン）

		I	II	III	IV	V
(5)	モデルは、ある対象の様々な側面や形を表現するのに用いることができる。	.633	.336	.091	.184	.325
(4)	モデルは、物事がどのように見えるのか、またはどのようにはたっているのかに対するそれぞれの考えによるものであることを示すために用いられる。	.602	.364	.144	.263	.420
(3)	モデルは、いくつかの考えのつながりをはっきりと示すことができる。	.583	.433	.013	.235	.513
(7)	モデルは、様々な情報がどのように用いられているのかを示すことがある。	.564	.406	.152	.191	.484
(1)	モデルは、異なるものの見方を示すことによって、科学的な現象の特徴を表現するのに用いることができる。	.562	.509	.085	.272	.362
(6)	モデルは、ある対象の様々な部分を示したり、対象を違ったように示したりすることがある。	.549	.322	.008	.194	.337
(21)	モデルは、図表や絵、地図、グラフ、写真になることがある。	.416	.372	.143	.160	.364
(19)	モデルは、科学的な現象を説明するために用いられる。	.346	.771	.079	.257	.419
(8)	モデルは、科学的な現象を示したり説明したりするのに必要な要素を持っている。	.537	.702	.162	.346	.527
(22)	モデルは、科学的な現象に関する考えや理論を組み立てる手助けとして用いられる。	.551	.625	.104	.402	.557
(20)	モデルは、考えを示すために用いられる。	.463	.568	-.056	.204	.485
(18)	モデルは、科学的な現象のイメージを頭の中に描くための手助けをする。	.326	.526	.036	.313	.301
(12)	モデルの全ての要素は、モデルが表現することを説明できるべきである。	.363	.439	.129	.074	.273
(17)	モデルは、何かを物理的に、もしくは視覚的に表すために用いられる。	.286	.362	.035	.283	.332
(13)	モデルは、大きさを除くすべてにおいて、とても正確であることで、実物に近い必要がある。	.078	.072	.852	.086	.116
(10)	モデルは、実物に近い必要がある。	.079	-.029	.762	.078	-.033
(14)	モデルは、正しい情報を与えたり、物や現象がどのようにみえるのかを示したりして、実際の物や現象に近い必要がある。	.090	.181	.685	.145	.126
(9)	モデルは、現象の正確な複製であるべきである。	.176	.127	.623	.113	.161
(11)	誰もが反証できないために、モデルはとても正確であることによって、実物に近づける必要がある。	.121	.093	.393	-.130	.076
(26)	モデルは、新しい発見があれば変わることがある。	.348	.382	.079	.858	.357
(25)	モデルは、新しい理論が証明されたり、証拠がくつがえされたりすれば、変わることがある。	.253	.348	.088	.835	.454
(27)	モデルは、データやこれまで（正しいと）信じていたことの中に変化があれば変わることがある。	.313	.334	.091	.785	.315
(23)	モデルは、科学的な探究活動において、考えや理論がどのように使われているのかを示すために用いられる。	.539	.536	.062	.393	.832
(24)	モデルは、科学的な現象を予測し、確かめるために用いられる。	.437	.387	.168	.255	.601
(2)	モデルの中には、現象をいろいろな視点で解釈したものがある。	.549	.542	.064	.257	.570

また、各因子の信頼性を検討するために、Cron-bach の α 係数を算出した。その結果、第Ⅰ因子「多重表現性」が.758、第Ⅱ因子「現象の説明」が.765、第Ⅲ因子「特徴の顕在化」が.790、第Ⅳ因子「暫定性」が.862、第Ⅴ因子「現象の推測」が.705 であった。いずれの因子においても 0.7 以上であり、信頼性があることが示された。このことから、作成した質問項目は妥当性と信頼性があると判断したため、本研究ではこれを尺度として用いることとした。

以上のようにして、構成した各観点について述べる。まず、【多重表現性】は、「あらゆる角度から複合的に情報を表現する」というモデルの性質のことである。水流モデルを例に、この性質を解釈すると、水流モデルでは高低や水流、水車を用いて、それぞれ電圧と電流、抵抗といった電気の性質を考えることができる（図 3-5）。つまり、電圧によって電流が流れるという電気の性質を、高低差によって水流が流れるといったように、水流モデルを用いて思考できるのである。このように、電圧や電流といった、それぞれの要素のつながりをモデルは示すことができるというのが【多重表現性】の性質である。

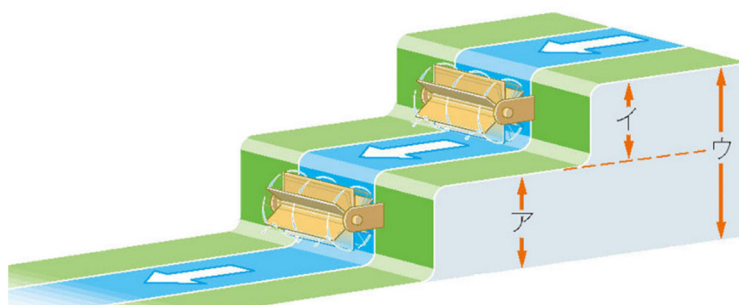


図 3-5 【多重表現性】の性質を持つ水流モデル ³¹⁾

次に，【特徴の顕在化】は，「ある特徴をはっきりと示す」というモデルの性質のことをいう。これは，井藤³²⁾が述べている，「必要な部面のみを強調し，これを理解，解明するのにつごうよく考慮し，不必要な他の部分をできる限り省略したもの」というモデルの性質と一致する。この性質が顕著に表れているモデルの例として，塩素原子の電子配置が挙げられる（図 3-6）。塩素原子の電子配置では，どの軌道に電子が何個入っているのかということを強調し，軌道の形や電子の大きさ，原子核といったものは省略されている。

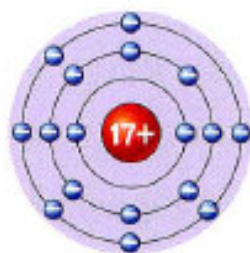


図 3-6 【特徴の顕在化】の性質を持つ塩素原子の電子配置³³⁾

【現象の説明】は「現象を説明する」というモデルの役割のことである。その役割を，図 3-7 に示したモデルを用いて説明する。このモデルでは，ばねの力や磁石の力，重力の力の大きさや向き，作用点を，矢印の長さや方向，点で表現して，どのように物体に力がはたらくているのか説明しており，モデルには現象を説明する役割があることが分かる。

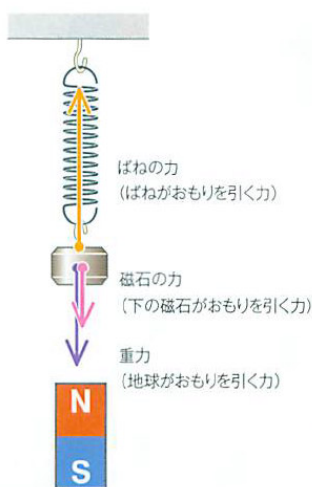


図 3-7 【現象の説明】の役割を持つ物体にはたらく力を説明するモデル³⁴⁾

【現象の推測】は、「現象を推測する」というモデルの役割のことである。その役割を、図 3-8 に示したモデルを用いて説明する。太陽の内部の様子を見ることは不可能であるが、様々な研究で明らかにしたことを基に、推測して表現されている。このように、モデルには現象を推測する役割があることが分かる。



図 3-8 【現象の推測】の性質を持つ太陽のモデル³⁵⁾

【暫定性】は、「暫定的なものであり変わる可能性がある」という性質のことである。つまり、モデルは一時的なものであり、新しい事実や理論が発見され変化すれば、モデルも変化するということである。図 3-9 に示したのは、コペルニクスが考えた地動説のモデルである。最初からこの地動説のモデルが構築されていたわけではなく、それまで考えられていたプトレマイオスの天動説（モデル）は、惑星の微妙な動きを説明するために、惑星はその公転軌道上にある別の円の上を運動するという複雑な概念が導入されており、そのつじつま合わせに疑問を持ったコペルニクスがこのモデルを構築した。科学が進歩するとともに、この地動説のモデルが正しいとされており、モデルは新しい発見によって変化する性質があることが分かる。

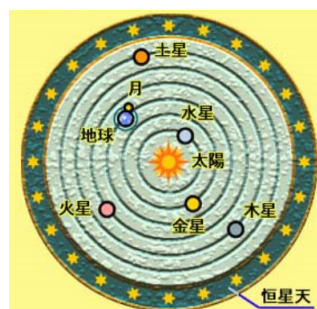


図 3-9 コペルニクスが考えた地動説のモデル³⁶⁾

各観点についてまとめると，表 3-4 のようになる。

表 3-4 モデルの認識調査における各観点

観点	説明
多重表現性	あらゆる角度から複合的に情報を表現する
特徴の顕在化	ある特徴をはっきりと示す
現象の説明	現象を説明する
現象の推測	現象を推測する
暫定性	暫定的なものであり変わる可能性がある

以上のように作成した「モデルの認識調査」（表 3-5）を用いて、5 観点からなるモデルの役割と性質を中学生がどのように認識しているのか確認する。なお、「1.全くそうは思わない」、「2. あまりそうは思わない」、「3. どちらでもない」、「4. ややそう思う」、「5. 強くそう思う」の 5 件法で回答を求める。

表 3-5 作成した「モデルの認識調査」

観点	作成した質問項目
多重表現性	モデルは、ある対象の様々な側面や形を表現するのに用いることができる。 モデルは、物事がどのように見えるのか、またはどのようにはたらいっているのかに対するそれぞれの考えによるものであることを示すために用いられる。 モデルは、いくつかの考えのつながりをはっきりと示すことができる。 モデルは、様々な情報がどのように用いられているのかを示すことがある。 モデルは、異なるものの見方を示すことによって、科学的な現象の特徴を表現するのに用いることができる。 モデルは、ある対象の様々な部分を示したり、対象を違ったように示したりすることがある。 モデルは、図表や絵、地図、グラフ、写真になることがある。
現象の説明	モデルは、科学的な現象を説明するために用いられる。 モデルは、科学的な現象を示したり説明したりするのに必要な要素を持っている。 モデルは、科学的な現象に関する考えや理論を組み立てる手助けとして用いられる。 モデルは、考えを示すために用いられる。 モデルは、科学的な現象のイメージを頭の中に描くための手助けをする。 モデルの全ての要素は、モデルが表現することを説明できるべきである。 モデルは、何かを物理的に、もしくは視覚的に表すために用いられる。
特徴の顕在化	モデルは、大きさを除くすべてにおいて、とても正確であることで、実物に近い必要がある。(R) モデルは、実物に近い必要がある。(R) モデルは、正しい情報を与えたり、物や現象がどのようにみえるのかを示したりして、実際の物や現象に近い必要がある。(R) モデルは、現象の正確な複製であるべきである。(R) 誰もが反証できないために、モデルはとても正確であることによって、実物に近づける必要がある。(R)
暫定性	モデルは、新しい発見があれば変わることがある。 モデルは、新しい理論が証明されたり、証拠がくつがえされたりすれば、変わることがある。 モデルは、データやこれまで（正しいと）信じていたことの中に変化があれば変わることがある。
現象の推測	モデルは、科学的な探究活動において、考えや理論がどのように使われているのかを示すために用いられる。 モデルは、科学的な現象を予測し、確かめるために用いられる。 モデルの中には、現象をいろいろな視点で解釈したものがある。

※「作成した質問項目」の (R) は逆転項目

(2) モデルの使用調査の開発

3.1.で述べたことを踏まえて、教科書に記載されていない文脈で出題することとした。具体的には、教師が教卓でアンモニアが入った容器を開封した状況を設定し、その時にマスクをつけるとアンモニアの臭いを感じにくくなった理由を問う（図 3-10）。以下に、評価方法について述べる。

1 下の文章を読んで、後の問いに対する答えを、<u>絵と文章</u>で書いてください。 先生が、教卓で液体のアンモニアが入った容器を開けました。すると前の席の人から順番に臭いを感じていきました。そこで、臭いを感じた人はすぐにマスクをつけたところ、アンモニアの臭いを感じにくくなりました。 問 マスクをつけると臭いを感じにくくなったのは、どうしてだと思いますか。	
--	---

図 3-10 作成した「モデルの使用調査」

生徒が描いた絵からモデルを用いた思考を評価するために、文脈に依らない普遍的なモデルの分類規準を検討した。まず、内ノ倉³⁷⁾を参考に、「モデル思考」を「諸現象をいくつかの要素に還元（単純化・理想化）し、その諸要素を構造化し、具体的な事物や図・記号等で表現して思考すること」と定義し、モデル思考が可能であるものとそうでないものをそれぞれ、「モデル思考可」と「モデル思考不可」に分類する。さらに、物質概念は大きく巨視的概念と微視的概念に分けられる³⁸⁾ことに注目した。それぞれ、「物質固有の性質を調べることによって、その物質についての認識を深めていこうとする立場」、「物質の構成要素に着目して、物質の性質や諸現象を説明していこうとする立場」というものである。つまり、「現象を説明する」上で、モデルを用いた思考には、微視的概念が必要であると分かる。そこで、「モデル思考可」の中でも、微視的視点で思考できる群を「微視的説明群（A 群）」、巨視的視点で思考できる群を「巨視的説明群（B 群）」と名付け、

分類する。「モデル思考不可」の群を、「説明不可群（C群）」と名付け、3群の分類規
準を設定した（図 3-11）。なお、具体的な表現方法も含めて、まとめたものを表 3-6 に示
す。

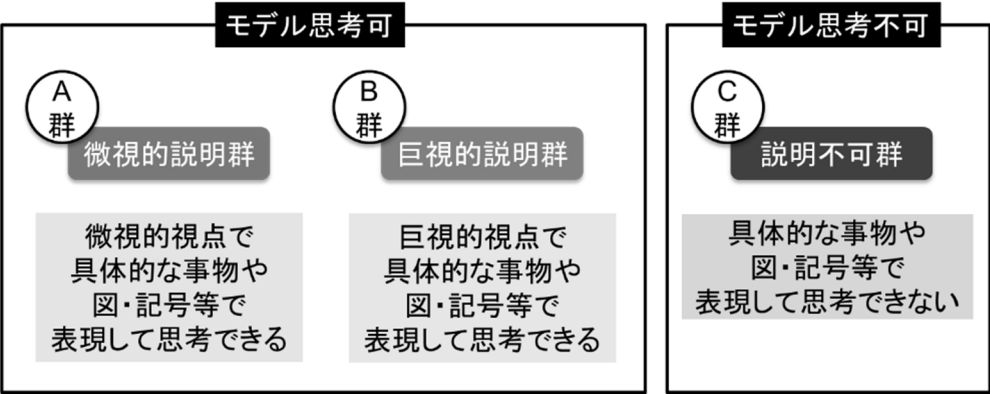


図 3-11 生徒が描いた絵の評価方法（分類規準）

表 3-6 生徒が描いた絵の評価方法（分類規準）

カテゴリー	略号	詳細	表現方法
微視的説明群	A 群	微視的視点で モデルを用いた思考が可能	・見えるものを微視的に表現 ・見えないものを微視的に表現
巨視的説明群	B 群	巨視的視点でのみ モデルを用いた思考が可能	・見えるものを巨視的に表現 ・見えないものを巨視的に表現 (感覚的な表現, 空白で表現など)
説明不可群	C 群	モデルを用いた思考が不可能	・見えるものを表現できない ・見えないものも表現できない

表 3-6 の分類基準を基に、モデルの使用調査における文脈に沿った、分類規準を 4 段階
で作成した（表 3-7）。また、具体的な絵の例を、図 3-12 に示す。それぞれについて以下に
詳細を述べる。

c 群（C 群）に分類される絵としては、マスクやアンモニアの臭いを具体的な事物や図・
記号等で表現して思考することができず、文だけで説明を試みている回答が該当する。

b 群（B 群）に分類される絵としては、マスクやアンモニアの臭いを巨視的に見たまま描
いたものである。つまり、目に見えるマスクは絵で表現し、目に見えないアンモニアの臭い
は空白で、表現しないという回答である。なお、図 3-12 に示された b 群（B 群）の絵の例
（右図）に関しては、アンモニアの臭いを矢印で表現し、一見すると具体的な記号で表現し
て思考しているように見える。しかし、これは、アンモニアの臭いの‘流れ’を矢印で表現

しているだけで、アンモニアの臭いそのものを絵で表現できておらず、b 群（B 群）に分類される。

A 群は微視的にマスクやアンモニアの臭いを表現している絵が分類されるが、その中でもマスクとアンモニアの両方を微視的に表現できているものと、アンモニアの臭いだけを微視的に表現できているものを、それぞれ a-1 群と a-2 群と名付け、さらに 2 つに分類した。図 3-12 に示したように、a-1 群と a-2 群に分類される絵はどちらも、アンモニアの臭いを微視的に表現できており、それぞれ、a-1 群では「マスクの繊維よりアンモニアの臭いの粒の方が大きく、通過できないから」、a-2 群では「マスクにアンモニアの臭いの粒が反射するから」といったように、微視的視点のモデルを用いた思考ができていることが分かる。しかし、マスクをつけていても息ができていているという事実や、問題（図 3-10）の文中にあるように、「臭いを感じにくくなった」という、アンモニアの臭いを全く感じなくなっている事実を、a-2 群に分類される絵では説明できない。つまり、a-2 群に分類される絵を描く生徒は、多くの現象を統一的に説明することが可能な、完全な微視的視点のモデルを用いた思考を獲得していないといえる。

なお、この「モデルの使用調査」は授業の前後でも実施し、開発授業の評価の 1 つとして用いることにする。

表 3-7 モデルの使用調査における絵の評価方法（分類規準）

カテゴリー	略号		
微視的説明群	A 群	臭いとマスクを微視的に表現	a-1 群
		臭いのみを微視的に表現	a-2 群
巨視的説明群	B 群	・マスクを巨視的に表現 ・臭いを巨視的に表現（感覚的な表現、空白で表現など）	b 群
説明不可群	C 群	・マスクを表現できない ・臭いを表現できない	c 群

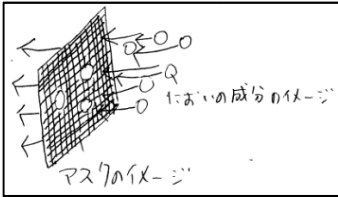
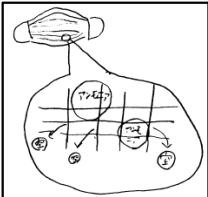
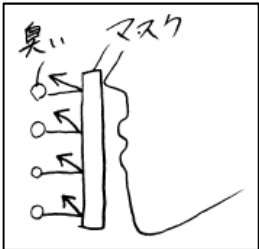
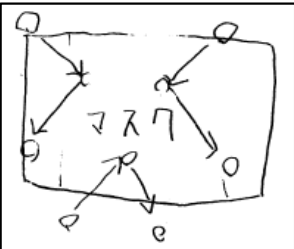
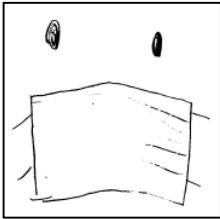
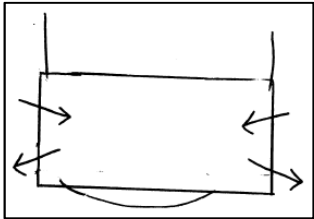
カテゴリー	略号	例
微視的説明群	A 群	a-1 群  
	a-2 群	 
巨視的説明群	B 群	b 群  
説明不可群	C 群	c 群 言葉のみでの説明

図 3-12 モデルの使用調査における絵の具体的な例（分類規準）

3.3. 実態調査の実施

3.3.1. 対象生徒について

京都教育大学附属桃山中学校 1 年生 4 クラス（129 名）を対象とした。なお、約半数（63 名）は小学校 5 年生時に、自らモデルを構築し、そのモデルの矛盾や限界を見出し、修正し、モデルを再構築する機会が設定された、モデルの構築を促す授業を経験している。その授業について、詳しく以下に述べる。

授業は全 13 時間で、小学校 5 年生の単元「もののとけ方」において、平島¹⁷⁾によって行われた。各時間の概要を表 3-8 に示す。この授業では、単元を通して学びの必然性や必要感を持ち、追及していく意欲を持てるように、単元を通して「ものが水にとけるとはどういうことか」と追及課題を設定されている。同時に、この追及課題を解決するために、「とけたものはどこにいったのか」「ものは水にいくらでもとけるのか」などという 1 時間ごとのめあてを設定し、そのめあてを順序選択的に一つ一つ追及していく。

なお、それぞれの実験では、「予想や仮説を立てる」→「実験する」→「結果から考察す

る」活動を大切にし、自ら課題を設定し、解決して自分の‘知’を更新していく「問答」ことができるようにされ、また、個人→班→全体の順に考えるという流れを大切にし、自分の思考と他者の思考を比較できるようにされている。

また、児童のモデルの構築を促す重要な手立ての1つとして、児童自らが「何が根拠」となり、自分の考え方がどうして出てきたかを児童自身が可視化できるように、「論拠」を整理する活動を取り入れたことが挙げられる。この「論拠」の整理方法を具体的に記す。児童は、ある事実から考えた自分の考えを事実であると考えてしまう傾向にあり、目の前の事実と自分の考えを混同していることが多い。そこで、平島は、国語の学習において、文中に書いてあること（根拠）と自分が文中から考えたこと（主張）を整理し、この根拠と主張を繋ぐものとしての「論拠」を考える学習を行ってきた。この学習を理科の学習においても実践し、見たままの現象や実験などの事実を「1次情報」、1次情報から考えたことや実験の考察を「2次情報」、そしてその2つを繋ぐ論拠を「1.5次情報」と呼び、それらを明確に整理して、特に論拠である「1.5次情報」を考えるときに、言葉とイメージ図で表すように児童たちに促す。そうすることで、自分の考えをモデルと言葉に置き換えるときに児童は認知的葛藤を生じ、認知が促進することをねらっている。

以上のように展開されたモデルの構築を促す授業を、小学生時に経験をしている生徒を対象に本研究を行うことは、「小学校理科との学びの連続性」という視点で、非常に有効であると考えられ、その視点でも分析をし、有効性を明らかにする。

表 3-8 小学生時に行ったモデルの構築を促す授業の展開（平島）

第1次	①	ものが水に溶けることについて1次情報を収集する。
	②	
	③	
	④	
第2次	⑤	水溶液の重さと問答する。 食塩が水に溶ける量と問答する。 食塩が水に溶けるという現象を、論拠を持って説明する。 溶け残りを溶かす方法と問答する。 溶けた食塩の取り出す方法と問答する。 振り返りを行い、自分や他者の考えと問答する。
	⑥	
	⑦	
	⑧	
	⑨	
	⑩	
第3次	⑪	食塩・ホウ酸・ミョウバンの溶け方の違いについて問答する。 振り返りを行い、もののとけ方に対して自分の思考の変容を振り返る。
	⑫	
	⑬	

3.3.2. 実態調査の結果

表 3-9 の日程で、「モデルの使用調査」と「モデルの認識調査」（実際に使用した調査問題は、参考資料を参照のこと）を各クラス、実施した。

表 3-9 事前調査の実施日程

1 組	平成 27 年 10 月 27 日
2 組	平成 27 年 10 月 26 日
3 組	平成 27 年 10 月 26 日
4 組	平成 27 年 10 月 26 日

(1) モデルの認識調査の結果

モデルの認識調査を実施し、モデルの役割や性質に関する各項目への回答をその得点とし、観点ごとの合計得点を項目数で割ることで平均得点を算出し、これを各観点の得点とした。なお、あいまいさを排除するため、「1.全くそうは思わない」・「2. あまりそうは思わない」は 1, 「3. どちらでもない」は 2, 「4. ややそう思う」・「5. 強くそう思う」は 3 と得点を設定し、平均得点を算出した（ただし、逆転項目に関しては得点を反転させた）。その結果を図 3-13 に示す。

図 3-13 に示したように、【特徴の顕在化】の性質の認識が、他の役割や性質に比べて低いことが分かる。そもそも【特徴の顕在化】は、3.2.で述べたように、「必要な部面のみを強調し、これを理解、解明するのにつごうよく考慮し、不必要な他の部分をできる限り省略したもの」という性質であると解釈される。つまり、この性質の認識には、実際とは異なる部面があるという認識が必要であり、抽象的な思考が求められる。抽象的な思考は小学生にとって難しく、したがって小学校の教科書を通覧しても、この性質が特徴的に表れているモデルの扱いは少なくなっており、中学校の教科書で多く扱われている。しかし今回の結果から、中学生でも、この性質を認識するのが難しいことが明らかとなり、中学校においてモデルの構築を促す授業を行い、モデルを用いた思考へはたらきかけ、2.3.3.で述べた「形式的モデルの構築と利用」という抽象的な思考を必要とするシェマの獲得を目指す必要であると示唆された。

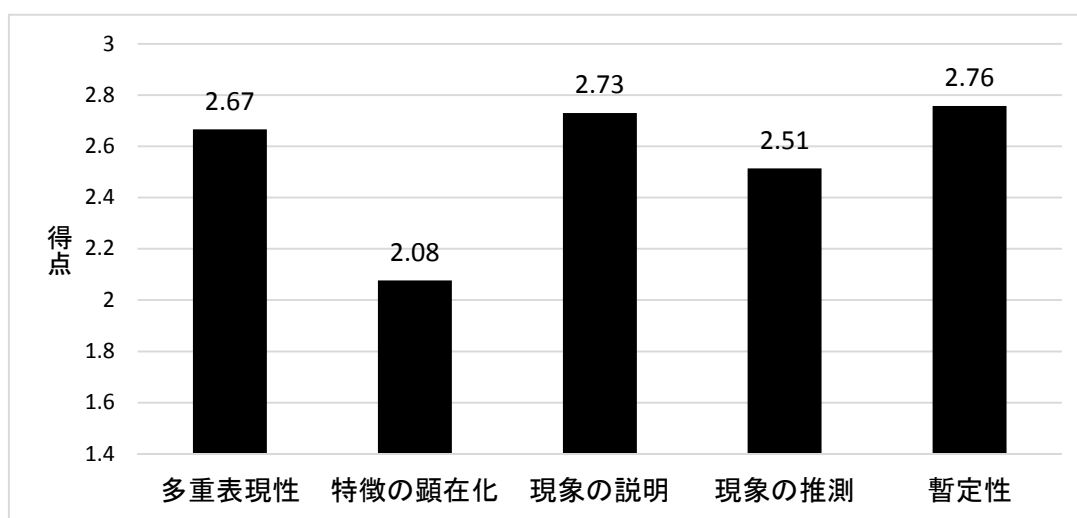


図 3-13 事前調査（モデルの認識調査）の結果

※グラフ内の数字は得点を示す。

【多重表現性】:あらゆる角度から複合的に情報を表現する

【特徴の顕在化】:ある特徴をはっきりと示す

【現象の説明】:現象を説明する

【現象の推測】:現象を推測する

【暫定性】:暫定的なものであり変わる可能性がある

次に、小学生時に経験したモデルの構築を促す授業の有効性を明らかにする。そこで、その授業を経験している生徒とそうでない生徒の各観点の得点の平均値に有意な差があるか否かを検討するために、欠席や記入漏れによる欠損値のある生徒を除いた 114 名の回答について、平均値の差の検定（対応のない t 検定）を行った。表 3-10 にその結果を示す。

表 3-10 に示したように、【多重表現性】【現象の説明】【現象の推測】の 3 観点において、小学生時にモデルの構築を促す授業を経験した生徒の方が、そうでない生徒に比べて平均値が有意に高かった（多重表現性： $t(114)=2.766$, $p<.05$, 現象の説明： $t(114)=2.952$, $p<.01$, 現象の推測： $t(114)=2.940$, $p<.01$ ）。つまり、小学生時に、自らモデルを構築し、修正し、モデルを再構築する経験をすることで、モデルの役割や性質を正しく見出し、認識を変容させたと考えられる。

そこで具体的に、小学生時のモデルの構築を促す授業の中で、それぞれの役割や性質の正しい認識への変容に影響したと考えられる教育的介入を明らかにしていく。まず、【多重表現性】の正しい認識への変容には、‘論拠を大切にする’という教育的介入が有効であったと考えられる。この教育的介入により、つながりを考えることを児童が行っていたと平島¹⁷⁾は報告しており、モデルの要素どうしのつながりの認識が必要である【多重表現性】の正し

い認識への変容に、効果的であったと推測できる。次に、【現象の説明】の正しい認識への変容は、個人→班→全体の順に考えるという流れを大切にし、自分の思考と他者の思考を比較できるようにする教育的介入が有効であったと考えられる。班討論や全体討論では、他者に、言葉だけでは自分の考えを伝えられない困難さに直面したり、モデルを用いた分かりやすい説明を聞いたりすることで、モデルを用いると自分の意見を説明しやすいと実感したと考えられる。最後に、【現象の推測】の正しい認識への変容に有効だった教育的介入を考察する。例えば、「なぜ塩が見えなくなるのだろうか」という視点で、自由に現象‘溶ける’を説明する中で、「包み込まれるから」や「ペアになるから」といったように、生徒はモデルを用いて現象の仕組みを推測していた（図 3-14）と平島¹⁷⁾は報告している。つまり、この活動を通して、モデルが自分の推測を支える道具としての役割があるという認識を見出したと考えられる。

表 3-10 事前調査（モデルの認識調査）からみる小学生時のはたらきかけの影響

性質	平均値		t
	はたらきかけ無	はたらきかけ有	
【多重表現性】	2.61	2.73	2.766*
【特徴の顕在化】	2.05	2.11	0.598
【現象の説明】	2.67	2.80	2.952**
【現象の推測】	2.39	2.65	2.940**
【暫定性】	2.72	2.79	0.538

**p<.01 *p<.05



図 3-14 自分の推測を支えるモデル

(2) モデルの使用調査の結果

モデルの使用調査を実施し、生徒の描いた絵を、表 3-7 の分類規準にしたがって、分類した結果を図 3-15 に示す。

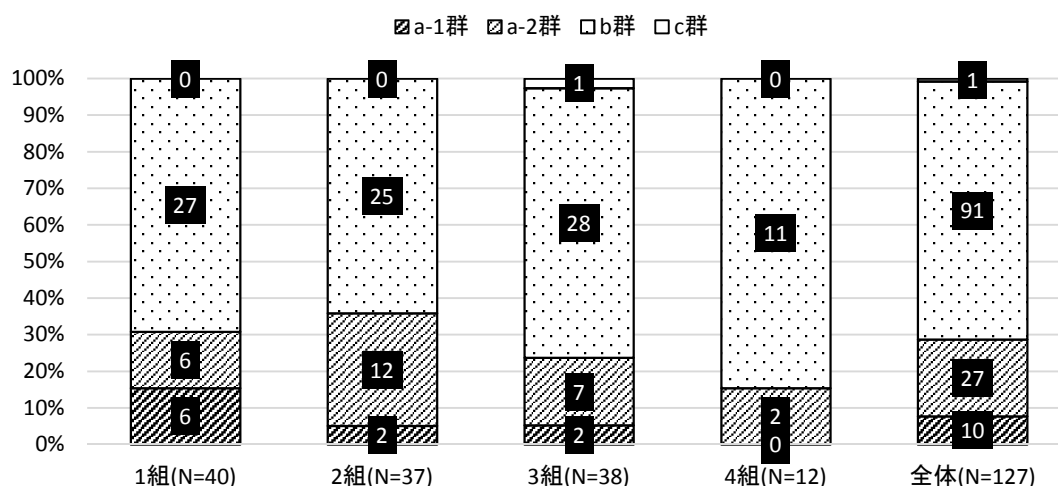


図 3-15 事前調査（モデルの使用調査）の結果

※縦軸は人数の割合(%)を、グラフ内の数字は人数(人)を示す。

a-1 群: 臭いとマスクを微視的に表現

a-2 群: 臭いのみを微視的に表現

b 群: マスクを巨視的に表現/臭いを巨視的に表現

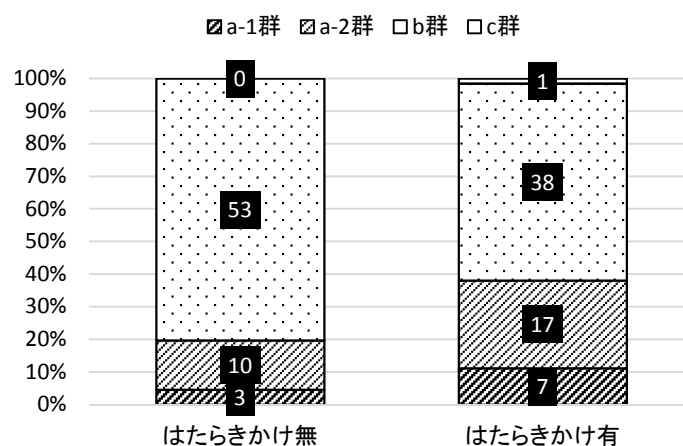
c 群: マスクを表現できない/臭いを表現できない

C 群 (c 群) に分類される生徒は、全クラスの中でも 1 名のみであり、目に見えないアンモニアを絵で表現できる生徒がほとんどであることが分かる。一方で、A 群 (a-1 群と a-2 群) に分類されるような、微視的な視点を持って説明できる生徒は全体の 29% (37 名) と少数であり、B 群に分類される生徒が全体の 71% (91 名) で、大部分を占めている。つまり、現象を説明するために絵を描くのではなく、巨視的視点で、目の前で起こっている現象を見たままに絵を描いている生徒が多く、先行研究 (3.1.) で明らかとなっているように、中学校において、モデルを用いて思考ができない生徒が多いという現状が明らかとなった。このことは、中学生が、現象を説明する上で、便利な思考の道具であるというモデルの意義を見出しておらず、モデルを完全に獲得できていないといえる。したがって、モデルの構築を促す授業が求められているといえる。

次に、小学生時のモデルの構築を促す授業の有効性を明らかにするため、その授業を経験している生徒とそうでない生徒の結果の違いを図 3-16 に示す。

図 3-16 より、小学生時にモデルの構築を促す授業を経験した生徒は、そうでない生徒に比べて、A 群（a-1 群と a-2 群）に分類される生徒の割合が 38.1%と 19.7%と大きく差がある。つまり、小学生時に、自らモデルを構築し、修正し、モデルを再構築する経験をするこ
とで、微視的視点のモデルを用いた思考が可能になったと考えられる。このことから、小学
生時のモデルの構築を促す授業が、モデルを用いた思考に対して、効果的にはたらくことが
明らかとなり、有効性を確認できた。しかしながら、その経験のある生徒でも、多く（61.9%）
が b 群や c 群に分類され、微視的視点のモデルを用いた思考ができないことも明らかとな
った。

したがって、中学校でも‘継続的’にモデルの構築を促す授業により、モデルを用いた思
考にはたらきかける必要があると示唆された。



※縦軸は人数の割合(%)を，グラフ内の数字は人数(人)を示す。

図 3-16 事前調査（モデルの使用調査）からみる小学生時のはたらきかけの影響

以上の事前調査（モデルの使用調査とモデルの認識調査）の結果から、対象となる中学校 1 年生のモデルを用いた思考の実態として、以下のことが明らかとなった。

- ① 巨視的視点で現象を見たままに絵を描いている生徒が多く、現象を説明するのに便利な思考の道具であるというモデルの意義を見出しておらず、モデルを完全に獲得していないことが明らかとなり、モデルの構築を促す授業が求められている。
- ② 中学生にとって、抽象的な思考が求められる【特徴の顕在化】の性質を認識するのは難しく、モデルの構築を促す授業が求められている。

3.4. 第 3 章のまとめ

本章では、①モデルの役割や性質をどのように認識しているのか、②自然現象に対してどのように思考するのか、特にその時のモデルの使用状況はどのようなものかという 2 つの視点から、中学生のモデルを用いた思考の実態を把握するため、調査問題を開発し、実施した結果を報告した。

実施した結果として、抽象的な思考が求められる【特徴の顕在化】というモデルの性質を正しく認識できていないこと、また現象を説明するのに便利な思考の道具であるというモデルの意義を見出していないことが明らかとなり、中学生にモデルの構築を促す授業を行うことにより、モデルを用いた思考にはたらきかける必要性が示唆された。さらに、小学生時に経験したモデルの構築を促す授業の有効性を検討した結果、小学生時のモデルの構築を促す授業による、モデルを用いた思考へのはたらきかけによって、モデルの役割や性質を正しく認識し、目に見えない現象に対して、微視的視点のモデルを用いた説明が可能になっていることが分かった。以上から、小学生時のモデルの構築を促す授業によるモデル思考へのはたらきかけが、有効にはたらいていることが明らかになった。

そこで、第 4 章では平島らの授業と同様に、目に見えない現象を説明するために、自らモデルを構築し、そのモデルの矛盾や限界を見出し、修正し、モデルを再構築する経験を重視した、モデルの構築を促す授業を中学校 1 年生において開発し、授業実践を行い、その効果を検討することにする。

第4章 中学校 1 年生における授業の開発

第 3 章では、中学生のモデルを用いた思考の実態を調査し、中学生にモデルの構築を促す授業を行い、モデルを用いた思考にはたらきかける必要性が示唆された。

そこで、本章では、第 2 章で述べた諸理論を参考にして、中学校 1 年生において、目に見えない現象を説明するために自らモデルを構築し、そのモデルの矛盾や限界を見出し、修正し、モデルを再構築する経験を重視した、モデルの構築を促す授業を単元「物質の状態変化」で開発し、実践した結果を報告する。

4.1. 単元「物質の状態変化」の構成と特徴

中学校 1 年生において、モデルの構築・活用力を育成する授業を考案する単元として、「身のまわりの物質」の単元の中の小単元「物質の状態とその変化」を選択した。

本単元の、中学校学習指導要領解説編（理科編）⁶⁾における扱いをみる。

(2) 身の回りの物質

身の回りの物質についての観察、実験を通して、固体や液体、気体の性質、物質の状態変化について理解させるとともに、物質の性質や変化の調べ方の基礎を身に付けさせる。

[文部科学省，2008，p.28]

ウ 状態変化

(ア) 状態変化と熱

物質の状態変化についての観察、実験を行い、状態変化によって物質の体積は変化しますが質量は変化しないことを見いだすこと。

[文部科学省，2008，p.32]

(内容の取扱い)

オ ウの(ア)については、粒子のモデルと関連付けて扱うこと。その際、粒子の運動にも触れること。

[文部科学省，2008，p.32]

以上のように学習指導要領において、単元「物質の状態変化」は、粒子を柱とした内容の初期に位置づけられており、内容の取扱いとしては、「粒子のモデルと関連付けて理解させ

ること」が主なねらいとなっている。小学校第4学年では、水は温度によって水蒸気や氷に状態が変化すること、また水が氷になると体積が増えることも学習している。つまり、中学校では、状態変化をするときの質量に着目すること、またそれらの現象を、モデルを用いて思考することが求めている。したがって、モデルの構築を促すのに適した単元であるといえる。

次に、本単元の教科書³⁹⁾における扱いをみる(図4-1)。中学校学習指導要領の記載を受けて、状態変化したとき、質量は変わらずに体積が変化するという現象を、「物質は小さな粒子が集まっている」という前提からモデルを用いて思考する展開で、粒子モデルと関連付けて取り扱われている。しかし、このような教科書同様に、教師が展開し、「物質は小さな粒子が集まっている」という前提で、粒子モデルが与えると、どのようにして現象を説明すればよいかといった説明方法を思考し、選択する機会が失われ、モデルが現象を説明する上で、便利な思考の道具であるという有用性を自ら見出しにくいと考えられる。

展開

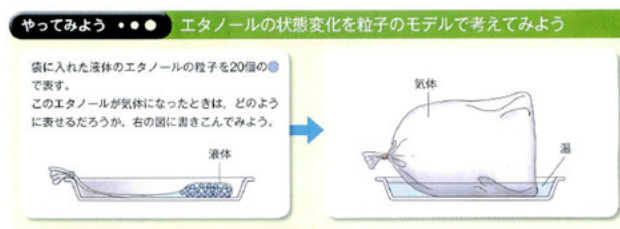
1. 温度によって物質の状態が固体・液体・気体と変わることを、物質の状態変化ということを学ぶ。
2. 「物質が液体から固体へと状態変化するとき、体積と質量は変わるだろうか。」と問題提起し、以下の実験から、「液体→固体の変化では、体積は変化するが、質量は変化しない」ことを導く。



3. 「物質が液体から気体に状態変化するとき、体積はどのように変わるだろうか。」と問題提起し、以下の実験から、「液体→気体の変化では、体積は変化するが、質量は変化しない」ことを導く。



4. 「物質はその性質を示す小さな粒子がたくさん集まってできているとわかる。この粒子はたいへん小さく、一つ一つは目に見えない」と説明し、以下のようにエタノールの状態変化を粒子のモデルで考える活動を行う。



5. 補足として、不完全な粒子モデルを用いた思考を示す。



6. 正しく粒子モデルを用いた思考を示す。



7. 「物質をつくる粒子は、たえず動いている。この粒子の運動のようすで、物質の状態が決まる」と説明し、粒子の運動性と温度を関連づけて説明する。このとき、粒を人に例えたモデル図も併せて示す。

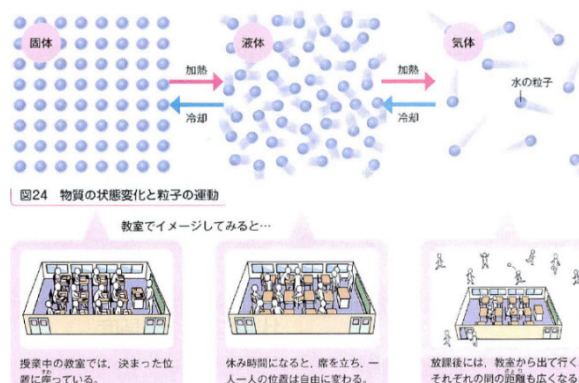


図 4-1 教科書における単元「物質の状態変化」の取り扱い

4.2. 開発した授業

4.2.1. モデルを用いて思考する現象

(1) 教科書で扱われる現象

教科書（大日本図書）³⁹⁾では、単元「物質の状態変化」において、袋に入ったエタノールが液体から気体になったとき、質量は変化しないが、体積が変化するという現象を、粒子モデルを用いて思考することが求められている。しかし、教科書にはこの現象に対する、粒子モデルを用いた説明が掲載されてしまっている（図 4-2）。つまり、開発授業の中で、この現象に対してモデルを用いて思考することを求めたとしても、事前に教科書に目を通した生徒が、思考することなく記憶した図をそのまま描いてしまう可能性がある。

そこで本研究では、次のようなモデルを用いて思考する対象となる現象を新たに考案した。

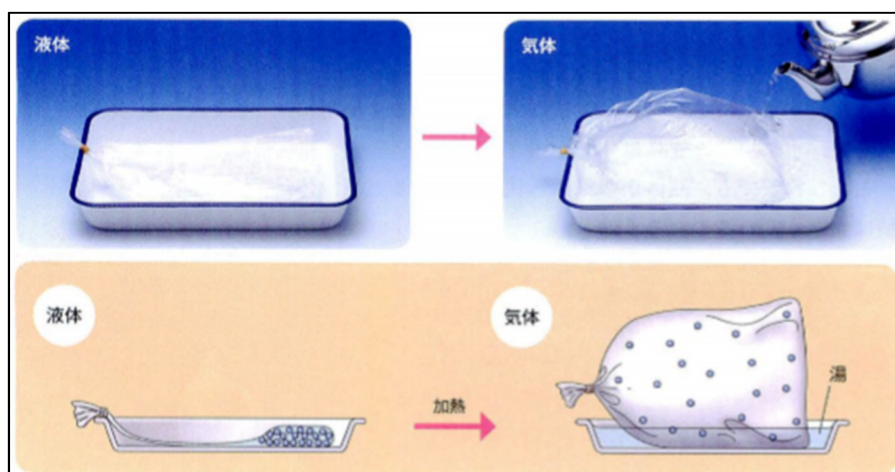


図 4-2 教科書におけるモデルを用いて思考する現象

(2) 考案したモデルを用いて思考する現象

粒子モデルは、形式的モデル（観察できない・実体がなく理論上だけで扱われるような形式的なものを絵で表したモデル）の 1 つである。つまり、粒子モデルの構築を促すためには、「目に見えないもの」を思考することを求める必要があるといえる。単元「物質の状態変化」で考えると、「目に見えないもの」としては、三態のうち‘気体’の状態が挙げられる。そこで、教科書（図 4-2）と同様に、液体から気体の状態変化が、モデルを用いて思考する現象として適していると考えた。しかしながら‘液体’は目に見えるため、微視的に捉

えるのが難しく、モデルを用いて思考する必要性を子どもたちが見出しにくいと考えられる。そこで、液体であるにも関わらず、微視的に捉えやすいものとして、「湯気」に着目した。湯気を「目に見えるもの」、水蒸気を「目に見えないもの」として、この状態変化を説明させることで、粒子モデルを用いた思考を促せると考えた。

図 4-3 は、考案した現象である。この現象は、丸底フラスコに入った水を沸騰させると、丸底フラスコに付けたガラス管から蒸気が出るというものである。その蒸気は、ガラス管の先を出た直後は温度が非常に高いため、水蒸気であるが、すぐに空気中で冷やされ、ガラス管の先から数 cm の場所では湯気となるため、ガラス管の先では、目に見える部分（湯気）と目に見えない部分（水蒸気）が観察される。この現象の特徴としては、実験を行うに際し、①身近な物質、器具を使用している、②再現性が非常に高い、といった特徴が挙げられ、学校現場でも容易に行うことが可能であるという利点がある。

実験器具の詳細を述べる。準備物は、四脚台・セラミック金網・ガスバーナー・丸底フラスコ・沸騰石・ゴム栓・ガラス管である。本研究では、現象を観察しやすくするため、ガラス管（図 4-4）を調整した。長さ 15cm のものを使用し、10cm のところで、曲線を描かせ、また先端は狭めることで、勢いよく蒸気が出るようにした。勢いよく蒸気を出すことで、目に見えない部分が広範囲で観察できる。

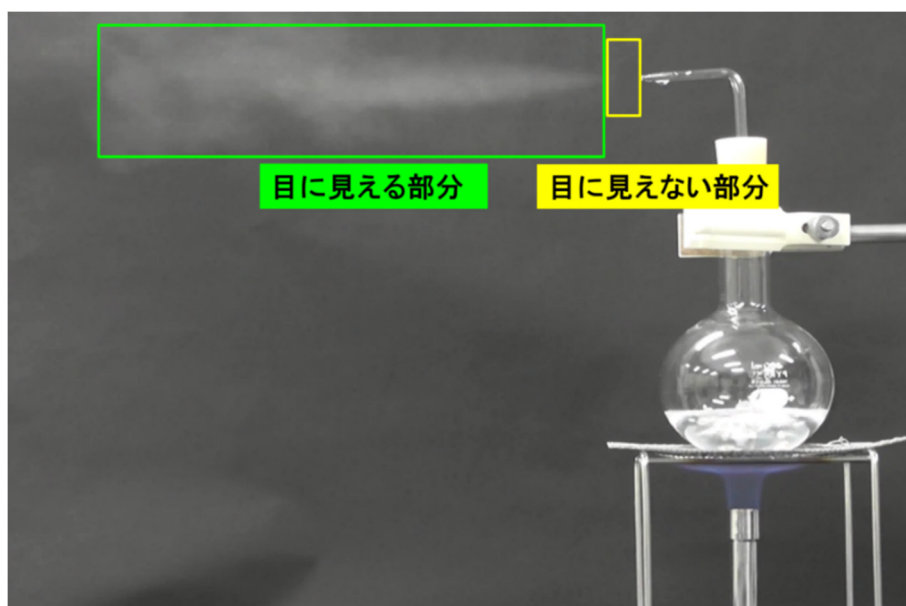


図 4-3 考案したモデルを用いて思考する現象

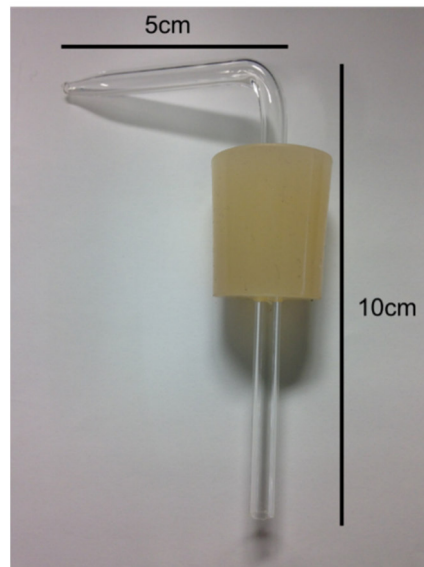


図 4-4 本研究で用いたガラス管

4.2.2. 授業内容

図 4-5 に開発した授業の展開を示す（指導案は参考資料を参照のこと）。なお、授業ではワークシート（図 4-6）を用いて進めることにした。

授業展開	
導入	● 実験器具の説明を聞く ● 現象の観察結果を予想する ● 現象を観察する ● 観察結果をクラス全体で共有する 「目に見える部分と目に見えない部分が存在する」 ● 目に見える部分と目に見えない部分がそれぞれ何なのか予想し、ワークシートに書く ● クラス全体で、それぞれ「湯気」と「水蒸気」であること、またどちらも同じ水であることを共有する
【展開①】	● 表4-4にしたがってⅢ群に分類される絵が、「現象を絵で説明することにならないことを共有する ● 個人で、課題「どうして見える部分と見えない部分があるのか、現象を絵で説明しよう」に取り組み、ワークシートに描く （机間指導では、「現象を知識を使った言葉で説明する」生徒に対して、目に見える部分と目に見えない部分の2つを比較して考えさせ、「現象を絵で説明する」ように促す）
【展開②】	● 展開①において個人で考えた説明方法をもとにして班で討論し、課題に対する一つの説明方法をホワイトボードに描く （展開①と同様に、「現象を絵で説明する」ように促す）
【展開③】	● 展開②において班で考えた説明方法を、発表する （「現象を知識を使った言葉で説明する」のではなく、「現象を絵で説明する」ように発表を促す） ● 発表を聞いて、どの班が最も分かりやすく現象を説明できているのか考え、理由をともにワークシートに書く ● 教員によって表4-4にしたがって分類された各班のホワイトボードを見て、どのグループが最も現象を説明できているのか考える
【展開④】	● 展開①～③を踏まえて、個人でもう一度課題に取り組み、ワークシートに描く ● 1回目と2回目に個人で描いた説明を比較し、工夫したところをワークシートに書く

図 4-5 開発した授業展開（中学校 1 年生）

①

② ガラス管の先で起こった現象を絵で書き、その絵の説明をしましょう。

＜絵＞

②



＜絵の説明＞

③

④ 自分の班やクラスの考えを参考にして、もう一度ガラス管の先で起こった現象を最も正しく説明しましょう。また最初に書いた絵と比べて、工夫したところを書きましよう。

<絵と工夫したところ>

4



<絵の説明>

.....

.....

.....

※①～④は以下の授業展開と対応している。

【導入】

その後、教師によって実験が行われ、ガラス管の先から蒸気が噴出する様子を観察する。この時、自分で予想した結果が正しいのか、また違いがあるのか、観察する視点を持って、ガラス管の先に注目して現象を観察する。このように、現象を目の前で観察することで、具体的に現象に対して思考しやすくすることを目的としている。

現象を観察した後、ガラス管の先では目に見える部分と目に見えない部分が観察できるという実験結果を、発表したり、友達の発表を聞いたりして、クラス全体で共有する。観察事実で違いがあれば発表を行い、クラス全体で観察結果に齟齬が無いようにする。また、表3-6の分類規準より、目に見えないものを想定できるかということは、モデルを用いた思考において重要である。そこで、この後の活動で、‘目に見えない部分’をどのように説明すればよいのか、生徒たちが認知的葛藤を生じる必要があるため、実験結果の共有では、必ず「目に見える部分と目に見えない部分が存在する」という表現で行う。

その後、それぞれの部分（目に見える部分と目に見えない部分）は何なのか、ワークシート（図4-6-①）に個人で予想し、目に見える部分は湯気であり、目に見えない部分は水蒸気であることを、観察結果の共有と同様にして、クラス全体で共有する。この時、湯気と水蒸気がどちらも水であることも確認する。どちらも同じ物質であるという条件を与えることは、目に見えない部分と目に見える部分が同じ絵でなければならないということを暗に意味しており、現象を絵で説明する上で、より深い認知的葛藤を起こすことができると考える。

したがって、【導入】では、①目に見える部分と目に見えない部分があること②目に見える部分は湯気であり、目に見えない部分は水蒸気であること③湯気と水蒸気はどちらも同じ‘水’であることの3点を共通認識する必要がある。

これらの活動を行わずに、「現象を絵で説明する」という課題に出会うと、例えば目に見えない部分が水蒸気ではなく、何も存在していないと考えていた場合、その課題に対してではなく、観察事実や使用する用語に対して認知的葛藤が生じる可能性がある。つまり、この活動を行うことで、「現象を絵で説明する」ことに対する認知的葛藤を生じる上で、障害となる要因を取り除く。

【展開①】

「ガラス管の先で起こった現象を絵で説明しよう」と教師から提示された課題に対して、ガラス管の先で起きている現象を絵と文章を使ってワークシート（図4-6-②）に、個人で説明する。この活動において、自らモデルを構築し、現段階における自分の思考を外化することで、【展開④】で自分の思考を振り返るためのツールとなる。

「水蒸気が冷やされて、湯気となる」ことは、小学校において既習済みであるため、「熱せられた水が水蒸気（気体）となり、空気中で冷やされて湯気（液体）となる」といったよ

うに、現象を、知識を使った言葉による説明をできる生徒が大半であると考えられる。しかし、それらを絵で説明する経験のない生徒がほとんどであり、「現象を、知識を使った言葉で説明する」のではなく、「現象を絵で説明する」というところに、この活動の難しさがある。つまり、自分の構築したモデルでは説明ができないという困難さに直面することが、モデルを用いた思考における認知的葛藤である。

ただし、個人でこの活動を始める前に、後述するが、表 4-4 の分類規準を基にすると、Ⅲ群に分類される絵（図 4-7）を例に挙げ、その絵は現象を説明していることになっているのかを思考し、全体でその絵では現象が説明できていないという、モデルの矛盾や限界を見出す。この活動では、班討論や全体討論で様々な考えが表出し、社会的構築が活発に行われることを目的としている。

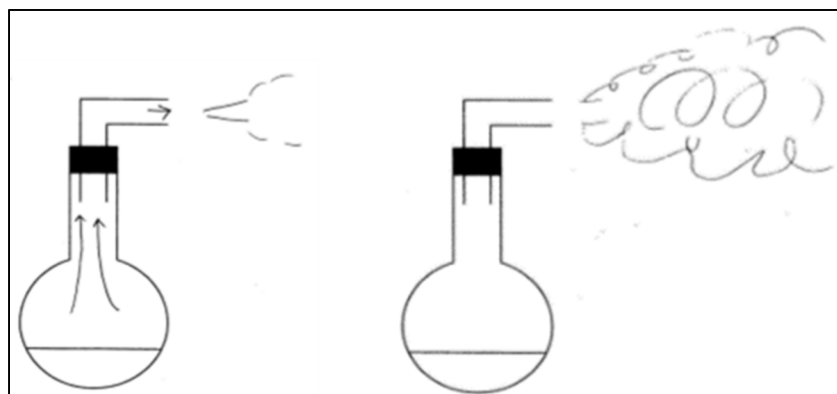


図 4-7 Ⅲ群に分類される絵の例

【展開②】

【展開①】において、個人で構築したモデルを用いた説明方法を班で共有・討論する中で、現象を最もうまく説明している絵を導き出し、ホワイトボードに 1 つの説明方法を描く。この時、ホワイトボードには言葉は一切書かず絵のみを描き、できるだけ言葉がなくても説明できる絵、モデルを思考する。

ここでは、班で思考を共有・討論する中で、他者の思考と出会い、一人ひとりの思考が変容していくことを目的としている。つまり、自分のモデルの矛盾や限界を見出したり、他者の構築したモデルの利点を見出したりするのである。例えば、粒子モデルを用いて思考している生徒とそうでない生徒が、討論することで、粒子モデルを用いて思考していなかった生徒は粒子モデルを用いて思考することの分かりやすさ（利点）を見出し、粒子モデルを用い

て思考することの意義を見出すことが期待される。また粒子モデルを用いて思考していた生徒も、班で討論することで、物質は同じだから粒の大きさは変えない方が良いといったように、精査された、より正確な粒子モデルを構築していく。このように、どのような生徒に対しても、班討論の中でより良いモデルを再構築されることを目指している。

【展開③】

各班が【展開②】で導き出した説明方法を発表し、クラス全体で共有する。班発表の際には、「現象を、知識を使った言葉で説明する」よりも、「現象を絵で説明する」ように発表を促す。また、発表を聞いている生徒は、ワークシート（図 4-6-③）に最も分かりやすく現象を絵で説明できていた班とその理由を書く。全ての班の発表が終わると、教師が各班のボードを表 4-4 にしたがって分類するので、生徒がどのような視点でその分類が行われたのか、またどのグループが最も分かりやすく現象を絵で説明できていたのかを思考する。

この活動では、【展開②】と同様に、全体討論を通して他の班の意見を聞くことで、1人ひとりの生徒の思考が変容することを目的としている。また他の班の発表中に最も分かりやすく現象を絵で説明できていた班を生徒に思考させることは、「分かりやすく現象を絵で説明できているのか」という明確な視点を持って、他の班の発表を聞く支援となるように設定している。また、教師が行う分類では、最も分かりやすく現象を絵で説明できている‘絵’がどのような特徴のある絵なのか、生徒が思考する支援となるために行われている。

【展開④】

班の意見、全体の意見を踏まえて、もう一度、ガラス管の先で起こった現象を、ワークシート（図 4-6-④）に最も分かりやすく現象を説明する絵で説明する。

この活動では、自分の思考に対して思考することを目的としている。つまり、【展開①】で自ら構築したモデルを、討論を通して見出した自分のモデルの矛盾や限界、また他者の構築したモデルの利点を基に、モデルを再構築するのである。さらに、自分が最初にかいた説明と、討論後にかいた説明を比較して、どうしてその説明に変えたのかを思考することで、その思考方法を他の文脈でも使えるようにする。

以上のように、目に見えない現象を説明するために、自らモデルを構築し、そのモデルの矛盾や限界を見出し、修正し、モデルを再構築する経験を重視した展開となっている。

4.3. 開発授業の実践

4.3.1. 開発授業の実践概要

第 3 章で述べたように、モデルの構築を促す授業の必要性が見出された生徒を対象に、表 4-1 の日程で、開発授業を 1 コマ（50 分）で実践した。なお、1～3 組は、4 人または 3 人で班を構成する。4 組は 2 人で班を構成する。

表 4-1 開発授業の実践日程（中学校 1 年生）

クラス	実施日
1 組	平成 27 年 11 月 6 日
2 組	平成 27 年 11 月 6 日
3 組	平成 27 年 10 月 27 日
4 組	平成 27 年 10 月 27 日

4.3.2. 開発授業の実践結果と考察

(1) モデルの使用調査の分析

授業終了後に、事後調査（モデルの使用調査）を表 4-2 の日程で実施した。第 3 章で述べた実態調査で用いたモデルの使用調査と全く同じ調査問題を使用したため、事後調査についても、表 3-7 の分類規準にしたがって分類を行い評価し、事前・事後調査の結果を比較して開発授業の効果を検討する。

表 4-2 事後調査の実施日程（中学校 1 年生）

クラス	実施日
1 組	平成 27 年 11 月 10 日
2 組	平成 27 年 11 月 9 日
3 組	平成 27 年 11 月 2 日
4 組	平成 27 年 10 月 29 日

事前調査と事後調査の結果を比較した結果（図 4-8）と、より詳細な生徒の分布（表 4-3）を示す。

図 4-8 より、全体として段階が上昇し、A 群（a-1 群と a-2 群）に分類される生徒の割合が 29%（36 名）から、46%（56 名）へと増加していることが分かる。つまり、開発授業によって、微視的視点のモデルを用いた思考が可能な生徒が増加したといえ、本授業は、モデルを用いた思考を促すことに一定の効果があったことが分かった。しかしながら、表 4-3 より、事前調査で B 群に分類された生徒の大半 75%（65 名）が変容しておらず、授業で見出した微視的視点のモデルを用いた思考を、授業とは異なる文脈へ適用できていないことが分かる。このことから、‘モデル’は変容しづらい概念であることが明らかになり、同様の授業を異なる文脈で繰り返し行い、モデルを用いた思考へ継続的にはたらきかける必要があることが示唆された。

以上から、授業前後において、モデルの使用調査で回答したモデルに変容のない生徒が多いものの、微視的視点のモデルを用いた思考のできる生徒が増加しており、本授業の目的である、モデルの構築を‘促す’という視点では効果があった。また、同様の授業を異なる文脈で行い、継続的にはたらきかけることが必要であることも示唆された。

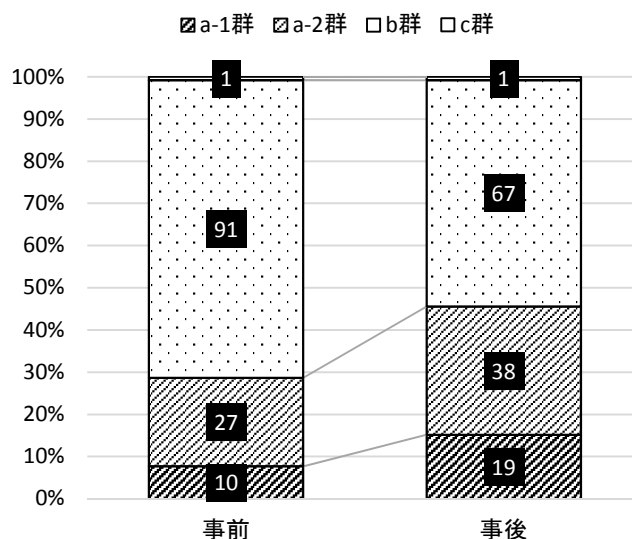


図 4-8 中学校 1 年生の授業前後の全体の変容（モデルの使用調査）

※縦軸は人数の割合(%), グラフ内の数字は人数(人)を示す。

a-1 群: 臭いとマスクを微視的に表現

a-2 群: 臭いのみを微視的に表現

b 群: マスクを巨視的に表現/臭いを巨視的に表現

c 群: マスクを表現できない/臭いを表現できない

表 4-3 中学校 1 年生の授業前後の各生徒の変容（モデルの使用調査）

N=124

		事後			
		a-1 群	a-2 群	b 群	c 群
事前	a-1 群	9	0	0	0
	a-2 群	5	20	1	1
	b 群	5	17	65	0
	c 群	0	0	1	0

続いて、小学生時にモデルの構築を促す授業を経験している生徒とそうでない生徒の結果の違いをみる。3.3.2 (2) で述べたように、事前調査において、A 群（a-1 群と a-2 群）に分類される生徒の割合はそれぞれ、38.1%と 19.7%と大きく差があった。しかし、図 4-9 に示したように、事後調査では、53.2%と 38.1%とその差が僅かとなっている。つまり、小学生時のモデルの構築を促す授業でも、本授業においても、微視的視点のモデルを用いた思考を見出せなかった生徒が存在する。この原因として、2.3.3.で述べたようなシエマ「形式的モデルの構築と利用」に必要な発達の段階に達していないことが一つあげられる。シエマの獲得には、継続的にそのシエマに繰り返しはたらきかけることが重要であり、この結果からも、異なる文脈において同様の授業により、モデルを用いた思考にはたらきかけ続けることが必要であると明らかになった。

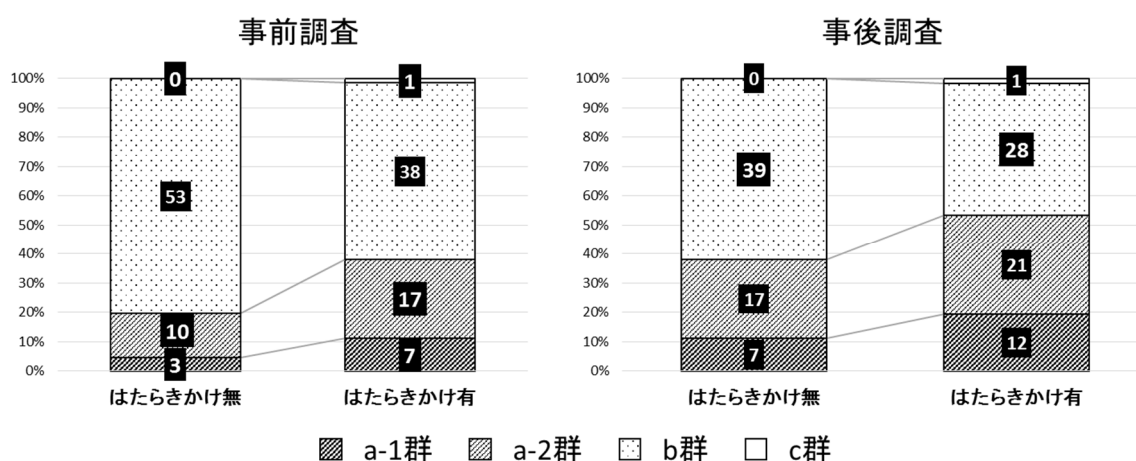


図 4-9 モデルの使用調査における全体の変容（はたらきかけの有無）

※各グラフ、縦軸は人数の割合(%)を、グラフ内の数字は人数(人)を示す。

(2) ワークシートの分析

表 3-6 の分類規準を基に、本授業（ワークシート）における文脈に沿った具体的な分類規準を 4 段階で作成し（表 4-4）、これに沿って分類を行った。それぞれについて以下に詳細を以下に述べる。

c 群（C 群）に分類される絵としては、湯気や水蒸気を具体的な事物や図・記号等で表現して思考することができず、文だけで説明を試みている回答が該当する。

b 群（B 群）に分類される絵としては、湯気や水蒸気を巨視的に見たまま描いたものである。つまり、目に見える湯気は絵で表現し、目に見えない水蒸気は空白で、表現しないという回答である。

A 群は微視的に湯気や水蒸気を表現している絵が分類されるが、その中でも湯気を微視的に表現できているものと、水蒸気を微視的に表現できているものとで、さらに 2 つに分類した。ここで、目に見えないものを表現するためには、感覚的に表現する以外、微視的に表現するしかないが、目に見えるものを表現するためには、見たままに、巨視的に表現することも可能であり、目に見えるものを微視的に表現する方が、難易度が高く、表現できる生徒は完全な微視的視点のモデルを用いた思考を獲得しているといえる。そこで、目に見えるものである湯気を微視的に表現できているものをより高位であるとした。また、湯気を微視的に表現しているものの中でも湯気と水蒸気の区別の有るものと無いもので、さらに 2 つに分類し、区別の有るものをより高位であるとした。

表 4-4 単元「物質の状態とその変化」におけるモデルの分類規準

カテゴリー	略号		
微視的説明群	A 群	湯気も微視的に表現する	湯気と水蒸気の区別有り a-1 群
			湯気と水蒸気の区別無し a-2 群
		水蒸気を微視的に表現する	a-3 群
巨視的説明群	B 群	・湯気を巨視的に表現する ・水蒸気を巨視的に表現する（感覚的な表現、空白で表現など）	b 群
説明不可群	C 群	・湯気を表現できない ・水蒸気を表現できない	c 群

表 4-4 の分類規準にしたがって、討論前後で生徒がワークシート（図 4-6ー②，④）に描いた絵を分類した結果（図 4-10）と詳細な生徒の分布（表 4-5）を示す。

図 4-10 より、討論前に生徒が自ら構築したモデルは、B 群に分類される絵が非常に多い

(68 人, 51.9%) ことが分かる。この結果は, 第 3 章で述べたモデルの使用調査を用いた実態調査の結果と一致しており, 現象を説明するために絵を描くのではなく, 巨視的視点で, 目の前で起こっている現象を見たままに絵を描いている生徒が多いと考えられる。

一方, 討論後のワークシートの回答を見ると, 図 4-10 より, 全体として段階が高くなっているのが分かる。具体的に表 4-5 から, 段階が高くなった生徒は, 65 人 (70%) であった。つまり, 多くの生徒が, 本授業の中で自分の構築したモデルの矛盾や限界を見出し, モデルを修正し, より良いモデルを再構築したといえる。

では次に, 生徒がどのようにして, 自分の構築したモデルの矛盾や限界を見出したのか, 授業の様子をビデオで録画した授業記録を基に, 分析していく。特にその際, 生徒が自分の構築したモデルの矛盾や限界を見出すには, 班討論と全体討論の中での教師の適切な介入が必要であると考え, それを確認することにした。

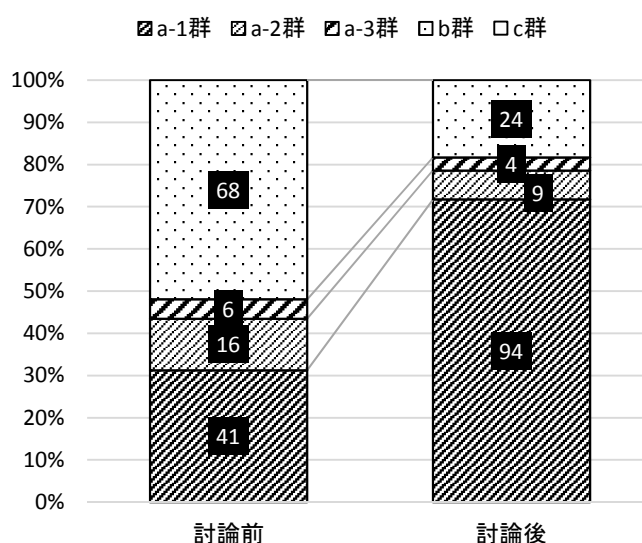


図 4-10 ワークシートにおける討論前後の全体の変容

※縦軸は人数の割合(%)を, グラフ内の数字は人数(人)を示す。

表 4-5 ワークシートにおける討論前後の各生徒の変容

N=131

全体		討論後				
		a-1 群	a-2 群	a-3 群	b 群	c 群
討論前	a-1 群	38	1	0	2	0
	a-2 群	10	2	0	4	0
	a-3 群	4	1	1	0	0
	b 群	42	5	3	18	0
	c 群	0	0	0	0	0

※ は段階が上昇した生徒

(3) 授業記録の分析

はじめに、モデルの矛盾や限界を見出す上で班討論が影響していたのか確認する。そのため、ここでは、4 人の班員全員が、討論後においてワークシートに A 群に分類される微視的視点のモデルを用いた説明をしており、班員がモデルをより良いモデルへと再構築していた班、つまり班討論の中でモデルの矛盾や限界を見出していると考えられる班を抽出した。では以下に、それに該当する 2 つの班の発話事例を示し、分析する。

1 つ目の班は、微視的視点のモデルを用いた説明をする生徒と、そうでない生徒が存在する班である。表 4-6 は、その班の班討論をしている場面である。A1 において、生徒 A が、水蒸気が目に見えない理由を「バラバラの粒子だから見えない」と微視的視点のモデルを用いた説明をしている。それに対して、微視的視点のモデルを用いた説明を見出していない生徒 C は C1 において、「なんで？」と、すぐには、その説明に理解できない様子を示している。その様子を見た生徒 A が A2 において、微視的視点のモデルを用いた説明を詳しく説明すると、C2 で「なるほど」と、納得した様子を見せている。反対に、湯気が目に見える理由を、水蒸気が目に見えない理由と同様に、微視的視点のモデルを用いた説明を生徒 A がすると、再び、B1 や C3 に見られるように、生徒 B,C はすぐには理解できない様子を示している。再び、その様子を見た生徒 A が、A4 で微視的視点のモデルを用いた説明をより詳しく説明すると、C4,B2 で生徒 B,C は納得した様子を見せている。以上のように、生徒 B,C は生徒 A が構築したモデルの有効性を見出したと考えられる。

この班の生徒のワークシートの回答を討論前後で比較すると、先述したように、4 人全ての班員が討論後に A 群に分類される絵（図 4-11）を描き、微視的視点のモデルを用いて現象を説明し、モデルを再構築していることが確認できた。

表 4-6 微視的視点のモデルを用いた思考を見出した生徒が存在する班討論①

発話順	発話者	発話事例
1	A1	出る先の方は、まだ熱を持っているから、みんなバラバラっていうか、小っちゃーいバラバラの粒子。だから、見えへん。
2	C1	なんでなんでなんで？なんでバラバラやったら見えへんの？
3	A2	小っちゃすぎるから、肉眼では。
4	C2	あー、なるほど。
5	A3	で、小っちゃすぎるから見えへんけど、時間が経ったら、冷めて、集まるやんな？冷めたら。
6	B1	集まるん？
7	C3	冷めたら、集まる？
8	A4	集まっていったら、でっかくなるやん？でっかくなっていったら、肉眼で見えるようになる。
9	C4	なるほど。
10	B2	(うなずく)

※Tは授業者、A,B,Cは生徒を指す。？は上昇音調を示す。

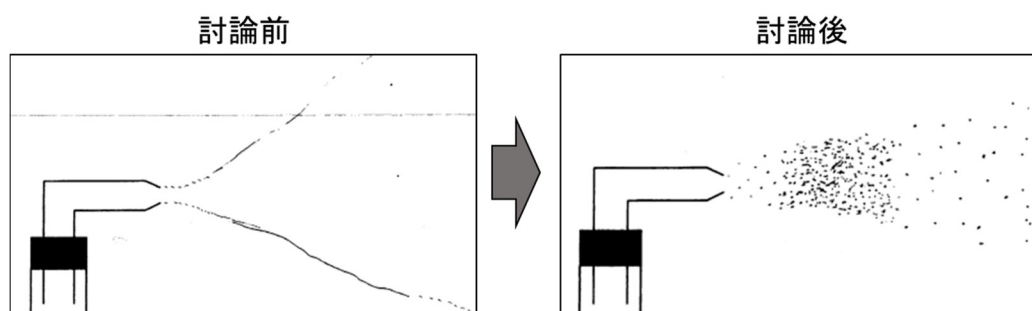


図 4-11 班討論を通して微視的視点のモデルを再構築した例

2 つ目の班の討論の様子を表 4-7 に示す。まず、生徒 F が F1 で、「気体」や「水蒸気」といった用語を使って、言葉で現象を説明している。それに対して、D1 では「冷やされたらどうして見えるようになるのか」と現象が起きている理由を尋ねている。すると、F2 では自分の構築したモデルでは説明できず、「湯気になるから」と言葉による説明を再び説明し、「分からん」と悩んだ様子を見せている。これは、自分の構築したモデルの限界を見出していると考えられる。その後、生徒 F は F5 で、「速く動いている」と発言からだけでは判断できないが、微視的視点のモデルを用いた説明と考えられる発言をし、より良い説明方

法を見出した様子を見せている。

この班の生徒のワークシートの回答を討論前後で比較すると、先述したように 4 人全ての班員が討論後に A 群に分類される絵（図 4-12）を描いて、微視的視点のモデルを用いて現象を説明しており、モデルを再構築していた。また、改善したところとして、「班の意見を聞いて考え方がすべて変わったので、絵も全部変えました。」などと記述し、他者との討論が影響していることが明らかである。

表 4-7 微視的視点のモデルを用いた思考を見出した生徒が存在する班討論②

発話順	発話者	発話事例
1	F1	ここで結構熱くなっているやん？だから気体になるやん？水は。だから水蒸気で、出てきたけど、ちょっと冷やされて・・・
2	D1	冷やされたらなんで見えるようになるん？
3	F2	湯気になるから？分からん・・・
4	G1	えええ？！
5	F3	液体・・・気体と液体があるところやん。
6	G2	混ざってる？
7	F4	混ざってる・・・なんて言ったらいいかな・・・
8	E1	分子の問題・・・っていうか、隙間の問題やんな？氷やったら密集しているから、その、なんて言ったらいいかな、水蒸気がなんでみえないか・・・
9	F5	あ！分かった！！はいはいはいはい！速く動いているやん。
10	G3	速く動いている？
11	F6	固体はギュウギュウに固まっているやん？物質が。で、液体は分かれて動いているやん？
12	G4	ビュン？
13	F7	そう、ババババババって動いているから見えへん。
14	E2	なるほどね。
15	F8	動きすぎているねん。
16	E3	速すぎて見えないってこと？
17	F9	それ！

※T は授業者、D,E,F,G は生徒を指す。？は上昇音調を示す。

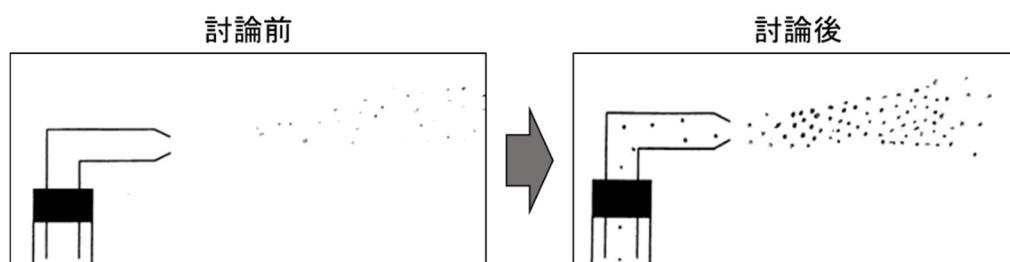


図 4-12 班討論を通してモデルを再構築した例

以上の 2 つの班の発話事例から、班討論を通して、他者の構築したモデルの有効性や自分の構築したモデルの矛盾や限界を見出し、モデルを再構築していることが明らかになった。

次に、モデルの矛盾や限界を見出すには、全体討論の中のどのような教師の適切な介入が必要であるのか確認する。そこでここでは、全体討論において、班で構築したモデルに満足している生徒の発表に対して、そのモデルの矛盾や限界を見出すことを促す目的で、教師が介入を行った場面を抽出することにした。以下にそれに該当する場면을 2 つ抽出した。

1 つ目の場面を表 4-8 に示す。I2 では、「気体だから見えない」といったような知識を使った言葉による説明を行い、自分たちの班で構築したモデルに満足している様子が見られた。そこで、T2 で教師が、「どうして、気体だと見えないのだろうか」と、現象が起きている理由を尋ねる発問を行い介入したところ、H3, J1 でみられるように、悩んだ様子を見せて、自分の構築したモデルでは教師の発問に対する返答ができず、「現象を絵で説明する」ことに対して認知的葛藤を生じている様子が確認される。これは、自分たちの構築したモデルでは、現象が起きている理由を説明できないという矛盾や限界を見出していると考えられる。しかしその後、H4, I3 で、教師の介入に対して返答できるように、「粒が小さいから」といったように、微視的視点のモデルを用いた説明に変容させている。

表 4-8 教師の介入が有効にはたらいたとみられる全体討論①

発話順	発話者	発話事例
1	H1	温度が高いほど，水に近い状態になる
2	I1	温度が低くなるほど，水に近い状態になるから，高いと，見える
3	T1	じゃあ水に遠かったら，なんで見えへんの？
4	H2	気体・・・
5	I2	気体だから
6	T2	気体やから・・・気体やったらなんで見えへんの？
7	H3	(困った表情)
8	J1	気体は見えへんわな・・・(困った表情)
9	H4	あ！あの粒子の粒がちっちゃいんや
10	J2	あ！
11	I3	粒子の粒がちっちゃいから
12	T3	粒子の粒がちっちゃいと見えへん。じゃあ，見えるとこってというのは？
13	H5	粒がおっきい
14	I4	粒がおっきい

※Tは授業者，H,I,Jは生徒を指す。？は上昇音調を示す。

また，表 4-9 は別の班が発表している場面である。この班の発表でも，K1 で「液体になったから見えるようになった」というように，知識を使った言葉による説明を行い，自分たちの班で構築したモデルに満足している様子が見られた。そこで，T1 で教師が，「どうして，液体だと見えるだろうか」と，現象が起きている理由を尋ねる発問を行い介入したところ，K2, K3 でみられるように，「液体だから」と，何度も知識を使った言葉による説明を繰り返し行い，発問に対する返答を悩んだ様子を見せ，「現象を絵で説明する」ことに対して認知的葛藤を生じていることが確認される。これは先述した班と同様に，自分たちの構築したモデルでは現象が起きている理由を説明できないという矛盾や限界を見出していると考えられる。しかしその後，この班でも生徒 K が K5 で，教師の介入に対して返答できるように，「粒がちっちゃいから」と微視的視点のモデルを用いた説明に変容させている。

表 4-9 教師の介入が有効にはたらいたとみられる全体討論②

発話順	発話者	発話事例
1	K1	周りの空気の温度で。冷やされたから液体になった。から、見えるようになった。
2	T1	液体やったらなんで見えるん？
3	K2	液体やもん。液体やから。
4	T2	なんで液体だから見えるん？
5	K3	水は液体だから
6	T3	水は液体やから。水蒸気は？
7	K4	水蒸気は気体
8	T4	水蒸気、気体やったら見えへんの？
9	L1	気体は見えへん
10	T5	気体は見えへん。なんで気体やったら見えへんの？
11	L2	気体だから
12	K5	粒がちっちゃいから
13	T6	粒がちっちゃいから
14	K6	細かいから
15	T7	細かいから。液体は？
16	K7	でっかい？
17	M1	比較的大きい
18	K8	比較的大きい

※Tは授業者、K,L,Mは生徒を指す。？は上昇音調を示す。

以上の2つの事例より、「液体（気体）だから目に見える（見えない）」や「冷やされた（温められた）から目に見える（見えない）」といったような、知識を使った言葉による説明を行い、自分の構築したモデルに満足をしている発表に対して、「どうして液体だと目に見えるのだろうか」といったように、モデルの矛盾や限界を見出すことを促す目的で、現象が起きている理由を尋ねる発問を行い、介入を行った。すると、生徒が自分たちの構築したモデルではそれに対する返答ができず、悩んでいる様子を見せ、自分の構築したモデルでは現象が起きている理由を説明できないという矛盾や限界を見出している様子が観察された。その結果、教員の発問に返答できるように、微視的視点のモデルを用いた説明へと変容させており、ワークシートの回答でもモデルが再構築されることが分かった（図 4-13）。

したがって、知識を使った言葉による説明を行い、自分の構築したモデルに満足している生徒に対して、現象が起きている理由を尋ねる発問をすることが授業中に必要な教師の適切な介入であるといえる（図 4-14）。

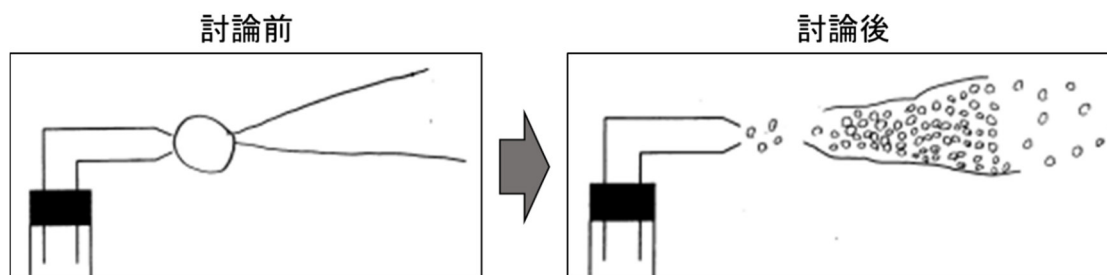


図 4-13 教師の適切な介入によりモデルを再構築した回答例

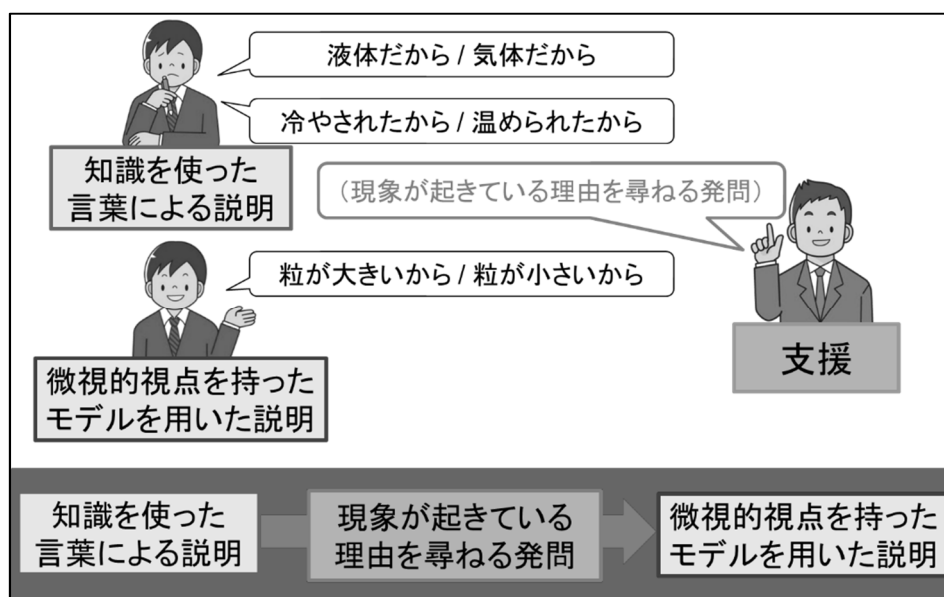


図 4-14 教師の適切な介入

まとめると、授業記録から以下の 2 点が明らかとなった。

- ① 班で討論をして、他者の考えに出会うことで、他者の構築したモデルの有効性や自分の構築したモデルの矛盾や限界を見出し、モデルを再構築する。
- ② 知識を使った言葉による説明を行う生徒に対して、現象が起きている理由を尋ねる発問をして教師が介入することで、自分の構築したモデルでは現象が起きている理由を説明できないという矛盾や限界を見出し、モデルを再構築する。

4.4. 第4章のまとめ

本章では、第2章の諸理論を参考に、中学校1年生において、モデルの構築を促す授業を開発、実践し、その効果を検討した結果を報告した。

「モデルの使用調査」の授業前後における結果を比較した結果、モデルに変容のない生徒が多いものの、微視的視点のモデルを用いた思考のできる生徒が増加したといえ、本授業は、モデルを用いた思考を促すことに一定の効果があったことが分かった。また、同様の授業を異なる文脈で行い、モデルを用いた思考に継続的にはたらきかけることが必要であることも示唆された。さらにワークシートを基に、授業の分析を行うと、本授業の中で、自分の構築したモデルの矛盾や限界を見出し、モデルを修正し、より良いモデルを再構築したことが明らかとなった。具体的に、授業の様子をビデオで録画した授業記録を基に分析すると、班討論が有効にはたらいっていること、また適切な教師の介入が明らかになった。

第5章では、中学校2年生において、本章と同様に、モデルの構築を促す授業を開発し、授業実践を行い、その効果を検討する。

第5章 中学校2年生における授業の開発

第4章では、中学校1年生を対象に、モデルの構築を促す授業を単元「物質の状態変化」で開発、実践し、モデルを用いた思考を促すことに一定の効果が得られた。加えて、継続的にモデルの構築を促す授業を行い、モデルを用いた思考を促す必要性も示唆された。そこで、本章では、中学校2年生において、同じく、第2章で述べた理論を参考にして、目に見えない現象を説明するために、自らモデルを構築し、そのモデルの矛盾や限界を見出し、修正し、モデルを再構築する経験を重視したモデルの構築を促す授業を単元「大気中の水蒸気の変化」で開発、実践した結果を報告する。

5.1. 単元「大気中の水蒸気の変化」の構成と特徴

中学校2年生において、モデルの構築・活用力を育成する授業を考案する単元として、中単元「気象のしくみと天気の変化」、小単元「大気中の水蒸気の変化」を選択した。

本単元で学習する「飽和水蒸気量」や「湿度」の概念の理解は困難であり^{40),41)}、中学生における定着不足が指摘⁴²⁾されている。その原因として、モデルと事象が正しく結び付けられていないことが挙げられている⁴⁰⁾。加えて、空気中の水蒸気量に関する用語について行われた調査³⁾によると、「飽和水蒸気量」という言葉の意味や内容を知っていると回答した中学校2年生は僅か(1.6%)であり、本単元は知識に依存しにくいといえる。そこで、本研究ではモデルを用いた思考の構築を促す授業を本単元において開発することとした。

本単元は、中学校学習指導要領解説編(理科編)⁶⁾において、以下のように記載されている。

(4) 気象とその変化

身近な気象の観察、観測を通して、気象要素と天気の変化の関係を見いださせるとともに、気象現象についてそれが起こる仕組みと規則性についての認識を深める。

[文部科学省, 2008, p.78]

ア 気象観測

(ア) 気象観測

校庭などで気象観測を行い、観測方法や記録の仕方を身に付けるとともに、その観測記録などに基づいて、気温、湿度、気圧、風向などの変化と天気との関係を見いだすこと。

[文部科学省, 2008, p.79]

(内容の取扱い)

アイの(ア)については、気温による飽和水蒸気量の変化が湿度の変化や凝結にかかわりがあることを扱うこと。また、水の循環も扱うこと。

[文部科学省，2008，p.80]

上記のように、気温と飽和水蒸気量の関係や、飽和水蒸気量の変化と湿度の変化の関係を扱うように示されている。

次に、本単元の教科書⁴³⁾における扱いをみる(図5・1)。中学校学習指導要領の記載を受けて、まず飽和水蒸気量と気温との関係を学習するような展開となっている。ここで、飽和水蒸気量の扱い方としては、「水蒸気をそれ以上ふくむことができない状態の空気がふくんでいる水蒸気」といった記述がなされて説明されており、「ある一定の空気が含むことのできる水蒸気の量に限りがある」ことは前提として、展開されている。さらにそのことを、粒子モデルを用いて説明がなされている。

このような教科書同様に、教師が展開し、指導を行うと、「ある一定の空気が含むことのできる水蒸気の量に限りがある」ことを見出せていない生徒がつまづくことが危惧され、また粒子モデルを用いて思考することの有用性を生徒が見出しにくいと考えられる。

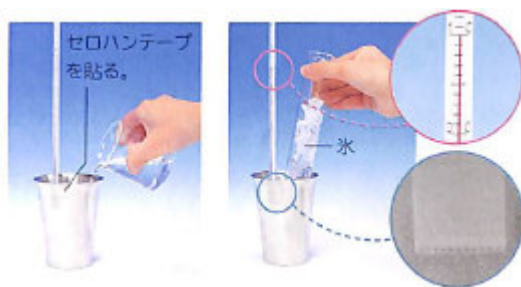
展開

(1) 温度変化によって、水蒸気の水になることを学ぶ。以下の実験でそれを確かめる。

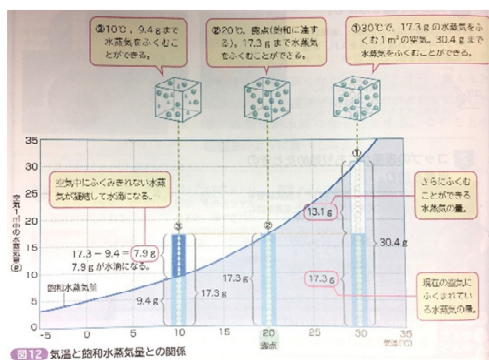


(2) ある温度になると凝結が始まって水滴（露）ができ始める時の温度をその空気の「露点」ということを学ぶ。

- (3) 以下の実験で露点を測定する。



- (4) 水蒸気をそれ以上含むことができない状態の空気は、水蒸気で飽和しているといい、その状態の空気が含んでいる水蒸気の量を飽和水蒸気量ということを学ぶ。
 (5) 飽和水蒸気量は気温が高くなるほど増え、低くなるほど減ることを、粒子モデルを用いて学ぶ。



- (6) 空気に含まれている水蒸気の量を、そのときの気温の飽和水蒸気量に対する百分率で表したものを湿度といい、百分率 (%) で表すことを学ぶ。

図 5-1 教科書における単元「大気中の水蒸気の変化」の取り扱い

5.2. 開発した授業

5.2.1. モデルを用いて思考する現象

5.1.で述べたように、教科書には「ある一定の空気を含むことのできる水蒸気量には限界がある」ことは、前提として扱われているが、本研究では、モデルを用いて思考することでこのことを子どもたちが自ら見出すことができるように、図 5-2 のような現象を考案した。

囲いに覆われていない、つまり開放空間に置かれたビーカーに入った水は、限りなく蒸発していき、ビーカーに入った水は減り続ける。一方、囲いに覆われたビーカーは、空間に限りがあるため、その空間の水蒸気量が飽和状態に達すると蒸発が止まり、ビーカーに入った水の減少は止まる。このように、2つのビーカーで水の減少量が異なることが観察できる現象である。なお、授業では、事前に撮影した動画を早送りして編集したものを用意し、生徒が観察する。

本現象を観察するために必要な実験器具について詳しく述べる。準備物は、100mL ビーカー2つ、アクリルボックス、台、ボンドで、気温 25 度、湿度 65%の環境で行った。2つ

のビーカーに 100mL の水を入れ、片方は密閉空間にするため、アクリルボックスで囲い、密閉度を高めるため、アクリルボックスと台はボンドで接着した。この状態で、26 時間放置する。

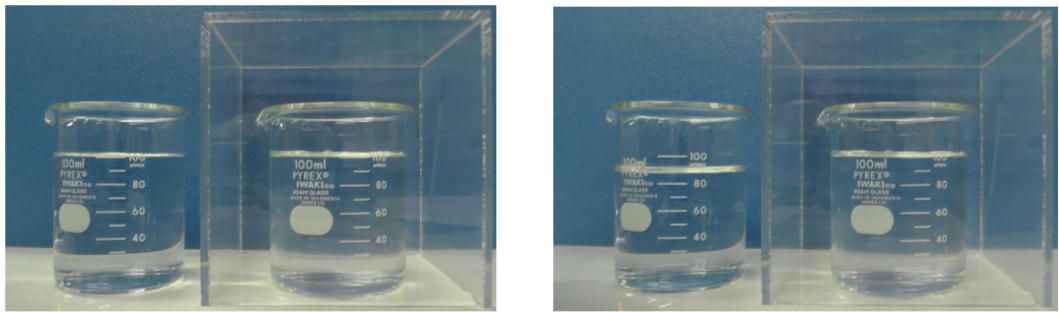


図 5-2 考案したモデルを用いて思考する現象
※左の図は実験前、右の図は実験後(26 時間後)

5.2.2. 授業内容

図 5-3 に開発した授業の展開を示す（指導案は参考資料を参照のこと）。なお、授業ではワークシート（図 5-4）を用いて進めることにした。

授業展開	
【導入】	● 実験器具の説明を聞く ● 現象の観察結果を予想する ● 現象を動画で観察する ● 観察結果をクラス全体で共有する 「囲いのある方はほとんど蒸発しない」 「囲いのない方はたくさん蒸発する」
【展開①】	● 個人で、課題「どうして水の減り方（蒸発の仕方）が違うのか、現象を絵で説明しよう」に取り組み、ワークシートに描く
【展開②】	● 展開①において個人で考えた説明方法をもとにして班で討論し、課題に対する一つの説明方法をホワイトボードに描く
【展開③】	● 展開②において班で考えた説明方法を、発表する ● 発表を聞いて、それぞれの班の特徴をワークシートに記録し、現象を最も分かりやすく説明した絵を描いた班を見出す
【展開④】	● 班で他の班の発表について振り返る
【展開⑤】	● 展開②～④を踏まえて、個人でもう一度課題に取り組み、ワークシートに描く ● 1回目と2回目に個人で描いた説明を比較し、どうして変容したのかワークシートに書く ● 指名された生徒は、自分がどうして考え方を変容させたのか、発表する
【展開⑥】	● 授業で難しいと思ったり、悩んだりしたのはどのようなことなのか、またその理由をワークシートに書く

図 5-3 開発した授業展開（中学校 2 年生）

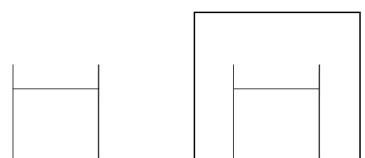
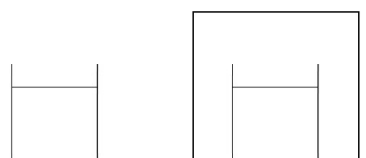
科学的に考えよう！		2年 組 番 班 名前	
①	① 現象を観察した結果を書きましょう。 	④	④ 自分の班やクラスの考えを参考にして、もう一度この現象を絵と言葉で説明しましょう。 【絵】  【絵の説明】
②	② どうして①のように結果が異なっていたのか、現象を絵と言葉で説明しましょう。 【絵】  【絵の説明】 	⑤	⑤ どうしてその絵に描き変えたのか、理由を書きましょう。 ※最初に描いた絵と比べてみましょう。
③	③ この現象を最も分かりやすく説明した絵を描いていたのはどの班だと思いますか。またどうしてそう思ったのか理由を書きましょう。 	⑥	⑥ この授業の中で、難しいと思ったら、悩んだのはどのようなことですか。またその理由を書きましょう。 【難しいと思ったこと】

図 5-4 授業で用いるワークシート

※①～⑥は以下の授業展開と対応している。

では、図 5-3 に示した授業展開の詳細を以下に述べていく。

【導入】

100mL の水が入ったビーカーを実際に見て、このビーカーを空气中に放置したらどうなるのか予想する。次に、100mL の水が入ったビーカーをアクリルボックスで覆い、空气中に放置するとどうなるのか予想する。この時、囲いがないときとの違いを比較しながら、予想を行う。この時、実物が見にくい生徒は、スクリーンに映されたビーカーとアクリルボックスを見て、実験の状況を把握する。

その後、自分で予想した結果が正しいのか、また違いがあるのか、観察する視点を持って、実際に行われた実験（前半：1000 倍速、後半：5000 倍速）を動画で観察し、観察結果をワークシート（図 5-4-①）に記入する。

このように、現象を動画で具体的に観察することで、生徒たちが現象に対して思考しやすくすることを目的としている。

次に、「囲いのない方ではどのような現象が観察できたのか」に対して、観察結果を数名が発表する。他者の発表を聞いて、観察しきれていなかった結果があれば、ワークシートに書き足す。このようにして、他者の発表を通して、クラス全体で結果を丁寧に共有する。こ

こで、囲いのある方は、全く水が減少していないのではなく、少し減少していることを必ず全体に共有しておく必要がある。なぜなら、囲いの中の空間の水蒸気量が飽和状態に達するまではある程度蒸発するということは、飽和水蒸気量の考え方を見出す上で非常に重要な観察事実であるからである。

この活動は、「現象を絵で説明する」ことに対する認知的葛藤を生じる上で、傷害となる要因を取り除く役割がある。

【展開①】

「どうして水の減り方（蒸発の仕方）が違うのだろうか、現象を言葉と絵で説明しよう」と提示された課題に対して個人で思考し、ワークシート（図 5-4-②）に現象を説明する。

蒸発量の違いは、ビーカーの中に入っている水の残量から明らかである。しかし、水蒸気や蒸発という現象は目に見えないため、どのような現象が起こって、水の残量に違いがでたのかは自分でモデルを構築して思考することが必要になる。この目に見えない現象を観察事実から推測し、「絵で説明する」ことにこの活動の難しさがある。その難しさに直面することが、モデルを用いた思考における認知的葛藤である。

また、自らモデルを構築し、現段階の自分の思考を外化するこの活動は、【展開⑤】で自分の思考を振り返るためのツールとなる。

【展開②】

【展開①】において、自ら構築したモデルを用いた説明方法を班で共有し、現象を最もうまく説明できるモデルを討論して導き出し、ホワイトボードに1つの説明方法をかく。

ここでは、班で思考を共有・討論する中で、他者の思考と出会い、自分のモデルの矛盾や限界を見出したり、他者の構築したモデルの利点を見出したりする中で、一人ひとりの思考が変容していくことを目的としている。

【展開③】

各班が【展開②】で導き出した説明方法を発表し、全体に共有する。発表を聞いている生徒は、ワークシート②（図 5-5）に各班の説明の特徴など、自由に記録する。そして、その中でどの班が最も現象を分かりやすく説明した絵を描いているのかを考え、その説明方法の特徴を見出し、ワークシート（図 5-4-③）に自由にかく。この活動は、他者が構築した

モデルの特徴を整理し、より良いモデルを再構築するための材料となるように設定されている。

2年組 番 名前

◎ 発表をしている班が描いた絵の特徴をそれぞれかきましょう。

班	特徴
班	
班	
班	
班	

班	
班	
班	
班	

図 5-5 授業で用いる他の班の特徴を記録するワークシート②

【展開⑤】

水の減り方が囲いの有無によって違う現象を，ワークシート（図 5-4-④）に，班，全体の意見を踏まえて，絵で最も分かりやすく説明する。

ここでは，自分の思考に対して思考することを目的としている。つまり，討論を通して見出した自分のモデルの矛盾や限界，また他者の構築したモデルの利点を基に，【展開①】で自ら構築したモデルを再構築するのである。

その後，ワークシート（図 5-4-⑤）に，どうしてその絵に描き変えたのか，最初に描いた絵と比較しながら，理由を記入する。この活動では，自分が最初にかいた説明と，討論後にかいた説明を比較して，どうしてその説明に変えたのかを思考することで，その思考方法を他の文脈でも使えるようにする。

以上のように，第 4 章で開発した中学校 1 年生における授業と同様に，目に見えない現象を説明するために，自らモデルを構築し，そのモデルの矛盾や限界を見出し，修正し，モデルを再構築する経験を重視した展開となっている。

5.3. 事前調査（モデルの使用調査）の実施

京都教育大学附属桃山中学校 2 年生 4 クラス（129 名）を対象として、事前調査（モデルの使用調査）を平成 28 年 9 月 29 日、10 月 6、7 日に行った。

分類規準（表 3-7）にしたがって、モデルの使用調査の結果を分類したところ、生徒の分布は図 5-6 に示すようになった。約半数（65 人，50.4%）の生徒が A 群に分類される絵を描き、微視的視点のモデルを用いた思考が可能であるという実態が明らかになった。一方で、a-1 群に分類される絵を描いた生徒は、非常に少数（8 人，6%）であったことから、完全な微視的視点のモデルを用いた思考を獲得できていない生徒が多い（57 人，44.2%）ことが分かる。

加えて、約半数（64 人，49.6%）の生徒が b 群や c 群に分類される絵を描いており、図 5-7 のように感覚的な絵、つまり巨視的視点で見たままに絵を描いていることが分かった。このことから、第 3 章で述べた、中学校 1 年生におけるモデルの構築を促す授業を行う前の実態調査と同様に、現象を説明する上で、便利な思考の道具であるというモデルの意義を見出させていない生徒が存在すると考えられる。しかし、この割合を昨年度（H27）の事前調査と比較すると（図 5-8）、71.4%から 49.6%へと減少している。これは、中学校 1 年生時に行ったモデルの構築を促す授業（第 4 章）が有効にはたらいたと考えられる。

以上から、中学校 2 年生でも、中学校 1 年生と同様に、モデルの構築を促す授業により、モデルを用いた思考に継続的にはたらきかけることが必要であると示唆された。

また、昨年度と比較して（図 5-8）、A 群に分類される絵を描いた生徒が増加（28.7%→50.4%）しており、授業の中でも微視的視点のモデルを用いた説明をする生徒が、昨年度よりも多いことが予想される。したがって、本授業では、微視的視点のモデルを用いた説明をする生徒の中でも、a-1 群に分類される完全なモデルを用いた思考を獲得できるように、微視的視点の説明でも、どの説明方法が多く事実を統一して、説明できるのかという視点を、他者との討論の中では設けられると考えた。

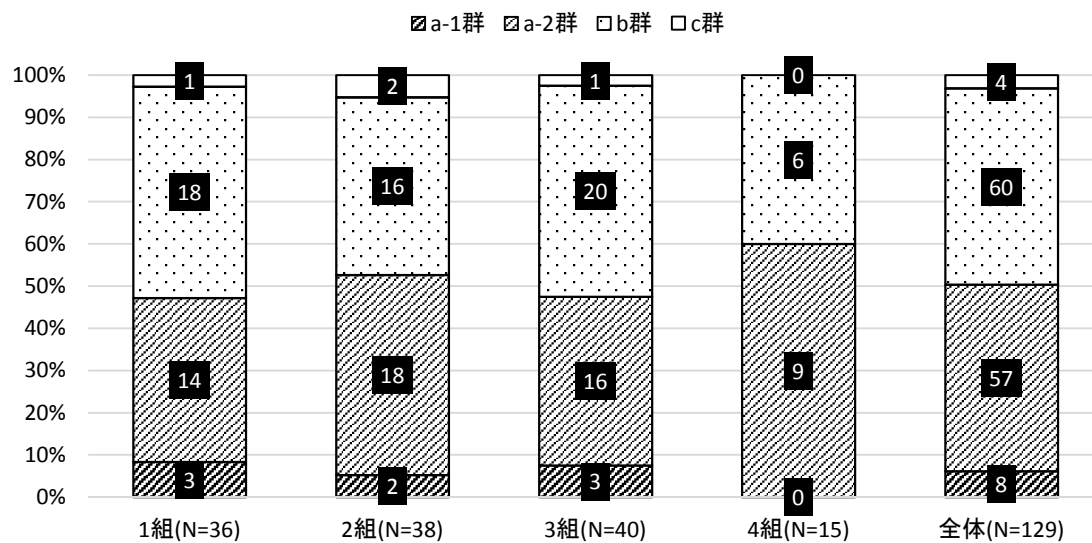


図 5-6 事前調査（モデルの使用調査）の結果

※縦軸は人数の割合(%)を、グラフ内の数字は人数(人)を示す。

a-1 群：臭いとマスクを微視的に表現

a-2 群：臭いのみを微視的に表現

b 群：マスクを巨視的に表現/臭いを巨視的に表現

c 群：マスクを表現できない/臭いを表現できない

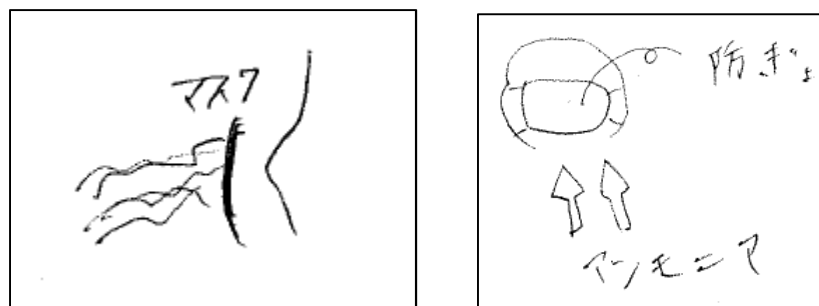


図 5-7 巨視的視点のみの特徴的な回答

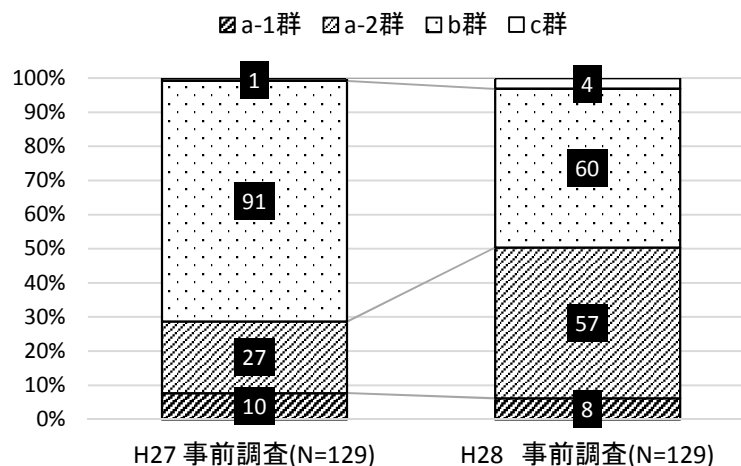


図 5-8 昨年度との事前調査の比較

※縦軸は人数の割合(%)を, グラフ内の数字は人数(人)を示す。

次に, 小学生時にモデルの構築を促す授業を経験している生徒とそうでない生徒の結果の違いをみる。図 5-9 に示したように, A 群 (a-1 群と a-2 群) に分類される生徒の割合は, それぞれ 57.4%と 44.1%であり, 差があった。しかし, 4.3.2. (1) で述べたように, 中学校 1 年生におけるモデルの構築を促す授業を行った後の割合は 53.2%と 38.1%であったことから, その差が縮まっていることが分かる。このことから, 1 年間で, 第 2 章で述べたピアジェの発達段階論と同様に, 自然発達の微視的視点のモデルを用いた思考が可能になることが分かったが, 中学校 1 年生におけるモデルの構築を促す授業前後におけるその割合の増加 (38.1%と 19.7%→53.2%と 38.1%) と比較すると, 自然発生的なその割合の増加 (53.2%と 38.1%→57.4%と 44.1%) は僅かであることから, モデルの構築を促す授業の必要性和有効性が明らかとなった。

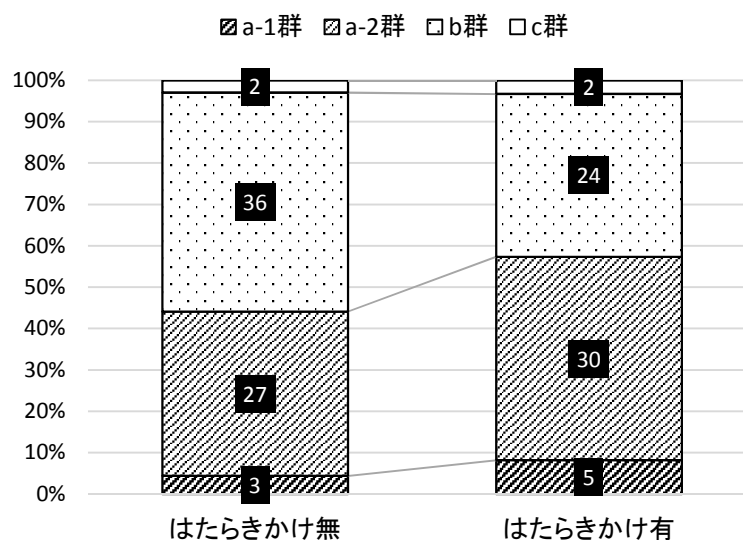


図 5-9 事前調査（モデルの使用調査）の結果（はたらきかけの有無）

※縦軸は人数の割合(%)を、グラフ内の数字は人数(人)を示す。

5.4. 開発授業の実践

5.4.1. 実践内容

表 5-1 の日程で、京都教育大学附属桃山中学校 2 年生 4 クラス（130 名）を対象として、開発授業を 1 コマ（50 分）で実践した。なお、1～3 組は、4 人または 3 人で班を構成する。4 組は 2 人で班を構成する。

表 5-1 実践日程

クラス	実施日
1 組・2 組	平成 28 年 10 月 17 日
3 組・4 組	平成 28 年 10 月 28 日

開発授業を行う中で、2～4 組については、【展開③】で行われた全体討論の様子に合わせて、討論の視点を教師が新たに与え、より活発に討論が行われるように支援を行った。以下に具体的な討論の流れを述べる（図 5-10）。

はじめに、【展開③】で行われた全体討論において発表された考え方を教師が分類し、「自分たちの班はどの考え方なのだろうか」と視点を与え、班で再び討論を行うよう促した。この支援では、生徒たちが考え方を整理し、現時点での自分たちの立場を明確化するねらいがある。

その後、「自分たちと違う他の考えの弱み、また自分たちの考えの強みは何だろうか」と再び視点を教師が与え、再び班で討論をするように促した。ここでは、自分の構築したモデルの限界や矛盾を見出すための支援となるように視点を与えている。

以上の流れで教師が視点を与えて、班・全体討論を繰り返し行い、様々な考えの欠点と利点を考えることで、それぞれのモデルの矛盾や限界、また利点を見出し、モデルを修正し、再構築するように促した。

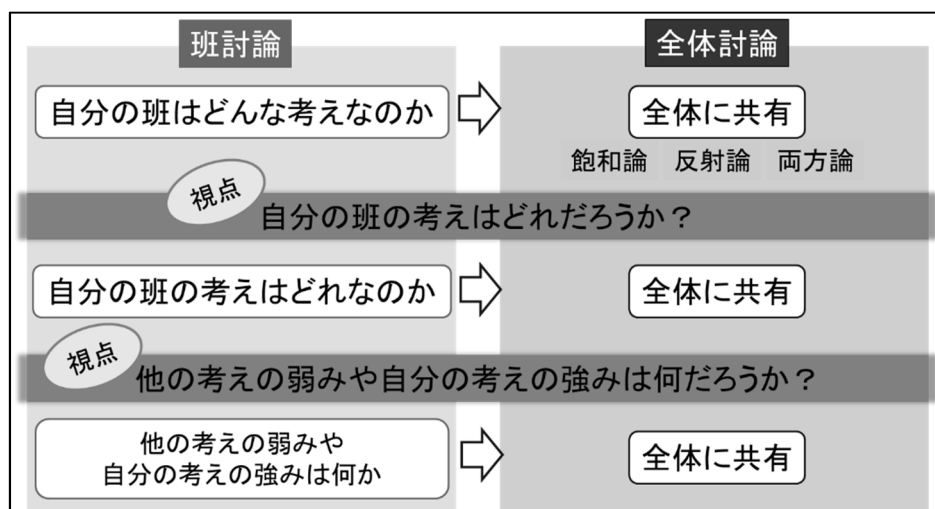


図 5-10 班・全体討論の流れ

5.4.2. 結果と考察

(1) モデルの使用調査の分析

京都教育大学附属桃山中学校 1 年生 4 クラス (128 名) を対象として、平成 28 年 10 月 19、20 日に事後調査 (モデルの使用調査) を行った。

開発授業前後で行った、事前調査と事後調査の結果を比較した結果 (図 5-11) と、より詳細な生徒の分布 (表 5-2) を示す。図 5-11 より、全体として段階が上昇し、具体的には表 5-2 から、段階が上昇した生徒は 29 人 (24.6%) 存在した。また、A 群に分類される生徒の割合が 50% (65 名) から 64% (82 名) へと増加していることから、開発授業によって、微視的視点のモデルを用いた思考のできる生徒が増えたといえる。さらに、表 5-2 より、A 群の中でも、a-2 群から a-1 群へと段階が上昇した生徒が 7 名存在する (図 5-12)。つまり、開発授業を通して、様々な現象に対してモデルを用いて説明する中で、多くの現象を統一的に説明が可能である、完全な微視的視点のモデルを用いた思考を獲得したと考えられる。

以上から、本授業がモデルを用いた思考を促すことに一定の効果があったと明らかになった。

しかし一方で、表 5-2 より、変容のない生徒が多数（85 人，72%）存在し，授業の中で獲得したモデルを用いた思考を他文脈へ適用できていない生徒が多いことが明らかとなった。この結果から，モデルは変容しづらい概念であることが明らかになり，継続的なモデルを用いた思考へのはたらきかけが必要であることが示唆された。

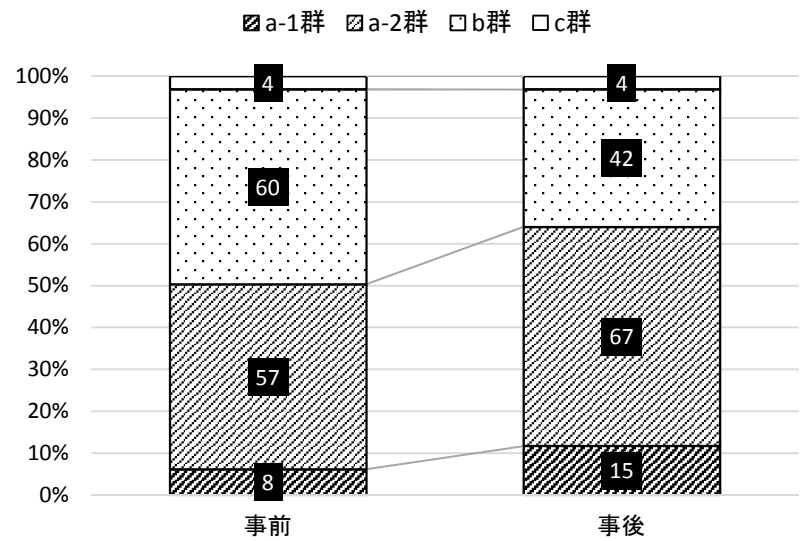


図 5-11 モデルの使用調査における全体変容

※縦軸は人数の割合(%)を，グラフ内の数字は人数(人)を示す。

表 5-2 モデルの使用調査における各生徒の変容

		事後				N=125	
		a-1 群	a-2 群	b 群	c 群		
事前	a-1 群	7	0	1	0		
	a-2 群	7	46	2	0		
	b 群	0	20	37	1		
	c 群	0	1	1	2		

※ は段階が上昇した生徒

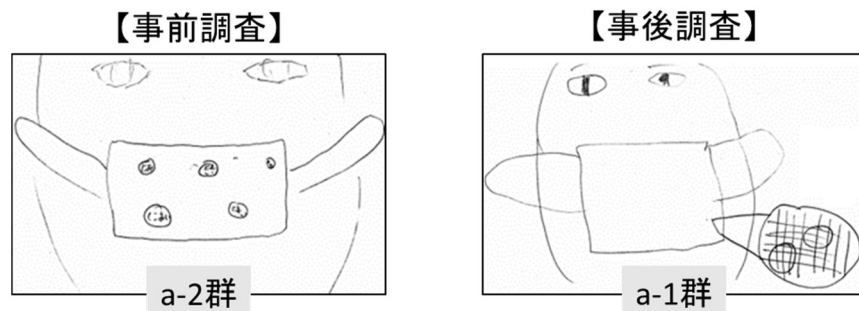


図 5-12 a-2 群から a-1 群へ変容した生徒

続いて、小学生時にモデルの構築を促す授業を経験している生徒とそうでない生徒の違いをみていく。5.3.3.で述べたように、事前調査では、A 群（a-1 群と a-2 群）に分類される生徒の割合が、57.4%と 44.1%と差があった。しかし、事後調査では、その差が 64.0%と 64.1%と差がなくなった（図 5-13）。

この約 64%という割合が、この 2 年間継続して行ったモデルの構築を促す授業の限界といえ、第 2 章で述べたように、シエマ「形式的モデルの構築と利用」を獲得するのに必要な発達の段階に達していない生徒が約 36%，中学校 2 年生の段階で存在すると示唆された。

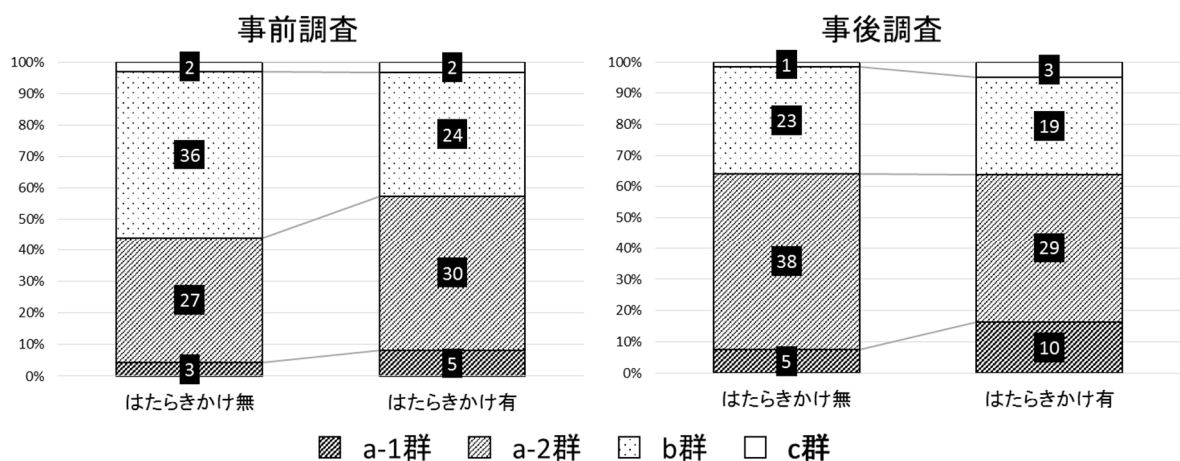


図 5-13 モデルの使用調査における変容（はたらきかけの有無）

※縦軸は人数の割合(%), グラフ内の数字は人数(人)を示す。

(2) ワークシートの分析

生徒が描いた絵や絵の説明、授業記録を基にして、囲いで覆われたビーカーの方が蒸発しにくい理由を生徒がどのような考え方で説明しているのか、分類を試みた。その結果、いずれのクラスでも、生徒の考え方は、表 5-3 に示すような「飽和論」「反射論」「両方論」「その他」「説明不可」の 5 つに大別できた。「飽和論」とは、「囲いの中の空間が水蒸気でいっぱいになるから」といったように、囲いの中の空間の水蒸気量が飽和に達することを水が減少し続けられない理由にしている考え方である。「反射論」は「はね返って水蒸気が戻ってくるから」といったように、蒸発した水が囲いなどにはね返って戻ってくることを水が減少し続けられない理由にしている考え方である。「両方論」とは、飽和論と反射論を組み合わせた考え方で、囲いの中の空間が飽和水蒸気量に達して、蒸発しにくくなるのに加えて、その蒸発した水が再びビーカーに戻るという両方が同時に起こっているということを水が減少し続けられない理由としている考え方である。「その他」は「水蒸気と結びつく熱エネルギーに限りがあるから」といったように、上述した 3 つの考え方とは違う考え方である。最後に、「説明不可」とは、他の 4 つと違い、「蒸発する量が違うから」といったように、ただ事実を述べていたり、論理的でない考えをしていたりと、科学的な考え方ではないものを指す。

表 5-3 生徒が説明する考え方

考え方	回答例
「飽和論」	囲いの中の空間が水蒸気でいっぱいになるから
「反射論」	はね返って水蒸気が戻ってくるから
「両方論」	反射論と飽和論の両方が起こるから
「その他」	水蒸気と結びつく熱エネルギーに限りがあるから
「説明不可」	蒸発する量が違うから

表 5-3 の分類規準にしたがって、討論前後で生徒が説明する考え方を分類した結果を示す（図 5-14）。図 5-14 より、飽和論に分類される生徒が増加（42%→63%）した。このことから、5.1.で述べたように、教科書において前提となっている、「ある一定の空気が含むことのできる水蒸気の量に限りがある」という飽和水蒸気量の考え方を、本授業を通して、生徒が自ら見出すことができたといえる。つまり、モデルを用いて思考することが、飽和という概念の理解を促すことに有効にはたらいたと考えられる。また、説明不可に分類される生徒が減少（19%→12%）したことから、本授業によって、科学的な説明方法を見出したと考えられる。

さらに、それぞれの考え方を、絵で説明できているかどうかで分類を試みた。絵で説明できていないものの例として、図 5-15 のような回答が挙げられる。囲いのあるビーカーとないビーカーで絵に違いがなく、現象を、絵を使って説明することができていないため、モデルで説明不可と分類する。

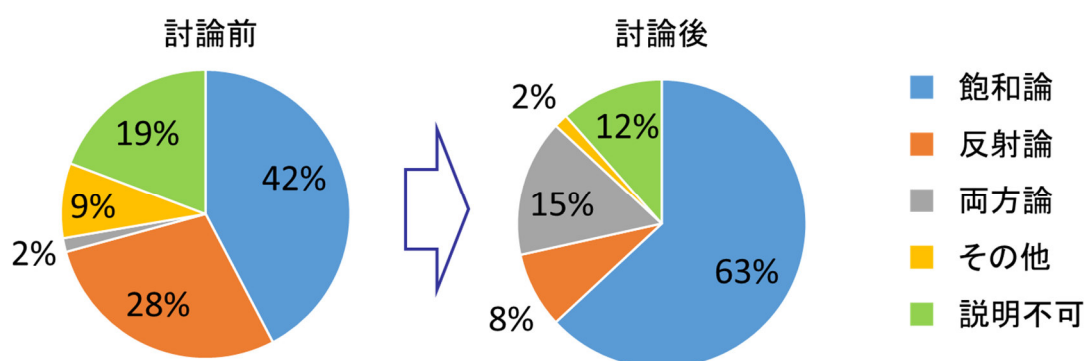


図 5-14 生徒が説明する考え方の討論前後での変容

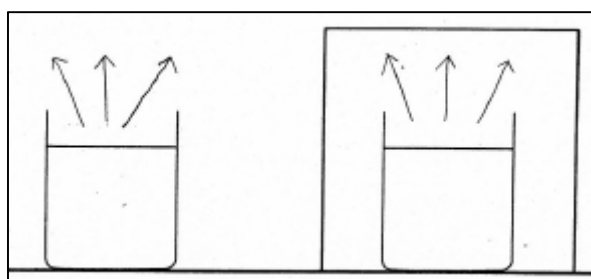


図 5-15 モデルで説明不可に該当する絵の例

以上のように、モデルを用いて説明できているかどうかという視点で生徒の絵を討論前後で分類した結果を示す（図 5-16）。図 5-16 より、討論後にモデルで説明できる生徒が増加（45%→72%）している。つまり、本授業によって、モデルを用いた思考を促すことができたと考えられる。具体的にある生徒のワークシートの回答を見る（図 5-17）。この生徒は討論前後で考え方としては「飽和論」で変化がないものの、モデルで説明可に変容し、モデルを再構築している。モデルを描き変えた理由をみると、「理由としては同じだったけれど、「囲んでいる方には出る量に限りがある」ということが分かりにくかったので囲みの中の様子が分かるようにした」と記述している。つまり、班討論や全体討論を通して、自分の構築したモデルの矛盾や限界を見出し、モデルを修正し、再構築していることが分かる。

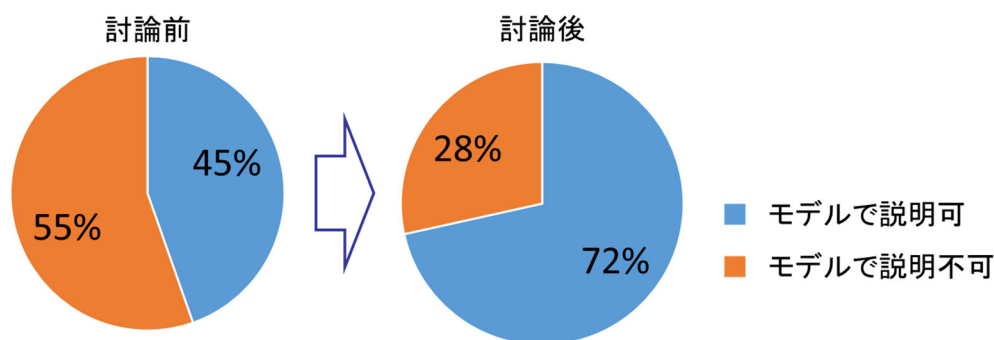


図 5-16 「モデルを用いた説明」の討論前後での変容

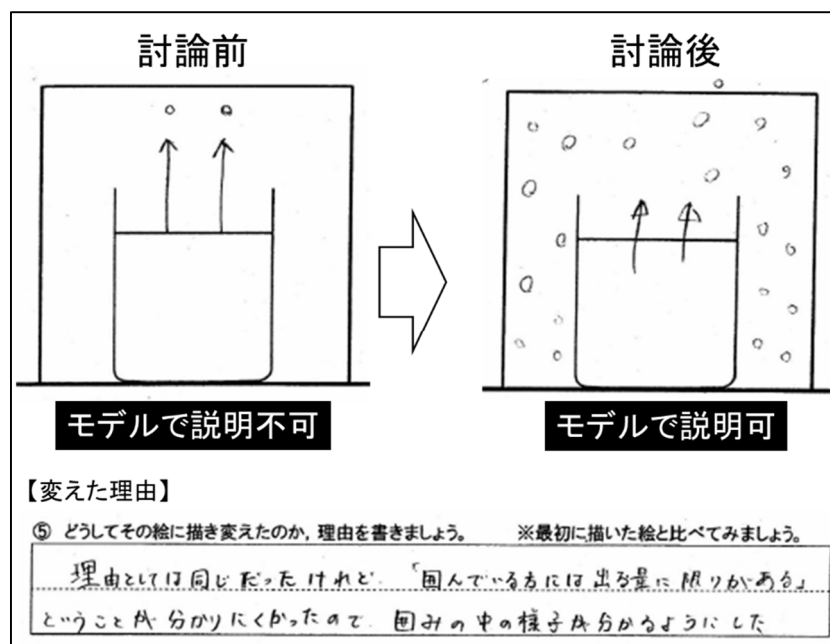


図 5-17 「モデルで説明可」に変容した回答例

ワークシートの結果をまとめると、以下の3点が明らかになった。

- ① 飽和水蒸気量の考え方を見出した
- ② 科学的な説明方法を見出した
- ③ 自分の構築したモデルを修正し、再構築している

(3) 授業記録の分析

どのような討論が行われて、飽和水蒸気量の考え方や科学的な説明方法を見出し、モデルを再構築したのか、討論の様子をビデオで録画した授業記録を基に、分析していく。以下に示すのは、上述したワークシートの結果①～③が、班員の回答から見られた班(表 5-4)と、全体討論を行う前後で班討論の様子に変化していた班(表 5-5)である。

はじめに、表 5-4 に示したのは、飽和水蒸気量の考え方を持っている生徒と持っていない生徒が存在する班の班討論の発話事例である。生徒 N が飽和水蒸気量の考え方を持っており、生徒 O がその考え方を持っていない。まず、飽和水蒸気量の考え方を持った生徒 N が、生徒 O に対して N1 や N2 では、「湿度」という用語を使って説明している。しかし、その説明では、未履修であるために知識を持っていない生徒 O は、O2 や O3 に見られるように納得できず、湿度と蒸発の関係が見出せない様子を見せている。その反応をみて、自分の考え方が他者に伝わるように生徒 N は、N4 で見られるように「〇〇だから△△」と、用語を使った知識による説明から科学的な説明へと説明方法を変えた。その結果、O6 で生徒 O は飽和水蒸気量の考え方を見出している様子が確認される。

飽和水蒸気量の考え方を見出した生徒 O の討論前後におけるワークシートの回答を示す(図 5-18)。「最初の絵では、水が少しだけ減ることが説明できなくて、描き変えた」という理由で、モデルを再構築させていることが分かる。この、「水が少しだけ減ることを説明できない」という自分の構築したモデルの矛盾や限界を見出したのは、O7 の「最初の方は減るけど」という発言から、班討論の中で他者の考えの利点を見出したことが起因していると考えられる。次に、飽和水蒸気量の考え方を討論前から持っていた生徒 N の討論前後におけるワークシートの回答を示す(図 5-19)。「水でいっぱいになっていることを強調したかったから」という理由で、モデルを再構築させている。この生徒 N は、先述したように討論(表 5-4)の中で、「湿度」という用語を用いた知識による飽和の説明を行い、それが友達に納得してもらえないという経験をする中で、科学的な説明へと説明方法を変えていた。つまり、自分の説明方法(モデル)では、納得してもらえないという経験を踏まえて、

モデルを再構築させたことがワークシートの回答からも分かる。

このように、飽和の考えを持っている生徒も持っていない生徒も班討論を行う中で、自分のモデルの矛盾や限界を見出し、修正し、再構築したといえる。

表 5-4 飽和水蒸気量の考え方を見出す発話事例

発話順	発話者	発話事例
1	O1	壁に張り付くんやんな？これな。
2	N1	湿度が高くなって、これ以上蒸発しないみたいな話じゃない？違う？関係ない？
3	O2	湿度と蒸発，関係ないやろ？
4	N2	これ以上その，気化できないからみたいな。
5	O3	あんの？湿度で。
6	N3	え，あるくない？え，分からへん
7	O4	湿度高くなったら，気化できひんくなるとかあんの？ ＜中略＞
8	N4	この箱の中に入っている，水のその気体の量がいっぱいになるから，これ以上気体になれへんくて，気体になったら，体積めっちゃ増えるやんか。
9	O6	あ！そうか。そういうことか。おっけおっけおっけ。
10	N5	いや，分からへん。
11	O7	パンパンになったら，最初の方は減るけど，もう体積が増えてパンパンになったからもう出られへんくなって（それ以上蒸発しない）。
12	N6	うん。
13	O8	そういうことやな。
14	N7	そうかなと思って。

※N,O は生徒を指す。？は上昇音調を示す。

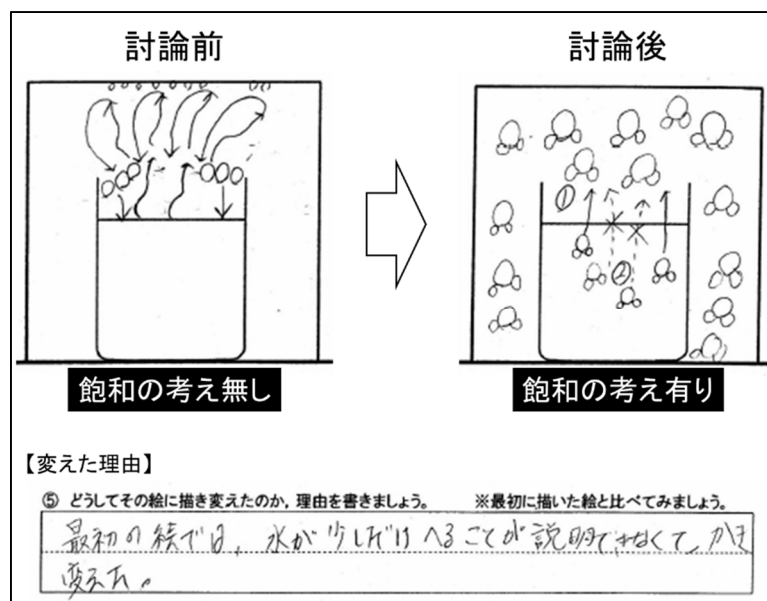


図 5-18 飽和水蒸気量の考え方を見出した生徒のワークシート

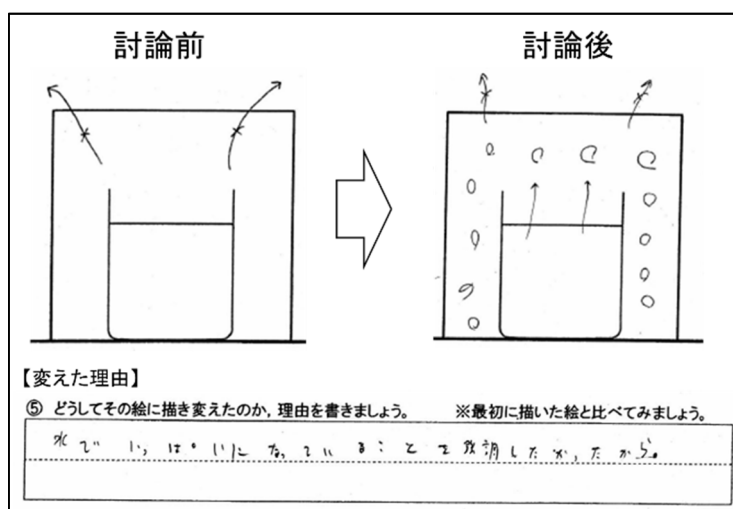


図 5-19 飽和水蒸気量の考え方を討論前から持っていた生徒のワークシート

さらに、この班の授業記録（表 5-4）において注目すべきところとして、N3 や N5 における発言が挙げられる。生徒 N は、飽和水蒸気量の考え方を持っており、その考え方を持っていない生徒 O に対して何度も説明し、理解してもらおうと説明方法を変えたにも関わらず、その考え方が最終的に生徒 O に受け入れられると、N5 に見られるように、「分からない」と自信のない発言をしているのである。このように、討論の中で自分の考えが揺れている様子から、まだ概念が確立していないといえ、他者に説明をして、自分の考えを納得

してもらなどといったように、概念を外化することの繰り返しによって、概念は確立されていくものであると考えられる。したがって、教師が概念を一方的に生徒に説明し、理解させ、生徒が納得したように見えたとしても、生徒がそれを外化する経験が無い限り、その概念を確立させることは難しいと示唆された。

次に紹介する班は、上述したような班とは異なり、班討論の中で、自分の考え方を主張して、他の考え方を見出すことなく、お互いの考え方を変えない班の発話事例を表 5-5 に示す。

P1やQ1では、一度蒸発した水蒸気が再び液体に戻るという反射論を述べている様子が、S2やR1では、囲いの上方に水蒸気が溜まりそれが蓋代わりとなって蒸発しなくなるという飽和論を述べている様子が見られる。このことから、この班では生徒PとQが反射論、生徒CとDが飽和論といったように、班の中で考え方が2つに割れていると分かる。そのため、飽和論である生徒は、反射論の考えを聞いて、R2やS6などに見られるように反射論に納得できないことをはっきりと主張している。その主張に対して反射論である生徒は、P5やQ2に見られるように、反射論は正しいことを主張している。その後も、以上のようにお互いの意見を変えず、自分の考えの主張を繰り返し行われる様子が見られる。

このように、先ほどの班とは異なり、お互いの意見を全く変えず、自分の主張をし合って結論が出ないことが分かる。これは班討論の限界といえ、全体討論の必要性が見出された。しかし、このやり取りが必要ないわけではなく、自分の主張をしっかりとて、自分の立場を明確化することは、この後の討論において、自分の考えと比較して他者はどのような考えを持っているのかということを考える視点になり、非常に重要な活動であるといえる。

表 5-5 お互いの主張を繰り返し、結論が出ない班の発話事例

発話順	発話者	発話事例
1	P1	左のビーカーは、この実線と破線の部分にスペースあるやん？この部分の水が、空气中に逃げていったから減ったけど右の方は、一度出た水がこうまた戻ってきた。から減らないと考えました。
2	S1	戻ってくるんや。
3	P2	たぶんたぶん。
4	Q1	一緒やわ。なんか風がないから、気体は、真上に上がるし、フワーンっていくから、蓋があったら、戻ってくるんじゃないかなって。
5	P3	ほら。
6	S2	え、違う。え、うちは、囲いなかったら普通にでていくやん？でも囲いがあったら、囲いの天井？上の部分でせき止められて、上にたまるやん？そこに。そしたら、それが蓋の代わりになって、さらに出ていかへんみたい。すでに出て行った水が蓋代わりになって、出ていかへん。
7	R1	囲いなしの方は、蒸発したやつがいっぱい出ていけるやん？空気に。でもこれは囲いがあるから、壁にわっとなって、それ以上出ていけへんみたい。
8	S3	ほら！うち、Cちゃんと一緒やわ。
9	P4	2・2なんですけどどうする？
10	S4	だってさ、風ないのになんで戻ってくるの？そんな勢いがあるわけでもないのに。出ていくのにそんな勢いがあるわけでもないのにさ。
11	R2	空気がまた液体に戻らへんと思う。
12	S5	聞きました？聞きました？今のCちゃんの発言。
13	R3	跳ね返っても液体に入らへんと思う。
14	P5	入るんちゃうん？
15	S6	戻らへんって。
16	R4	戻らへん。だってまた温めたりしな、液体に戻らへん。
17	S7	そうさそうさ。
18	Q2	でもさ、こういつてさ、戻ってくるんちゃうん？
19	S8	勢いが無かったら、はね返らへん。
20	R5	はね返らへんやろ。
21	S9	バーンって蒸発したんやったら、分かるけどさ。
22	Q3	バーンいって、バーン返ってくるねん。
23	S10	バーン、バーンなるわけないやん。

※P,Q,R,Sは生徒を指す。？は上昇音調を示す。

全体討論終了後に、再び行ったこの班の討論の様子を示す（表 5-6）。

S1 や R1 では、討論前に飽和論であった生徒が、反射論を受け入れてはいないが、自分の考え方に疑問を抱く様子が見られる。また、S3 における反射論の矛盾や限界の指摘に対して、Q1 や P3 では、反射論であった生徒が同意している様子が見られる。つまり、飽和論であった生徒も反射論であった生徒も、お互いの考え方を批判的に見ることができるようになってきている。これは自分の考え方（モデル）の矛盾や限界を見出したことの表れであり、自ら構築したモデルを修正し、再構築する途中過程であると考えられ、これが全体討論の成果といえる。

表 5-6 全体討論後、自分の主張を批判的に捉える生徒の発話事例

発話順	発話者	発話事例
1	S1	なんか、どっちでもない気してきた。
2	R1	うん。
3	P1	おい、それ本末転倒っていうやつでは？
4	S2	だってさ、こう、上に蒸発するやん？はね返るとしたら・・・なん、なん、なんて言おうとしたんやろ、うち。
5	P2	あかんやん。
6	S3	蒸発するやん？はね返るとしたら・・・はね返ったらさ、上曇らへん？はね返るときに絶対、上当たるやん？そのときに壁にくっついて曇ると思うんやけど。
7	Q1	うん、うん。
8	P3	うん。
9	S4	やんな？溜まるときも、壁に当たって曇るはずやん・・・どっちでもない気してきた。
10	P4	本末転倒。
11	Q2	本末転倒。
12	P5	でもはね返りはしいひんやろ。溜まってるんちゃうん？上だけ。でもそれやったら、上がこう、曇らなあかんやん。
13	S5	曇らへんやん。壁にくっついてへんねんから。
14	R2	なんかはね返るっていうのが・・・はね返ったら、永遠続くんちゃうん？
15	S6	はね返り論ってさ、戻り損ねたら、下にいくってこと？そうしたら、下濡れへん？

※P,Q,R,S は生徒を指す。？は上昇音調を示す。

この班の生徒たちの、討論前後におけるワークシートの回答を示す（図 5-20・5-21）。討論前に飽和論であった生徒は、討論前後で、反射論に賛成できなかったことを理由として、全くモデルを変えていないことが分かる（図 5-20）。授業記録（表 5-6）から全体討論で、自分の考え方を批判的に見られるようになったとはいえ、自分のモデルの矛盾や限界を具体的に見出し切れておらず、修正するところまでは至らなかったといえる、そこで、自分の構築したモデルを用いて、他の現象に対して思考したり、自分のモデルが正しいことを検証する実験を提案したりするなど、様々な現象を説明するのに便利な思考の道具であるという自分の構築したモデルの意義を見出したり、ある現象は説明することができないという自分のモデルの矛盾や限界を見出したりする必要があるといえる。また、討論前に反射論であった生徒は、「最初に描いた絵とは変わらない」と記述しているものの、絵を見ると水蒸気を粒で描き、さらに反射してビーカーの中に入らない水蒸気を描き足している（図 5-21）。これは、囲いのあるビーカーも水が少し減っていたという事実に合わせて、モデルを修正し、より良いモデルを再構築したといえる。

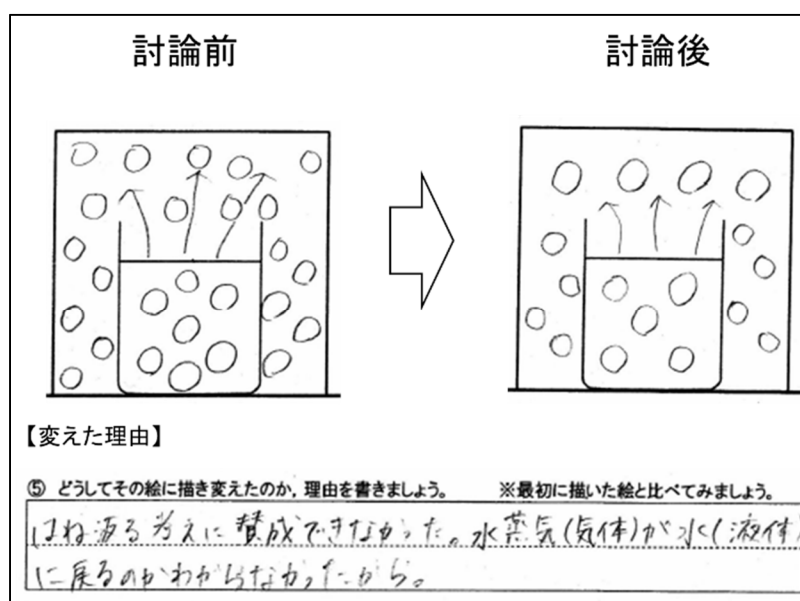


図 5-20 討論前後で変容が見られないワークシートの例

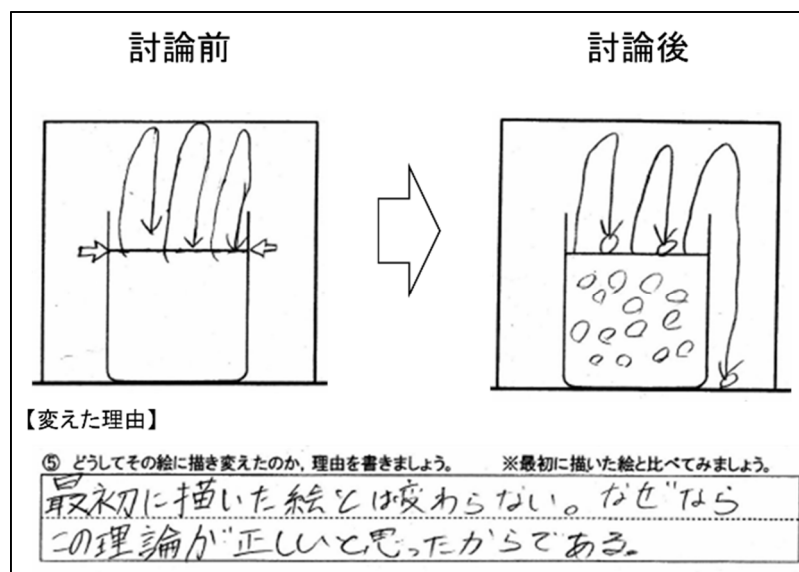


図 5-21 討論前後でモデルを再構築しているワークシートの例

授業記録の分析をまとめると、班討論や全体討論を通して、飽和水蒸気量の考え方や科学的な説明方法を見出したり、自分の構築したモデルの矛盾や限界を見出し、修正し、再構築したりすることが明らかになった。しかし、自分の構築したモデルの矛盾や限界を見出し切れておらず、再構築していない生徒の存在も確認され、自分の構築したモデルを用いて他の現象に対して思考したり、モデルが正しいことを検証する実験を考えたりする機会の設定が必要であると示唆された。

5.5. 授業の再提案

5.4.2.における分析を基にして、授業の中で、構築したモデル（考え方）の矛盾や限界を自ら見出し、修正し、再構築し、モデルを用いた思考を獲得できるような授業を再提案した。展開を図 5-22 に示す（指導案は参考資料を参照のこと）。

授業展開（再提案）	
【導入】	● 実験器具の説明を聞く ● 現象の観察結果を予想する ● 現象を動画で観察する ● 観察結果をクラス全体で共有する 「囲いのある方はほとんど蒸発しないが少し蒸発する」 「囲いのない方はたくさん蒸発する」 ⇒ 囲いのあるビーカーも少しは蒸発することを全体に共有する
【展開①】	● 個人で、課題「どうして水の減り方（蒸発の仕方）が違うのか、現象を絵で説明しよう」に取り組み、ワークシートに描く
【展開②】	● 展開①において個人で考えた説明方法をもとにして班で討論し、課題に対する一つの説明方法をホワイトボードに描く
【展開③】	● 展開②において班で考えた説明方法を、発表する ● 発表を聞いて、それぞれの班の特徴をワークシートに記録し、現象を最も分かりやすく説明した絵を描いた班を見出す ⇒ 近い意見を順番に発表するように促し、発表された意見をいくつかのグループに大別する
【展開④】	● 班で自分たちはどの考え方なのか明らかにする ● 全体に共有する
【展開⑤】	● それぞれの考え方の欠点（矛盾点）や利点は何か考える ● 全体に共有する
【展開⑥】	● 展開②～④を踏まえて、個人でもう一度課題に取り組み、ワークシートに描く ● 1回目と2回目に個人で描いた説明を比較し、どうして変容したのかワークシートに書く
【展開⑦】	● 指名された生徒は、自分がどうして考え方を変容させたのか、発表する
【展開⑧】	● 授業で難しいと思ったり、悩んだりしたのはどのようなことなのか、またその理由をワークシートに書く

図 5-22 再提案した授業展開

主に、最初に提案した授業（図 5-3）と変更したところについて、詳細を述べる。

はじめに、【導入】では、「囲いのあるビーカーも少しは蒸発する」ということを必ず、全体に共有する。囲いがあっても、全く蒸発しないわけではなく、その閉鎖空間の水蒸気量が飽和状態に達するまでは蒸発が進むことは重要な観察事実であり、この観察事実から飽和論に納得する様子（表 5-4 の O7）も見られ、導入で全体に共有しておく必要があるといえる。

【展開③】の全体共有では、「似た考えの班はいますか？」「今までの班とは異なる考えのある班はいますか？」といったように、他の班の考えと関連付けて教師は発表を促し、生徒が他の班との考えの共通点や相違点を常に意識するようにする。

【展開④】では、教師が全体討論において発表された考えを整理して生徒に提示し、改めて、その中で自分たちの班はどの考えなのか明らかにするように班討論を促す。なお、生徒の考えは 5 つに大別できることから、その 5 つのうちのいずれの考えなのかを選択することが基本となる。ここでは、生徒たちが考え方を整理し、現時点での自分の立場を明確化し、その後の全体討論において、自分の構築したモデルと他者の構築したモデルを比較検討する視点を与えることがねらいである。

【展開⑤】では、様々な考えの矛盾や限界、利点を考えることによって、構築したモデルを再構築するための支援となることを目的としている。

5.6. 第 5 章のまとめ

本章では、中学校 2 年生において、モデルの構築を促す授業を開発、実践し、その効果を検討した結果を報告した。

「モデルの使用調査」の授業前後における結果を比較した結果、第 4 章で述べた中学校 1 年生におけるモデルの構築を促す授業と同様に、微視的視点のモデルを用いた思考のできる生徒が増加し、本授業の目的である、モデルの構築を‘促す’という視点では効果があった。さらにワークシートを基に、授業の分析を行うと、「ある一定の空気が含むことのできる水蒸気の量に限りがある」という飽和水蒸気量の考え方、さらに科学的な説明方法を、本授業を通して見出していることが確認できた。また、モデルの矛盾や限界を見出し、修正し、再構築していることも、明らかになった。授業記録を基にしたより具体的な分析をすると、これらは班討論や全体討論の効果であることが分かった。

第 6 章では、第 4 章と本章で開発した 2 つの授業を、2 年間を通して授業実践した効果

を，モデルの使用調査とモデルの認識調査の結果から分析し，検討する。また，それらを踏まえて中学校 3 年生におけるデルの構築を促す授業を提案し，中学校 3 年間を通したモデルを構築・活用する力を育成する理科カリキュラムを作成する。

第6章 中学校 3 年間を通したモデルの構築を促す授業

第 4 章、第 5 章では、中学校 1 年生、2 年生と 2 年間を通してモデルの構築を促す授業を開発し、実践した結果を、それぞれの授業ごとに報告した。本章では、2 年間を通してモデルの構築を促す授業を行い、モデルを用いた思考へはたらきかけた効果を検討することにする。その際、各授業の評価に使用していた「モデルの使用調査」に加えて、「モデルの認識調査」の結果を使用した。

6.1. 2 年間を通した授業実践

6.1.1. 2 年間を通した授業実践の概要

本研究では、中学校 1 年生（第 4 章）、2 年生（第 5 章）と 2 回のモデルの構築を促す授業を開発し、授業実践を実施した（表 6-1）。次節より、2 年間を通して授業実践を行い、モデルを用いた思考にはたらきかけた効果を「モデルの使用調査」と「モデルの認識調査」の結果から評価していく。

表 6-1 2 年間を通したモデルの構築を促す授業実践の単元と時期

	中学校 1 年生	中学校 2 年生
単元	「物質の状態変化」	「大気中の水蒸気の変化」
時期	平成 27 年 10 月 27 日 または、平成 27 年 11 月 6 日	平成 28 年 10 月 17 日 または、平成 28 年 10 月 28 日
時間数	1 コマ (50 分)	1 コマ (50 分)

6.1.2. 2 年間を通した授業実践の分析

(1) モデルの認識調査の分析

モデルの認識調査の結果から、2 年間を通して授業実践を行い、モデルを用いた思考にはたらきかけた効果を検討する。中学校 1 年生の授業実践を行う前（6 章では以下、事前調査）と中学校 2 年生の授業実践を行った後（6 章では以下、事後調査）での各観点の得点の平均値に有意な差があるか否かを検討するために、欠席や記入漏れによる欠損値のある生徒を除いた 99 名の回答について、平均値の差の検定（対応のある t 検定）を行った。表 6-2 にその結果を示す。

表 6-2 に示したように、【現象の推測】、【暫定性】の 2 つの観点について、事後調査の方が事後調査に比べて平均値が有意に高かった（現象の推測： $t(99)=4.046$, $p<.01$, 暫定性： $t(99)=2.252$, $p<.05$ ）。このことから、2 年間を通して行ったモデルの構築を促す授業は、

【現象の推測】と【暫定性】の正しい認識への変容に有効にはたらいっていると示唆された。

表 6-2 2年間を通した授業実践による変容（モデルの認識調査）

観点	N=99 平均値		t
	事前調査	事後調査	
【多重表現性】	2.66	2.74	1.878
【特徴の顕在化】	2.05	1.91	- 1.904
【現象の説明】	2.73	2.78	1.456
【現象の推測】	2.51	2.73	4.046**
【暫定性】	2.77	2.87	2.252*

**p<.01 *p<.05

【多重表現性】:あらゆる角度から複合的に情報を表現する

【特徴の顕在化】:ある特徴をはっきりと示す

【現象の説明】:現象を説明する

【現象の推測】:現象を推測する

【暫定性】:暫定的なものであり変わる可能性がある

はじめに、【現象の推測】の正しい認識への変容について考察する。1年目の授業では、水蒸気が冷やされて湯気になる現象を観察し、「どうして目に見える部分と目に見えない部分が存在するのだろうか」という視点で、課題（現象を絵で説明する）に取り組んだ。2年目の授業では、空間の水蒸気量が飽和状態に達すると蒸発が止まる現象を観察し、「どうして蒸発の仕方が違うのだろうか」という視点で、課題に取り組んだ。つまり、2つの授業に共通することは、目に見えない現象に対して、観察した事実を基に思考し、現象の仕組みを‘推測’するという点である。この活動において、科学的に正しい答え、いわゆる‘正解’は生徒たちに明らかとなっていないため、生徒がする説明は全て仮説であり、説得力のある仮説がモデルであると考えられる。したがって、この活動を通じて、説得力を持った仮説を立てるために、モデルを繰り返し構築することで、モデルは現象を推測する上で役に立つといったように、【現象の推測】というモデルの役割を見出し、正しい認識へと変容させたと考えられる。加えて、2年目の授業では、「授業の中で、難しいと思ったり、悩んだりしたのはどのようなことですか」と、葛藤したことを、ワークシートに記述するように求めている。その記述を見ると、図 6-1 のように、「水の水蒸気は見えないから想像するしかないところ。」、「気体は見えないので変化の様子が目で見ることができないので考えるということが難しかった。」と、目に見えない現象を想像したり、考えたりすることに対して困難さを感じていることが分かるつまり、目に見えない現象に対して、観察した事実を基に思考し、現象の仕組みを‘推測’することに認知的葛藤を生じているといえ、現象を推測している意

識を強く持ちながら、絵で説明したと考えられる。このことから、本授業の中でモデルには、現象を推測するのに役立つという認識を見出し、【現象の推測】の正しい認識へと変容したと考えられる。

【難しいと思ったこと】	水の氷基 地 は見えないから想像するしかないところ。
【難しいと思ったこと】	気体は見えないので変化の様子が目で見ることが出来ないの で 考えるということが難しかった。
【理由】	すべての意見には理由がついていて、目に見えない現象なので、どれが正しいかわからなかったから。

図 6-1 【現象の推測】の正しい認識への変容がみられるワークシートの回答例

次に、【暫定性】の正しい認識への変容について考察する。1年目の授業でも、2年目の授業でも、最後に、「自分の班やクラスの考えを参考にして、もう一度、現象を説明する」という活動を行っている。この活動において、ほとんど全ての生徒が、班討論や全体討論を通して、自分の構築したモデルの矛盾や限界や他者が構築したモデルの有効性を見出し、最初に自ら構築したモデルを再構築していた。この、構築し直すという活動によって、モデルは「変化する可能性がある」という性質である暫定性を生徒が見出し、この性質の正しい認識への変容につながったと考えられる。また、粒子モデルを与えるかどうかということは多数⁴⁴⁾、検討されているが、粒子モデルを与える展開では、モデルを構築し直す機会がなく、【暫定性】を生徒が見出しにくいと考えられる。

以上の分析を、以下にまとめる。

- ① 目に見えない現象に対して、観察した事実を基に思考し、現象の仕組みを‘推測’する活動によって、【現象の推測】の正しい認識へと変容させた。
- ② 自分の構築したモデルを再構築する経験によって、【暫定性】の正しい認識へと変容させた。

最後に、モデルの役割や性質の中でも、【現象の推測】【暫定性】以外の観点の正しい認識へと変容を促進する指導法への示唆を導出する。まず、「あらゆる角度から複合的に情報を表現する」という性質である、【多重表現性】の正しい認識への向上に有効な活動を検討する。この性質を見出すためには、水流モデルのような、「高低差があるから水が流れる」といったように、モデルの持つ要素のつながり（因果関係）を意識したモデルを構築する経験が必要であると考え。本研究で行った1年生の授業実践（第4章）において、応用を検討すると、「熱運動が小さくなったから、粒が密集する」といったように、熱運動と粒が集合することの因果関係を意識したモデルの構築を目指す、この性質の正しい認識への変容につながる可能性がある。さらに、「ある特徴をはっきりと示す」という性質である、【特徴の顕在化】の正しい認識への変容に有効な活動を検討する。この性質を見出すためには、全てを同じように正確に表現すると分かりにくいということを実感する経験が必要であると考え。例えば、「血液の循環を説明しよう」という課題に取り組む学習活動が考えられる。その中で、【特徴の顕在化】を見出していない生徒は、毛細血管も含めて正確にすべての血管を絵で描き説明をすると想定される。そのような生徒が、主要な動脈と静脈だけを絵で描き、【特徴の顕在化】を見出していると考えられる生徒の説明と出会うと、自分の説明では分かりにくいことを実感し、この性質を見出すと考えられる。最後に、【現象の説明】の正しい認識への変容に有効な活動を検討する。中学生は、モデルを、現象を推測するものとして捉える一方で、その推測を説明するのに役立つという意識が弱いと考えられる。そこである現象に対して思考する中で構築したモデルを、他の現象に対して活用し、その現象を説明する経験が必要であると考え。例えば、自分の構築した粒子モデルを使って、別の現象を説明すると説明ができるという経験をすることによって、粒子モデルは現象を説明するのに役立つと実感することができると考える。つまり、本研究で行った2回の授業で、生徒が微視的視点のモデルを用いた思考を見出していたが、それを他の現象に活用する場面の設定が必要であるといえる。

(2) モデルの使用調査の分析

モデルの使用調査の結果から、2年間を通して授業実践を行い、モデルを用いた思考にはたらきかけた効果を検討する。事前調査と事後調査での結果を比較したものを図 6-2 に、詳細な生徒の変容を表 6-3 に示す。

図 6-2 に示したように、事前調査と事後調査では A 群 (a-1 群と a-2 群) の割合が、28.7% から 64.1% へと増加している。その中でも、表 6-3 に示したように、b 群から a-2 群へと変容 (図 6-3) した生徒が最も多かった (43 名)。このことから、巨視的視点で現象を見て、見たままの絵を描いていた生徒が、授業を通して、現象を説明するための便利な道具であるというモデルの意義を見出し、微視的視点のモデルを用いた思考が可能になったと考えられる。

一方で、表 6-3 より、b 群の生徒が a-1 群へと変容したのは少数 (4 名) である。つまり、2年間を通して行った 2 回の授業実践では、ほとんどの生徒が完全な微視的視点のモデルを用いた思考を獲得できなかったといえる。その原因として、自分の構築したモデルを用いて、他の現象に対して思考する経験が少なかったことが挙げられる。そういった経験をする中で、微視的視点のモデルの中でも、多様な現象を説明することが可能な微視的視点のモデルが構築されていくと考えられる。

したがって、完全な微視的視点のモデルを用いた思考を獲得するためには、異なる文脈においてモデルの構築を促す授業を同様にを行い、モデルを用いた思考に継続的にはたらきかける必要性が示唆された。

そこで次節では、モデルを用いた思考に継続的にはたらきかけるために、中学校 3 年生において、モデルの構築を促す授業を提案する。

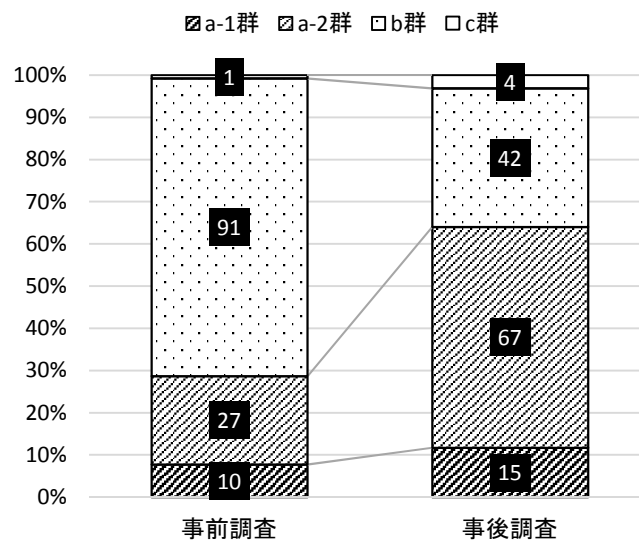


図 6-2 2年間を通した授業実践による全体の変容 (モデルの使用調査)

- a-1 群: 臭いとマスクを微視的に表現
a-2 群: 臭いのみを微視的に表現
b 群: マスクを巨視的に表現/臭いを巨視的に表現
c 群: マスクを表現できない/臭いを表現できない

表 6-3 2年間を通した授業実践による生徒の詳細な変容 (モデルの使用調査)

N=124

		事後			
		a-1 群	a-2 群	b 群	c 群
事前	a-1 群	6	4	0	0
	a-2 群	4	18	4	0
	b 群	4	43	37	3
	c 群	0	0	0	1

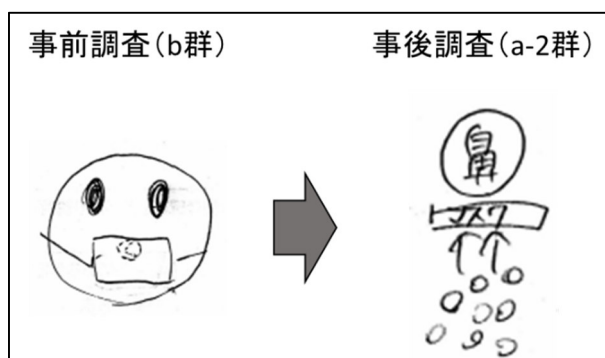


図 6-3 b 群から a-2 群へと変容した生徒の回答例

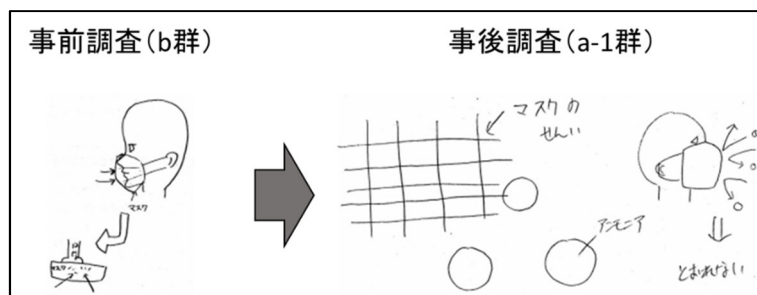


図 6-4 b 群から a-1 群へと変容した生徒の回答例

6.2. 中学校 3 年生における授業の提案

2 年間を通してモデルの構築を促す授業を行い、モデルを用いた思考へはたらきかけた結果から、完全な微視的視点のモデルを用いた思考を獲得させるために、異なる文脈においてモデルの構築を促す授業を同様にを行い、モデルを用いた思考にはたらきかける必要性が示唆された。そこで、中学校 3 年生において、田中⁴⁵⁾が、同様に、モデルの構築を促す授業を考案した。

授業は、単元「電流が流れる水溶液」で、50 分 1 コマを想定している。展開（表 6-4）は、2 年間を通して行ったモデルの構築を促す授業と同様であり、目に見えない現象に対して思考する中で、自らモデルを構築し、そのモデルの矛盾や限界を見出し、修正し、モデルを再構築することを重視されている。目に見えない現象は「塩化銅水溶液の電気分解（図 6-5）」であり、観察できることとしては、①陽極と陰極からそれぞれ、塩素と銅が析出する、②塩化銅水溶液に電流が流れる、③塩化銅の固体は電流が流れない、の 3 点である。これらの事実を基にして、「どうして電流が流れるのか」という視点を持って、現象を絵で説明する活動を行う。その際、「電流が流れる」といった目に見えない現象だけでなく、「銅が析出する」といった目に見える現象に対しても、微視的視点のモデルを用いて思考することが必要とされている。そのため、目に見えるものに対しても微視的視点のモデルを用いた思考のできる、完全な微視的視点のモデルを用いた思考を獲得することができると考えられる。さらに、この授業では、2 年間を通して行ったモデルの構築を促す授業同様に、【現象の推測】【暫定性】の正しい認識への変容に加えて、【多重表現性】【現象の説明】の認識の正しい認識への変容を目指している。先述したように微視的視点のモデルを用いた思考が求められているため、2 回の授業で獲得したモデルを用いて説明することが必要であり、【現象の説明】を見出すことができると考えられる。また、この現象において、水溶液中で

は、イオンが電子を持っており、その電子が極板で受け渡しをされ、導線に電子の流れが生まれる。つまり、現象を説明する上で、「イオンの電子が受け渡しされるから、導線に電子が流れる」というように、因果関係を意識する必要があり、【多重表現性】を見出すことができる。と考える。

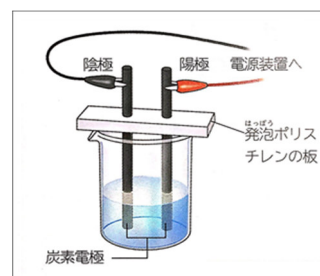
以上の授業を中学校 3 年生において、実践を行い、中学校 3 年間を通してモデルの構築を促す授業実践を行い、モデルを用いた思考にはたらきかける。

表 6-4 考案した授業展開（中学校 3 年生）

導入①	● 塩化銅水溶液の電気分解の結果（陽極に塩素、陰極に銅ができる、水溶液に電流が流れる）を確認する
導入②	● 2年生で学習した「閉回路でなければ電流は流れないこと」を確認する ● 豆電球を光らせるためにはどのように導線を接続すれば良いのかを考える
導入③	● 原子の構造を確認する ● 電流が電子の流れであり、電流と電子の流れは反対方向であることも確認する
展開①	● 個人で「電解質水溶液に電流が流れる仕組み」をモデルを用いて考え、ワークシートにかく
展開②	● 展開①で考えたモデルをもとに班で討論し、班の中で「電解質水溶液に電流が流れる仕組み」の説明を考え、ホワイトボードにかく
展開③	● 展開②で考えた「電解質水溶液に電流が流れる仕組み」の意見を発表し、意見交流する
まとめ	● 討論を終え、自分のモデルをもう一度考え、ワークシートにかく ● 今回の授業で、モデルを用いて考えることを振り返る

表 6-5 塩化銅水溶液の電気分解の実験

準備物	うすい塩化銅水溶液、炭素電極、電源装置、導線、ビーカー、乳棒、ろ紙、赤色の水性ペン
実験手順	① 右図のような装置を組み立て、うすい塩化銅水溶液を入れる。 ② 5V の電圧を加え、電極付近の様子を観察する。 ③ それぞれの電極でできた気体や固体が何であるのかを確かめる実験を行う。 （陽極）・においを嗅ぐ、 ・ろ紙に水性ペンで色を付け、気体の発生しているところに近づける。 （陰極）・陰極に付着した物質をろ紙にとり、乳棒でこする。



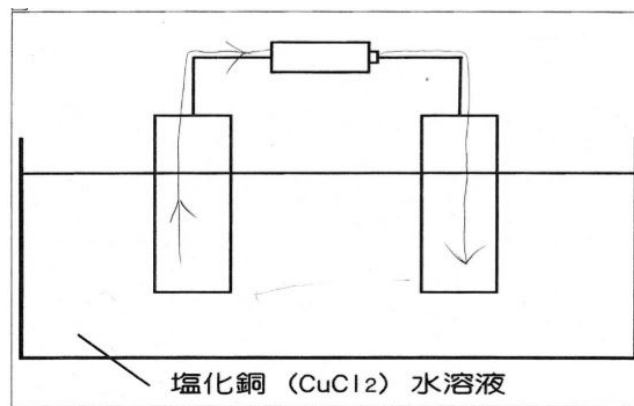


図 6-5 感覚的な表現をする回答例

6.3. 第 6 章のまとめ

本章では，中学校 1 年生，2 年生と，2 年間を通してモデルの構築を促す授業を行い，モデルを用いた思考へはたらきかけた効果を検討した結果を報告した。その結果，以下の 3 点の成果が得られた。

- ① 2 年間を通してモデルの構築を促す授業を行うことによって，モデルには，現象を推測する役割があるという【現象の推測】，またモデルは変わることがあるという【暫定性】の正しい認識へと変容させた。
- ② 【多重表現性】【特徴の顕在化】【現象の説明】の正しい認識への変容を促す指導法への示唆を導出した。
- ③ 2 年間を通してモデルの構築を促す授業を行うことによって，微視的視点のモデルを用いた思考を獲得した。

一方で，多くの現象を統一的に説明することが可能である，完全な微視的視点のモデルを用いた思考が可能な生徒は少数であることが，明らかとなり，異なる文脈でモデルの構築を促す授業を行い，モデルを用いた思考に継続的にはたらきかけることが必要であることが示唆された。以上を踏まえて，中学校 3 年生において，同様にモデルの構築を促す授業を開発し，提案した。

第7章 結言

モデルの 1 つである粒子モデルは中学校学習指導要領において、科学的な見方や考え方として重要な位置づけとなっており、モデルは理科（科学）において重要な考え方である。この粒子モデルはピアジェのいう形式的モデルの 1 つであり、その概念的理解は発達段階に依拠するため、難易度の高い。一方で、具体的な指導方法は確立されておらず、生徒に与えた粒子モデルを「使用する」ことに重きがおかれた展開が行われ、自らモデルを「構築する」過程を経験することなく、現象を説明するのに便利な思考の道具であるというモデルの意義を見出しにくい可能性がある。実際、中学生における粒子モデルの定着不足、さらにモデルの役割や性質の認識不足が指摘されている。

そこで本研究では、このような現状を解決するために、科学的モデルを構築・活用する力を育成する理科授業を開発することを目指した。具体的には、自らモデルを構築し、そのモデルの矛盾や限界を見出し、修正し、モデルを再構築する機会が設定された授業を中学校の各学年で開発、実践した。

以下では、本論文の第 3 章から第 6 章で明らかにした授業実践の成果について述べる。

第 3 章では、中学生におけるモデルを用いた思考の実態を確認することを目的として、調査問題を開発し、実施した。その結果、中学生はモデルの役割や性質を完全に認識できていないこと、また目に見えない現象を見たままに絵で描き、現象を説明するのに便利な思考の道具であるというモデルの意義を見出していないことが明らかになった。さらには、小学生時にモデルの構築を促す授業を経験した生徒の方が、そうでない生徒に比べて、モデルの役割や性質を正しく認識し、目に見えない現象に対して、微視的視点のモデルを用いた説明が可能になっていることが分かった。これらのことから、モデルの構築を促す授業は一定の効果があり、中学生においても継続的にモデルの構築を促す授業を行い、モデルを用いた思考にはたらきかける必要性が見出された。

第 4 章、第 5 章では、第 3 章で得られた中学生の実態を踏まえて、中学校 1 年生「物質の状態変化」、中学校 2 年生「大気中の水蒸気の変化」の単元において、モデルの構築を促す授業を開発し、授業実践を行った。各授業前後で行った「モデルの使用調査」の結果を比較すると、モデルを用いた思考に変容のなかった生徒が存在した一方で、微視的視点のモデルを用いた思考のできる生徒が増加していった。このことから、モデルは変容しづらい堅固な概念であることが明らかになり、同様の授業を異なる文脈で行い、モデルを用いた思考に継続的にはたらきかける必要性和有効性が示唆された。

第 6 章では、中学校 1 年生におけるモデルの構築を促す授業を行う前と中学校 2 年生における授業を行った後に実施した調査の結果を比較し、2 年間を通してモデルの構築を促す授業を行い、モデルを用いた思考にはたらきかけた効果を評価した。「モデルの使用調査」から、微視的視点の持ったモデルを用いた思考を獲得したことが明らかになった一方で、多くの現象を統一的に説明することが可能である、完全な微視的視点のモデルを用いた思考を獲得した生徒は、いまだに少数であることが明らかになった。つまり、モデルを用いた思考に継続的にはたらきかける必要性が示唆された。また、「モデルの認識調査」から、【特徴の顕在化】【暫定性】の 2 観点において、正しい認識への変容が見られ、本授業を通して、モデルの役割や性質を正しく認識したことが明らかとなった。一方で、正しい認識への変容が確認できなかった観点も存在し、それらの向上を促す指導法への示唆を導出した。

以上の研究成果から、モデルの構築を促す授業を行い、モデルを用いた思考に継続的にはたらきかけることによって、現象を説明するのに便利な思考の道具であるというモデルの意義を見出し、微視的視点のモデルを用いた思考を獲得できることが明らかになった。また継続的なモデルを用いた思考へのはたらきかけの必要性が示唆され、中学校 3 年生におけるモデルの構築を促す授業の実践を行い、中学校 3 年間を通して、モデルを用いた思考へはたらきかけていく。

参考文献

- 1) 伊神大四郎・武村重和 (1975) 『大系理科教育用語事典』 明治図書, 103.
- 2) 蛸谷米司・木村仁泰 (1981) 『理科重要用語 300 の基礎知識』 明治図書, 179.
- 3) Gilbert, J. K.,・Boulter, C. (1998) 「Learning Science Through Models and Modelling」
『International Handbook of Science Education』 53-57.
- 4) Treagust, F., Chittleborough, G., & Mamiala, T. (2002) 「Students' understanding of the
role of scientific models in learning science」 『international Journal of Science
Education』 Vol.24, No.4, 357-368.
- 5) 原辰次 (2003) 「科学技術におけるモデルの役割とモデル学」 『計測と制御 = Journal
of the Society of Instrument and Control Engineers』 42(3), 172-177.
計測自動制御学会
- 6) 文部科学省 (2008) 『中学校学習指導要領解説 理科編』
- 7) OECD (2006) 『Programme for International Student Assessment (PISA)』
- 8) 峯崎正樹・久保田善彦・小林秀夫 (2011) 「中学生の粒子モデルの理解に関する実践的
研究」 『理科教育学研究』 Vol.52, No.2, 123-130.
- 9) 森本信也・森藤義孝 (1988) 「中学生における粒子概念の取得に関する基礎的研究」 『日
本理科教育学会研究紀要』 Vol.29, No.2, 1-9.
- 10) 雲財寛・松浦拓也 (2014) 「中学生の科学的モデルに対する認識」 『日本科学教育学会研
究会研究報告』 Vol.29, No.3, 13-16.
- 11) 丹沢哲郎・熊野善介・土田理・片平克弘・今村哲史・長洲南海男 (2003) 「日本人の科
学観・技術観の特徴に関する研究」 『理科教育学研究』 Vol.44, No.1, 1-12.
- 12) 国立教育政策研究所 (2007) 『特定の課題に関する調査 (理科)』
- 13) 山口晃弘 (2010) 「物質の微視的な見方や考え方を育てる評価」 『理科の教育』 33-35.
- 14) 今村哲史 (2002) 「アメリカの化学教育事情—学校化学における粒子概念の取り扱い—」
『化学の教育』 Vol.50, No.9, 618-621.
- 15) 三輪俊一 (2007) 「生徒の粒子概念の形成を目指した理科授業—中学校第1学年「物質
のすがた」における単位粒子の導入を通して—」 『理科の教育』 21-23.
- 16) 野ヶ山康弘・谷口和成 (2015) 「形式的モデルの構築とその活用を促す理科授業」 『京都
教育大学教育実践研究紀要』 72-80.

- 17) 平島和雄・谷口和成 (2014) 「形式的モデルの使用による科学的思考を深める授業の開発～「ものの溶け方」を通して～」『日本理科教育学会第 64 回全国大会論文集』177.
- 18) 山口達明・柏田歩・島崎俊明・滝口泰之 (2010) 『生体物質の化学 有機化学から生命科学へ』三共出版, 137.
- 19) Jean Piaget (中垣啓 訳) (2007) 『ピアジェに学ぶ認知発達の科学』北大路書房, 29.
- 20) 波多野完治 (1983) 『ピアジェ理論と自我心理学』国土社, 109.
- 21) 前掲書 19), 11.
- 22) Lev Semenovich Vygotsky (土井捷三・神谷栄司 訳) (2005) 『「発達の最近接領域」の理論』三学出版, 21-22.
- 23) 柴田義松 (2006) 『ヴィゴツキー入門』子どもの未来社, 131.
- 24) M. Shayer et al (1978) Science Reasoning Tasks Slough : NFER.
- 25) 森本信也 (1983) 「児童・生徒の認知能力を基礎にした理科カリキュラム評価 (I) — 英国におけるカリキュラム評価プロジェクト CSMS を事例として—」『日本理科教育学会研究紀要』Vol.24, No.1, 31-40.
- 26) P. Adey, M. Shayer, C. Yates (2003) 『Thinking Science 3rd Edition』Nelson Thornes 社
- 27) 井津定光・石塚信夫・三野衛 他 (1985) 「小・中・高校生における状態変化の粒子的とらえ方についての実態調査」『京都教育大学教育実践研究年報』(1), 1-10.
- 28) 村上祐 (2010) 「小・中理科における望ましい粒子概念教育の提言—国の調査結果の背景および独自調査の分析から—」『岩手大学教育学部研究年』Vo.69, 73-87.
- 29) 有馬朗人 他 (2012) 『理科の世界 1』大日本図書, 100.
- 30) 毛利衛・黒田玲子 他 (2012) 『新しい理科 4』東京書籍, 93.
- 31) 吉川弘之 他 (2012) 『未来へひろがるサイエンス 2』啓林館, 178.
- 32) 井藤芳喜 (1970) 「理科教育におけるモデルの価値と利用」『島根大学教育学部紀要』84-95.
- 33) 有馬朗人 他 (2012) 『理科の世界 3』大日本図書, 149.
- 34) 吉川弘之 他 (2012) 『未来へひろがるサイエンス 1』啓林館, 191.
- 35) 前掲書 33), 213.
- 36) JAXA 宇宙情報センター ホームページ
『http://spaceinfo.jaxa.jp/ja/movingheavens_movingearth.html』

- 37) 内ノ倉真吾 (2008)「理科授業におけるモデルとモデリングー中学校電気単元を事例にしてー」『日本科学教育学会研究会研究報告』 Vol.22, No.3, 17-20.
- 38) 前掲書 2), 89.
- 39) 前掲書 29), 94-101.
- 40) 村松賢・桐生徹 (2015)「中学校気象単元における露点や飽和水蒸気量についての理解度の向上に関する研究」『日本科学教育学会研究会研究報告』 Vol.29, No.4, 101-106.
- 41) 顧萍・谷雅美(2007)「中学校理科におけるコンピュータを活用した教材づくりとその効果ー飽和水蒸気量についてー」『和歌山大学教育学部教育実践総合センター紀要』No.17, 85-91.
- 42) 羽村昭彦 (1996)「中学校理科気象単元における指導と評価のあり方」『日本科学教育学会研究会研究報告』 Vol.10, No.3, 51-56.
- 43) 有馬朗人 他 (2016)『理科の世界 2』大日本図書, 244-248.
- 44) 例えば, 葉山優・小嶋美也子, 勝呂創太・圓谷秀雄・金田知之・下條隆嗣 (2006)「小学校理科への物質の粒子像導入の可能性: 児童のもつ粒子像についての調査」『東京学芸大学紀要』 58, 15-39.
- 45) 田中克典 (2016)「粒子モデルの構築を促す中学校理科「水溶液とイオン」単元の授業開発」『2016 年度京都教育大学卒業論文』

謝辞

本研究を進めていくにあたり、様々な意見やアドバイスを下さった沖花彰先生、同研究室の文田明良先生、古結尚先生、田上智之さんに深く感謝いたします。そして、同時期に同じ研究室であった青木海仁君、齋藤孝君、向山昌俊君、角野善秀君、松谷佳樹君、山口諒君、真田淳志君、田中克典君、惠幸菜さん、吉田拓斗君とは数々の議論を重ね、切磋琢磨できたことは良い研究成果につながりました。心から感謝の意を表します。

また本研究は、京都教育大学附属桃山中学校の貴重な授業時間を頂いて実践させて頂きました。附属桃山中学校の中川竜洋先生、2年生の皆様に深く感謝いたします。

最後に、本研究について丁寧にご指導下さった京都教育大学の谷口和成先生には、この場を借りて心から御礼申し上げます。

参考資料

研究活動の一覧

研究報告等の題名	発表年	発表学会名	共同発表者
粒子モデルの構築を促す中学校理科授業の開発と実践	2015	日本理科教育学会 第 65 回全国大会	荒木功 谷口和成
科学的モデルに対する認識を高める教育的介入の検討	2016	日本理科教育学会 第 66 回全国大会	中川竜洋 平島和雄 谷口和成
科学的モデルの構築を促す中学校理科授業の開発と実践	2016	日本理科教育学会 平成 28 年度近畿支部大会	中川竜洋 平島和雄 谷口和成

粒子モデルの構築を促す中学校理科授業の開発と実践

○伊豆蔵 功己^A, 荒木 功^B, 谷口 和成^C

IZUKURA Koki, ARAKI Isao, TANIGUCHI Kazunari

京都教育大学大学院^A, 京都教育大学附属桃山中学校^B, 京都教育大学^C

【キーワード】モデル, CASE プログラム, 粒子概念, 中学校理科, 科学的思考

1 はじめに

中学校学習指導要領において, 粒子モデルは「科学的な見方や考え方」として重要な位置づけにある。一方で, 国立教育政策研究所¹⁾が行った特定課題調査によれば, 中学 2 年生の質量保存概念の理解に課題があることが指摘されている。その原因の一つとして, 自らモデルを「構築する」過程を経験することなく, 与えられた粒子モデルを「使用する」ことに重きがおかれた教科書にあるような展開によって, 「科学的な見方や考え方」であるはずの粒子モデルを知識として獲得し, 他文脈で使用できないことが予想される。一方, 野ヶ山 (2015) らや平島 (2014) らは, 小学校理科の水溶液の単元で英国の CASE プログラムを参考に「モデルの構築」に重きをおいた授業実践を行い, 粒子モデルの自発的な出現に成功している。

2 実践の概要

本研究では, 小学校理科との学びの連続性をふまえ, 中 1 理科「物質の状態変化」の単元において, 認知促進 (CA) の視点に基づき, 粒子モデルの有用性を自ら見出し, 構築を促す授業開発を行う。具体的には, 水の状態変化のようす (図 1) を観察させ, 「粒子」を前提とせずに, その現象を「絵を用いて」自由に説明させる活動を通して (表 1), 目に見えない現象に対してどのように思考し, それが討論を通してどのように変容するのか, 各展開におけるモデルの使用 (出現) 状況を中心に評価を行った。



図 1 絵で説明させる現象

表 1 授業展開

	CA 視点	展開
導入	具体的準備	● 現象 (図 1) を観察する ● 現象について, 「目に見える部分と目に見えない部分が存在し, それぞれ湯気と水蒸気である」を確認する
展開①	認知的葛藤	● 個人で課題「現象を絵で説明する」に取り組む
展開②	認知的葛藤 社会的構築	● 班で討論しながら課題に取り組む ● 全体で討論しながら課題に取り組む
展開③	認知的葛藤 メタ認知	● もう一度, 個人で課題に取り組み, 考え方の変容を確認する

3 結果および考察

展開①では, 現象を感覚的に表現したり, 見えない部分に水蒸気が存在すると理解しているにも関わらず, 空白にしたりする等, いわゆる見たままの絵を描き, モデルを用いて思考できていない生徒が多かった。また, 湯気と水蒸気を粒で描いているものの, それらに区別がなく, モデルを知識として獲得していると考えられる生徒もいた。しかし, 生徒同士の討論 (展開②) において, 見たままの絵では現象を説明したことにはならないことに気づき (認知的葛藤), さらに, 完璧ではないながらも粒子モデルを用いて分かりやすく (論理的に) 説明する生徒の意見を聞くことで, 粒子モデルを用いて思考する有用性を自ら見出す生徒が現れはじめた。その結果, 展開③では, 粒子モデルを用いて思考を行う生徒が増加した。つまり, 状態変化の単元においても, 現象を説明するための必然性, 有用性から, 粒子モデルが自発的に出現するはたらきかけが可能であることが明らかになった。

参考文献

- 1) 国立教育政策研究所 (2007) 『特定の課題に関する調査 (理科) 結果のポイント』 p.121
- 2) 野ヶ山康弘, 谷口和成 (2015) 京都教育大学教育実践研究紀要第 15 号, pp.71-80
- 3) 平島和雄, 谷口和成 (2014) 『形式的モデルの使用による科学的思考を深める授業の開発』第 64 回日本理科教育学会発表論文集, p.382

科学的モデルに対する認識を高める教育的介入の検討

○伊豆蔵 功己^A, 中川 竜洋^B, 平島 和雄^C, 谷口 和成^D

IZUKURA Koki, NAKAGAWA Tatsuhiko, HIRASHIMA Kazuo, TANIGUCHI Kazunari

京都教育大学大学院^A, 京都教育大学附属桃山中学校^B, 京都市立梅小路小学校^C, 京都教育大学^D

【キーワード】モデル, 認識, 粒子, CASE プログラム, 中学校理科

1 はじめに

中学校学習指導要領において, 粒子モデルは「科学的な見方や考え方」として重要な位置づけにあるが, 多くの先行調査¹⁾で, 粒子モデルは中学生に定着しにくいという現状が明らかとなっている。さらにオーストラリアにおいて, Treagust らは生徒の科学的モデルに対する認識を確認する調査

「Students' Understanding of Models in Science(以下, SUMS)」を実施し, 多くの生徒が粒子モデルを含む, 科学的モデルの性質を完全に認識できていないことを明らかにしている²⁾。日本においても, 雲財らは, SUMS を参考にした調査を実施した結果, モデルの性質に対する認識がまだ確立していない中学生が多いことを指摘している³⁾。

この原因の一つとして, 教科書にあるような, 与えられた粒子モデルを「使用する」ことに重きがおかれた展開によって, 自らモデルを「構築する」過程を経験することなく, 粒子モデルを知識として獲得し, 有用性を見出せないことが考えられる。そこで本研究では, 「構築する」過程に重きをおいた授業を開発し, その授業を通して, 生徒たちの科学的モデル(以下, モデル)の認識がどのように変容するのかを確認することを目的とした。

2 方法

科学的モデルに対する生徒の認識実態と開発授業⁴⁾によるその変容の有無を調査するために翻訳した SUMS を用いた調査を授業の前後で実施する。なお, 対象生徒の約半数は, 小学生時に平島ら⁴⁾によって, モデル思考の構築を促すはたらきかけ(理科授業)を経験しているため, その効果も検証する。

3 結果および考察

SUMS を中学 1 年生に実施し, 27 項目で因子分析(有効回答数 226, 最尤法, プロマックス回転)を行った。十分な因子負荷量を示さなかった項目を削除し, 再度因子分析を行ったところ, Treagust らとは一部異なるものの, 同様に科学的モデルの特徴を示す 5 つの性質(表 1 中参照)が明らかとなった。

各性質についての質問項目の得点を合計して平均値を算出し, 小学生時のモデル思考へのはたらきかけを経験した生徒とそうでない生徒を比較した。その結果, 特に「現象の説明」「現象の予測」において, 有意な得点の差が見られた(表 1)。このことから, 小学生時のモデルを用いた思考へのはたらきかけが, 「現象を説明したり予測したりする思考の道具」というモデルの性質の 1 つを生徒自身が見出すことに有効であることが示唆された。

また, はたらきかけの経験のない生徒は, 開発授業前後において, 「現象の予測」の得点に有意な差が見られた(表 2)。つまり, 自由に現象の仕組みを考えて予想し, その考えを友達と共有, 討論するといった開発授業における展開によって, 生徒たちは様々な説明と出会い, 自身の考え(モデル)を強化, 再構築する過程で, 現象を予想するのにモデルを用いて思考することの有用性を自ら実感したと考えられる。

表 1 小学生時のはたらきかけによる影響 (授業前)

性質	はたらきかけ無 平均値	はたらきかけ有 平均値	t
多重表現性	3.89	4.17	2.766**
特徴の顕在化	2.69	2.79	0.598
現象の説明	4.04	4.32	2.952**
現象の予測	3.58	4.01	2.940**
暫定性	4.28	4.36	0.538

**p<.01 *p<.05

表 2 開発授業による影響 (小学生時のはたらきかけ無)

性質	授業前 平均値	授業後 平均値	t
多重表現性	3.89	3.87	0.212
特徴の顕在化	2.69	2.59	0.630
現象の説明	4.04	4.08	-0.408
現象の予測	3.58	3.92	-2.212*
暫定性	4.28	4.20	0.518

*p<.05

参考文献

- 1) 例えば, 今村哲史(2010)理科の教育, 59,(12),pp.48-51
- 2) Treagust,F.,Chittleborough,G.,&Mamiala,T.(2002) International Journal of Science Education, 24(4),pp.357-368
- 3) 雲財寛 他(2014)日本科学教育学会研究会研究報告, 29(3), pp.13-16
- 4) 平島和雄 他(2014)第 64 回日本理科教育学会発表論文集, p.382
- 5) 伊豆蔵功己 他(2015)第 65 回日本理科教育学会発表論文集, p.333

科学的モデルの構築を促す中学校理科授業の開発と実践

○伊豆蔵 功己^A, 中川 竜洋^B, 平島 和雄^C, 谷口 和成^D

IZUKURA Koki, NAKAGAWA Tatsuhiro, HIRASHIMA Kazuo, TANIGUCHI Kazunari

京都教育大学大学院^A, 京都教育大学附属桃山中学校^B, 京都市立梅小路小学校^C, 京都教育大学^D

【キーワード】モデル, 粒子, 科学的思考, CASE プログラム, 中学校理科

1 はじめに

小学校の高学年から中学校にかけて, 科学的に思考できる対象が, 具体的なものから形式的なもの

(形式的操作) になっていくといわれている。中学校理科における科学的な見方や考え方として重要な位置づけにある粒子モデルは, ピアジェのいう形式的操作の 1 つであり, その概念的理解は発達段階に依拠する難易度の高い概念である。しかし日本では, 生徒に与えた粒子モデルを「使用する」ことに重きがおかれた展開が行われ, 自らモデルを「構築する」過程を経験することなく, モデルを「知識」として獲得するのみで, 有用性を見出せない傾向にある。実際, 先行調査¹⁾で, 中高生の粒子概念が不完全であることが指摘されている。一方, ピアジェの理論に基づき, 論理的 (科学的) 思考力を育むことを目指す英国の CASE プログラム²⁾には, 目に見えない現象を説明するために, 班や全体での討論を通して繰り返し自らモデルを考える活動を行い, 構築することを目指した教材が存在する。そこで本研究では, CASE プログラムを参考に, 中学校 3 年間を通して, 形式的モデルを「構築」する過程に重きをおいた授業カリキュラムを開発する。

2 これまでの研究成果

一昨年度, 中学 1 年生を対象に, 「物質の状態変化」の単元において, 認知促進 (CA) の視点に基づき, モデルの構築を促す授業を開発, 実施した³⁾。その結果, 現象を説明するための必然性, 有用性から粒子モデルが自発的に出現し, はたらきかけが有効であることを明らかにした。

3 研究の方法

小学校理科との学びの連続性をふまえ, 小学生時に平島ら⁴⁾によって, 同じく, モデルの構築を促すはたらきかけ (理科授業) を経験した生徒が約半数いる中学 1 年生 (129 人) を対象に, 開発授業³⁾を実施し, 効果 (変容) の違いを検証した。

4 結果および考察

討論前後におけるワークシートの記述内容を比較すると, 多数 (50 人) の現象を「見たまま (巨視的

視点)」で説明する生徒が, 微視的視点を持って「モデル思考」ができる (以下, A 群) ようになり, A 群の割合は全体の 48% から 82% となった。このことは, モデルを用いた思考が促されたことを示唆している。しかし, 授業とは異なる文脈で, 自然現象に対する思考の仕方を授業前後で確認した結果では 23% の生徒が A 群に移行したものの, 変容の少ない生徒が多数 (72%) いたことから, 文脈によらない本質的なモデルを構築できる生徒は少数であると分かった。

次に, 小学生時にモデルの構築を促すはたらきかけを経験した生徒とそうでない生徒の討論前のワークシートを比較すると (図 1), A 群の割合はそれぞれの生徒の 63% と 34% であった。このことから小学生時のはたらきかけが有効であることが分かった。一方で討論後, その割合はそれぞれの生徒の 84% と 79% となり, 討論前と比べるとその差は僅かとなった。

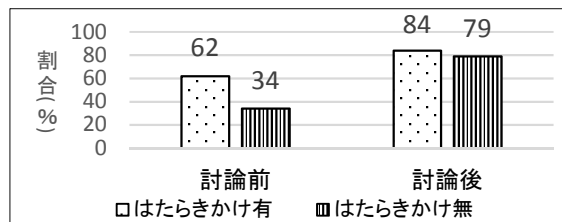


図 1 はたらきかけの有無による違い

以上から限られた単元では変容に限界があり, 他文脈における継続的なはたらきかけの有効性と必要性が示唆された。そこで本年度は, 同じ集団 (中 2) を対象に「大気中の水蒸気の変化」の単元においてモデルの構築を促す授業の開発, 実施し, 継続的なはたらきかけを行っている。その結果についても講演にて述べる。

参考文献

- 1) 村上祐 (2010) 岩手大学教育学部研究年報, 69, pp.73-87
- 2) M.Shayer, P.Adey and M.Yates (2001) Thinking Science 3rd edition, Nelson, Walton-on-Thames.
- 3) 伊豆蔵功己 他 (2015) 日本理科教育学会第 65 回全国大会論文集, p.333
- 4) 平島和雄 他 (2014) 日本理科教育学会第 64 回全国大会論文集, p.382

「Thinking Science」 Lesson23~25 の詳細な授業展開

Lesson23「物質の三態を説明する」

【展開①】

試験管の中に入った、ステアリン酸の結晶を観察させる。ステアリン酸の固体の状態を観察することで、この後起こる現象の前後での、ステアリン酸の状態を比較できるようにする。

【展開②】

ステアリン酸が融解する様子を演示実験で観察させ、「何が起こったのだろうか」と発問を行う。この時、ワークシートには、生徒が発表したり記述したりするときに使うであろういくつかの言葉（とける、沸騰、こおる、気体、固体、液体、凝結、蒸発、固化）が記述されており、それを基にして、「固体」「液体」「融解」といった用語を使い、観察した事実を正確に説明することを求めている。この活動によって、固体のステアリン酸の結晶が融解して、液体になるという状態変化を全員に共通認識させる。

【展開③】

沸騰する様子、温度の低い試験管の上部で冷やされた蒸気が凝結し、下の液体の部分に流れ込んでいる様子をそれぞれ観察させ、融解と同様に、「沸騰」「凝結」といった用語と、観察した事実を全員に共通認識させる。特に、凝結では、「どのようにして液体が試験管の底から上部に上がっていったのか」に視点を当て、正しい説明を行うことを求める。

これらの活動（【展開①】～【展開③】）を行うことで、認知的葛藤が、用語の意味や観察した事実といった、別の状況が起因して起こらないようにする。

【展開④】

ロウと氷、鉛（またはハンダ）、硫黄を融解させる実験をグループごとに行い、観察した事実を的確な言葉を用いて、記録させる。この時、実験結果の記録の仕方はグループで考えさせる。

この活動と今までの活動（【展開①】～【展開③】）との大きな違いは、観察した事実を記録するのにあたり、用語を用いるのか、また文で書くなどの指定がされていないため、自分たちで考え、自由に表現できるという点である。したがって、記録の方法を生徒自ら思考することが求められており、このことが認知的葛藤となる。

【展開⑤】

今まで実験で観察した、融解や沸騰、凝結、凝固はどのような現象であるのか、模造紙や、OHP シートを用いて説明させる。

「説明する」ということが、この授業の核となる部分であり、グループで「事実を説明するためにはどのようにすれば良いか」を思考させることを目的として、この活動が設定されている。この時、「説明するためには、図を使うのが良い」など、説明方法を教師から示す

【参考資料】 「Thinking Science」 Lesson23~25 の授業展開

ようなことは一切行わない。生徒たちが自分たちで知恵を絞り、説明するために最も良い方法を考えることが、認知的葛藤であり大切なのである。

【展開⑥】

【展開⑤】で、観察した事実の説明をクラス全体で共有させる。この時、生徒が粒子という言葉を知っていれば、現象を説明するのに粒子を持ち出してくるだろうが、粒子を使った理由やその意義を教師は問いかけ、知識として獲得した粒子を使った説明をすることで満足させないようにする。

この活動において、粒子の有用性を見出さずに、知識として単に粒子を使っている生徒に困難さを感じさせ、説明しようと知恵を絞らせることが【展開③】と同様、認知的葛藤であり、大切なのである。

【補足】

生徒たちの説明の中で、一般的なものやユニークなもの、うまく図を使って表現しているものは書き留めておき、次の授業の導入に取り入れる。

以上のように、「説明する」という活動に重きをおき、説明するのに最も良い方法を思考させる活動を行うことで、それが認知的葛藤となり、分かりやすく説明する方法を見出すことが期待される。

Lesson24「溶解を説明する」

【展開①】

ここでは、Lesson23 で行った、「事実を記述する」とことと、「説明する」ことの違いを生徒に見出させることを目的としている。

具体的には、まずそれぞれに該当する説明を発表させる。この時教師は、「熱が固体を押し広げる」や「ばらばらにする」という説明に対しては、「何が押し広げるのか」「何がばらばらにするのか」という発問を行い、介入を行う。その後、それぞれに該当する説明の違いを生徒に比較させ、思考させる。

この活動では、「説明する」ということに意識を生徒に持たせ、見たことを説明するという機会がなかった生徒（一般的な生徒）にとって、説明することにアイデアを与えるつまり、説明することに対して考える、準備を行っているのである。

【展開②】

食塩が溶ける様子を演示実験によって、観察させる。ここで、「観察したことを科学的に説明する」ということが、授業の核となっていることを生徒たちに伝える。

この活動によって生徒たちに目の前で起こっていることについて、モデルを考え出して説明することに意識を持たせる。

【展開③】

メスシリンダーにすりきりいっぱい満たした水をみせ、「これ以上、何か入れることはできるだろうか」と発問し、薬さじいっぱいの塩をその表面に、繰り返し振りかける。

この実験では、水面の高さは変化することなく、たくさんの食塩が入っていく不思議を生徒に感じさせる。またメスシリンダーのように高さのある容器を使うことで、生徒たちに食塩の粒が小さくなっていく様子を見せ、粒子を用いた思考の表出を促している。

【展開④】

【展開③】の実験において、グループで「塩はどこにいったのか、どのようにして水の中に入ってしまったのか」を話し合わせる。

この活動では、塩が溶けたという事実を記述するのではなく、どこへ塩がいったのかという説明を行わせることで、「説明する」ということに対して、認知的葛藤を起こさせることが目的である。

【展開⑤】

ステアリン酸を水に溶かす実験を行い、生徒たちにステアリン酸が溶けたのかどうかを尋ねる。

この活動は、物質が水に溶けるか溶けないかをどのように見分けるのかを考えさせることを目的としている。

【展開⑥】

ステアリン酸、塩、硫黄、硫酸銅の固体について、水に対する可溶性を調べさせ、観察したことを記録させる。この時、教師は観察したことについて話し合い、記録するように促す。

この活動では、溶けるものと溶けないもの、両方を説明する機会を生徒に与えることで、生徒たちにモデルを用いた思考を促している。

【展開⑦】

ステアリン酸がアセトンに溶けることを演示し、以下の発問を行い、説明させる。

「どうしてこの溶剤には溶けて、水には溶けないだろうか」

「溶けたものはどこへいったのだろうか」

「振ったら速く溶かすことができるのはどうしてだろうか」

これらの発問によって、ステアリン酸が水に溶けなかったことと比較して考えさせることで、自分の説明で矛盾なく説明できるのかどうかを思考させることが目的である。矛盾が生じていれば改良しなければならず、認知的葛藤を起こさせることになる。特に「説明することについて考えている生徒に対して、非常に効果的である。

【展開⑧】

水溶性の物質（たとえば食塩）を取り、以下の発問を行う。

「食塩はどこへいったのだろうか」

「溶かした量だけまだこの中に入っているのだろうか」

「塩をもう一度取り出せるだろうか」

この時、‘蒸発’を想起させるようにするため、実際に図のような装置で、蒸発の実験を行う。

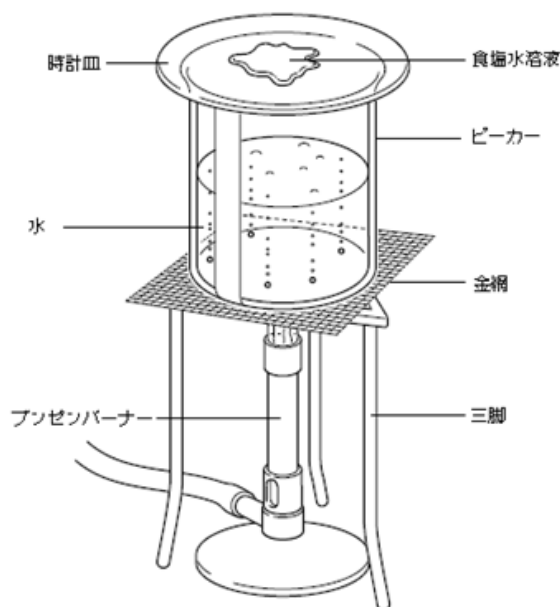


図 蒸発の実験装置

ここでは、ステアリン酸をアセトンに溶かした溶液を蒸発したものと、食塩水を蒸発したものを比較させることによって、「溶けている物質は常に性質が同じである」ことに気づ

【参考資料】 「Thinking Science」 Lesson23~25 の授業展開

かせることが目的である。ここでも自分の説明に、矛盾が生じれば改良しなければならず、認知的葛藤を起こさせることになる。

【展開⑨】

生徒が各自の理論上のモデルを持ち、溶解や析出について図や文章を用いて説明させる。また、今日の実験に関する説明は、融解についての説明（Lesson23）と比較して難しかったか、それとも簡単だったか、またそれはどうしてなのかを尋ねる。

この活動では、融解では説明ができたモデルでも、溶解や析出では矛盾が生じて説明ができないことに気づかせ、統合的に説明できるモデルは、どのようなモデルなのかを考えさせることを目的としている。この時に、一部の生徒は、そのモデルが粒子モデルであることを見出すと考えられる。

Lesson25「化学反応を説明する」

【展開①】

Lesson24 で生徒が提出した、溶解や蒸発に関する説明を参照する。

この時、粒子論による説明を行っているグループに、観察したことがどのように説明できているのかについて詳しく発表させ、粒子を用いた説明にやや重きをおくようにする。つまり、粒子を用いた説明が存在することを、全員に認識させることを目的としている。

【展開②】

ろうそくが燃えている様子を演示して観察させる。その後、机間指導を行いながら、「何が燃えているのだろうか。」という発問を行う。

この発問において、燃えているものに視点を持たせ、燃えているものがロウなのか、芯なのかを考えさせるきっかけとなることを目的としている。

【展開③】

燃え続けるとろうそくの大きさはどうなるのか尋ねる。

この時、「小さくなる」という回答が予想されるため、教師は流れ落ちるロウを指さし、「元のろうより減っているだろうか」と尋ねることで、葛藤を起こさせる。

【展開④】

【展開③】の発問を支援として、もう一度、「何が燃えているのだろうか」ということを考えさせる。

ここでは、全員が燃えているのは、ロウと芯の両方であるという結論に至るようにする。その支援としては、芯だけという意見があれば、芯だけを燃やし、すぐに燃えきってしまう様子を演示する。

補足であるが、燃えるものとして空気が必要であることは全員の生徒が知っていることを前提に行うが、もし知らない生徒がいる場合は、空気の量が限られた瓶の中で、ろうそくを燃やす演示を行う。

このようにして、燃える過程において、ロウも空気も必要であることを共通認識させ、次の活動で認知的葛藤を生じるようにする。

【展開⑤】

「ロウと空気の二つのものに燃えているとき、何か起こっているだろうか」という発問を行う。つまり相互作用について考えさせる。

ここでは、様々な意見を出させることで、次の活動で疑問を感じさせるようにする。

【展開⑥】

「燃焼によって作られたものから、簡単にロウを取り戻せるだろうか。」と発問を行う。

ここでは、ロウと空気といった異なった物質が結合すれば、元に戻すことはできないという、化学反応の基本的な考え方が構築されることを目的としている。

【展開⑦】

【参考資料】 「Thinking Science」 Lesson23~25 の授業展開

「ろうそくが燃えているとき、何が起きているのか説明してみよう。そのとき空気中には酸素の分子があって、ろうそくの中にはロウの分子があるという考え方を使ってみよう。」という課題を与える。

この活動では、今まで (Lesson23,24) 学習してきた三態変化や溶解といった現象を改めて説明することについて、粒子を用いた考え方をすれば説明が可能であることを見出させるのが目的である。

【展開⑧】

グループごとに、粉末の硫黄と銅粉を混ぜ合わせて、熱する実験を行わせ、熱する前後の様子を観察させる。

この活動では、2つの物質が結合すると、異なる物質が生成され、それを元に戻すことは困難であるという、化学変化の1つの特徴に気づかせることが目的である。

【展開⑨】

鉄粉と粉末の硫黄を混ぜ合わせて、それらを熱する実験を演示して行い、熱する前後の様子を観察させる。

この活動では、【展開⑧】と同様に2つの物質が結合すると、異なる物質が生成され、それらを元に戻すことは困難であるという、化学変化の1つの特徴に気づかせる。それに加えて本活動では、化学変化によってエネルギー（熱）が放出されるという化学変化のもう1つの大きな特徴に気づかせることが目的である。

【展開⑩】

Lesson23,24 の授業について振りかえらせる。

ここでは、本授業で行った化学反応では、どうして今までと異なり、粒子を用いた考え方に変える必要があったのかということについて、考えさせる。ここでは、粒子を用いた考え方が統合的に現象を説明するのに便利であるという、粒子の有用性を見出させることを目的としている。

【理科に関するアンケート】

実施日：() 年 () 月 () 日

第 () 学年 () 組 () 番

性別 (男・女) 名前 _____

- 1 下の文章を読んで、後の問いに対する答えを、絵と文章で書いてください。

先生が、教卓で液体のアンモニアが入った容器を開けました。すると前の席の人から順番に臭いを感じていきました。そこで、臭いを感じた人はすぐにマスクをつけたところ、アンモニアの臭いを感じにくくなりました。



問 マスクをつけると臭いを感じにくくなったのは、どうしてだと思いますか。

2 下の文章を読んで、後の項目に答えてください。

理科の勉強では、目に見えない現象や複雑な現象を分かりやすくするために、模型や図、イラストなどを用いて、単純で、具体的な姿で示すことがあります。このように現象を模型や図、イラストなどを用いて示したもののことを『モデル』といいます。

これらのような『モデル』に対して、あなたがどのように考えているのかについて質問します。以下の各項目について、あなたの考えに最もよくあてはまるものを 1～5 の中から 1 つ選び、数字に○をつけてください。

必ず全ての質問に答えてください。

		全く そうは 思わない	あまり そうは 思わない	どちら でも ない	やや そう 思う	強く そう 思う
(1)	モデルは、異なるものの見方を示すことによって、科学的な現象の特徴を表現するのに用いることができる。	1	2	3	4	5
(2)	モデルの中には、現象をいろいろな視点で解釈したものがある。	1	2	3	4	5
(3)	モデルは、いくつかの考えのつながりをはっきりと示すことができる。	1	2	3	4	5
(4)	モデルは、物事がどのように見えるのか、またはどのようにはたらくているのかに対するそれぞれの考えによるものであることを示すために用いられる。	1	2	3	4	5
(5)	モデルは、ある対象の様々な側面や形を表現するのに用いることができる。	1	2	3	4	5
(6)	モデルは、ある対象の様々な部分を示したり、対象を違ったように示したりすることがある。	1	2	3	4	5
(7)	モデルは、様々な情報がどのように用いられているのかを示すことがある。	1	2	3	4	5
(8)	モデルは、科学的な現象を示したり説明したりするのに必要な要素を持っている。	1	2	3	4	5
(9)	モデルは、現象の正確な複製であるべきである。	1	2	3	4	5
(10)	モデルは、実物に近い必要がある。	1	2	3	4	5
(11)	誰もが反証できないために、モデルはとても正確であることによって、実物に近づく必要がある。	1	2	3	4	5

		全く そうは 思わない	あまり そうは 思わない	どちら でも ない	やや そう 思う	強く そう 思う
(12)	モデルの全ての要素は、モデルが表現することを説明できるべきである。	1	2	3	4	5
(13)	モデルは、大きさを除くすべてにおいて、とても正確であることで、実物に近い必要がある。	1	2	3	4	5
(14)	モデルは、正しい情報を与えたり、物や現象がどのようにみえるのかを示したりして、実際の物や現象に近い必要がある。	1	2	3	4	5
(15)	モデルは、実物のふるまいやそれがどのように見えるのかを示す。	1	2	3	4	5
(16)	モデルは、より小さなスケールで何かを示す。	1	2	3	4	5
(17)	モデルは、何かを物理的に、もしくは視覚的に表すために用いられる。	1	2	3	4	5
(18)	モデルは、科学的な現象のイメージを頭の中に描くための手助けをする。	1	2	3	4	5
(19)	モデルは、科学的な現象を説明するために用いられる。	1	2	3	4	5
(20)	モデルは、考えを示すために用いられる。	1	2	3	4	5
(21)	モデルは、図表や絵、地図、グラフ、写真になることがある。	1	2	3	4	5
(22)	モデルは、科学的な現象に関する考えや理論を組み立てる手助けとして用いられる。	1	2	3	4	5
(23)	モデルは、科学的な探究活動において、考えや理論がどのように使われているのかを示すために用いられる。	1	2	3	4	5
(24)	モデルは、科学的な現象を予測し、確かめるために用いられる。	1	2	3	4	5
(25)	モデルは、新しい理論が証明されたり、証拠がくつがえされたりすれば、変わることがある。	1	2	3	4	5
(26)	モデルは、新しい発見があれば変わることがある。	1	2	3	4	5
(27)	モデルは、データやこれまで（正しいと）信じていたことの中に変化があれば変わることがある。	1	2	3	4	5

アンケートは以上です。ご協力ありがとうございました。

中学校 1 年生 モデルの構築を促す授業 学習指導案

■単元名 物質の状態変化

■本時について

①本時の目標

(教科) ・現象を絵で説明する難しさを感じる

②本時の展開

○主なる指示・発問 ■評価

区分	学習活動と内容 (予想される児童の反応)	指導上の留意点・支援・評価 (教師の活動)
導入	1. 実験の予想 ○ これから行われる実験において、どのような現象が観察できるのか予想し、指名された生徒は発表する。 「湯気が出てくる」 「水蒸気が出てくるので何も観察できない」 「ガラス管から水滴が滴る」 2. 演示実験の観察 ○ 演示実験をガラス管の先に注目して観察する。	○ OHC を使って、実験器具の説明を行う。 ● 特に、ガラス管は開管であることを、丁寧に説明する。 ○ ガラス管の先を指し示して、以下の問題提起を行う。 『ガスバーナーで丸底フラスコに入った水を熱すると、ガラス管の先ではどのような現象が観察できるだろうか』 ● 「湯気」「水蒸気」といった科学的な用語を用いた予想があれば、観察できることを具体的に説明させる。 (例) 湯気：白いモヤモヤしたもの 水蒸気：目に見えないもの ○ 演示実験を行う。 ● 実験器具の後ろに黒い紙を置き、観察しやすいようにする。 ● OHC で演示実験の様子を映し、見やすいように手立てを行う。 演示実験：下図のような装置で、丸底フラスコに入った水を沸騰させる。 

【参考資料】 学習指導案 単元「物質の状態変化」

展 開 ①	3. 観察結果の共有 ○ 観察結果を発表する。 「湯気が出ていた」 「最初透明のものがでて、そのあと白いものがでてきていた」 ○ 目に見える部分と目に見えない部分がそれぞれ何なのか、自分の予想をワークシートに記入する。 ○ 予想を発表する。 【目に見えない部分】 「空気」 「水蒸気」 【目に見える部分】 「水」 「湯気」	○ 以下の問題提起を行う。 『ガラス管の先ではどのような現象が観察できただろうか』 ● 観察結果を「目に見える部分と目に見えない部分が存在する」という表現で、共通認識させる。 ○ 以下の問題提起を行う。 『目に見える部分と目に見えない部分はそれぞれ何だろうか』 ● ワークシートを配布し、自分の予想を記入するよう促す。 ● 事前に撮った現象の動画を、スクリーンに映しておく。 ○ 予想を発表させ、板書する。 ● 基本的には誤った予想を最初に、正しい予想を最後に発表させる。 ● 誤った予想があった場合は、正しいをしている生徒に説明させ、正しい答えに導く。 ● 見える部分が水蒸気、見えない部分が湯気であり、どちらも同じ物質「水」であることを板書し、全員に共通認識させる。
展 開 ②	4. 課題「現象を絵で説明する」に取り組む ○ 絵を見て、現象を絵で説明できているのか考え、発表する。 「見たままの絵になっているから、現象を絵で説明したことになっていない」 「目に見えない部分が説明できていない」	○ 水蒸気と湯気は同じ水であるにも関わらず、見え方が違うことに不思議を感じさせ、以下の問題提起を行う。 『ガラス管の先で起こっている現象を絵で説明してみよう』 ○ 表 4-3 に従ってⅢ群に分類される絵を提示し、以下の問題提起を行う。 『この絵は現象を説明できているだろうか』

【参考資料】 学習指導案 単元「物質の状態変化」

	○ 課題に個人で取り組み、ワークシートに現象を絵で説明する。	● 表 4-3 に従ってⅢ群に分類される絵は、現象を絵で説明したことにならないことを共通認識させ、課題「現象を絵で説明する」に取り組ませる。 ● 絵を描く欄に、言葉は書かないように指示する。 ● 絵を描く際、色を使わないように指示する。 ● 「現象を言葉で説明している」生徒がいれば、「現象を絵で説明する」ように促し、認知的葛藤を生じさせる。その際、目に見える部分と目に見えない部分を比較して考えさせるようにする。
展開③	5. 班討論 ○ 班で討論し、導き出した説明方法をホワイトボードに描く。	○ 各班にホワイトボードを配布し、班の説明方法をホワイトボードに描かせる。 ● ガラス管の先で起こった現象を、分かりやすく絵で説明するように指示する。 ● 班の誰が指名されても、発表できるように指示する。 ● 描き終わった班から順に、ボードを前に持ってくるよう指示する。
展開④	6. 全体討論 ○ 指名された生徒が、発表する。 ● 発表を聞いている班は、最も現象を絵で説明できている班と、その理由をワークシートに書く。 ● 発表をしたり聞いたりして、自分と友達の説明方法を比較し、より良い説明方法を見出す。 ○ 最も現象を絵で説明できていた班を理由とともに発表する。 「○班の発表で、説明と絵が一致していたため」 「○班の発表で、目に見える理由を粒の大きさで表せていたから」 ○ 班で話し合い、現象を絵で説明できている分類グループを発表する。	○ 指名した班に、発表させる。 ● ホワイトボードを iPad で画像化し、スクリーンに映す。 ● 発表を聞いている班には、最も現象を絵で説明できていた班と、その理由をワークシートに書かせる。(視点として、見える部分と見えない部分の区別、またどちらも同じ物質〔水〕であるということを生徒の反応に応じて助言する。) ○ 以下の問題提起を行う。 『最も説得力のある説明ができていたのはどの班で、理由はどうか』 ● 数名に指名して、発表させる。 ○ ホワイトボードを分類し、以下の問題提起を行う。 『どの分類グループが最も現象を絵で説明できて

【参考資料】 学習指導案 単元「物質の状態変化」

	「左のグループで、目に見える部分と目に見えない部分がある理由を説明できているから」 「左のグループで、粒で表されているから」 「左のグループで、水蒸気と湯気は水で、同じ物質であることを表せているから」	いるだろうか』 ● 表 4-3 に従って、分類を行う。 ● 理由がはっきりしない場合は、見える部分と見えない部分をどのように表しているのかに注目させる。
展開⑤	7. 形式的モデルの構築に対する振り返り ○ 課題に個人で取り組み、ワークシートに記入する。	○ 班、全体の交流を踏まえてもう一度、最も現象を絵で説明できている方法で描かせる。 ● 最初に描いた絵と比べて、二回目に描いた絵で工夫したところはどこなのか、またそのような工夫をした理由をワークシートに書かせる。 ● 最初の考えと変わらなかった場合でも、自分の考えにはどこに工夫があったのかを書かせるようにする。 ● 「分かりやすいから」という理由があった場合には、より具体的に、どういう点で分かりやすかったのかを書かせる。

③評価(の観点と方法)

- ・紙面テスト（事前事後で同一問題）

④板書計画

ガラス管の先で起こっている現象を絵で説明しよう

見えない部分

空気
何もない

水蒸気

見える部分

湯気
水

}

水

分類して貼ったホワイトボード

⑤準備物

実験器具（スタンド・丸底フラスコ・沸騰石・ガスバーナー・金網・三脚・ガラス管付ゴム栓・ケトル）、iPad-1 台、Macbook-1 台、パソコン-1 台、ホワイトボード-10 台、ビデオカメラ

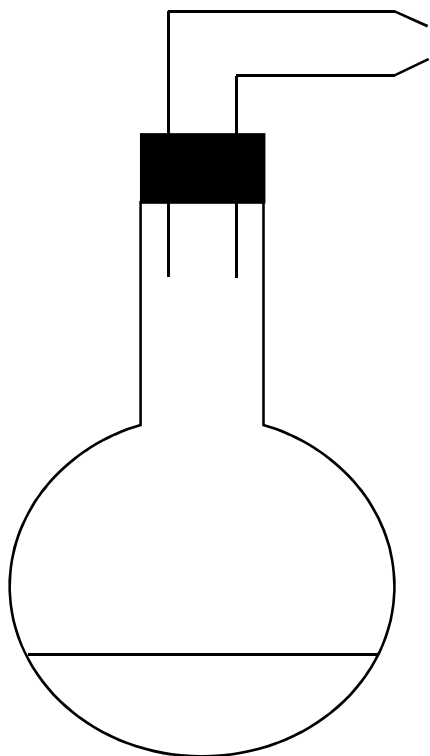
科学的に考えよう！

- ① 実験において、目に見えない部分と目に見える部分がありましたが，そこは何だと思えますか？

見えない部分	
見える部分	

- ② ガラス管の先で起こった現象を絵で描き，その絵の説明をしましょう。

< 絵 >



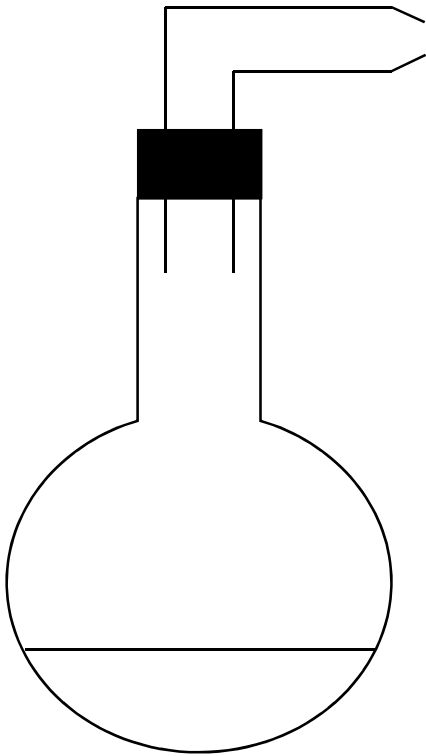
< 絵の説明 >

実施日：2015 年 月 日	附属桃山中学校
1 年 組 番 班 名前（ ）	

- ③ 発表を聞いて、この現象をうまく説明した絵を描いていたのは，どの班だと思いますか。またその理由を書きましょう。

班	<理由>

- ④ 自分の班やクラスの考えを参考にして，もう一度この現象を説明しましょう。また最初に描いた絵と比べて，改善したところを書きましょう。

<絵> 	
<絵の説明>	<改善したところ>

中学校 2 年生 モデルの構築を促す授業 学習指導案（改善前）

■単元名 大気中の水蒸気の変化

■本時について

①本時の目標

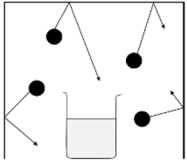
- （教科） ・ 現象を説明するために最適な絵を導き出す
・ 一定の空間に含むことのできる水蒸気の量には限界があることを見出す

②本時の展開

○主なる指示・発問

区分	学習活動と内容 (予想される児童の反応)	指導上の留意点・支援・評価 (教師の活動)
導入	1. 実験結果の予想 ○ これから観察する現象の結果を予想する ● どんな現象が観察できるかを予想することで、 現象を観察する視点を定める 「水が蒸発する」 「水が蒸発しない」	○ 観察結果の予想を確認する 「水 100mL をビーカーに入れて空気中に放置するとどうなるだろうか」 「同様に水 100mL をビーカーに入れて、アクリルボックスの囲いをして放置するとどうなるだろうか」 ● アクリルボックスやビーカーの実物を見せながら丁寧に実験状況を説明する ● 後ろの席の生徒もはっきりと見えるように、パワーポイントでビーカーとアクリルボックスを拡大した図を示す ワークシートの配布
	2. 現象の観察 ○ 実験の観察 ● 観察した結果をワークシートに記入する	○ 実験を示す ● 事前に行った実験の動画（最初：1000 倍速，後半：5000 倍速）をスクリーンに映して観察させる ● 観察結果をワークシートに記入するよう指示す
	3. 観察結果の共有 ○ 観察結果を発表する 【囲いなし】 「たくさんの水が蒸発した」 【囲いあり】 「ほとんど蒸発しなかった」 「少しだけ蒸発した」	○ 以下の問題提起を行う 『どのような観察結果が得られただろうか』 ● 発表された観察結果を板書する

	友達の発表を聞いて、足りなかった観察結果があれば、ワークシートに書き足す	
展 開 ①	4. 課題「現象を絵と言葉で説明する」に取り組む ○ 課題に個人で取り組み、ワークシートに現象を絵と言葉で説明する ● ‘どうして囲いがあると蒸発しにくいのだろうか’というところに視点を設けて考える	○ 板書した蒸発量に関する観察結果に下線を引き、以下の問題提起を行う 『どうして水の減り方（蒸発の仕方）が異なるのだろうか、現象を絵と言葉で説明しよう』 ● 絵を描く欄に、言葉は書かないように指示する ● 絵を描く際、色を使わないように指示する ● 「現象を、知識を使って言葉で説明する」生徒がいれば、それでは現象を説明したことになっていないことに気づかせ、「現象を絵で説明する」ことに、認知的葛藤を生じるように促す
展 開 ②	5. 班討論 ○ 班で討論し、導き出した説明方法をホワイトボードに描く	○ 各班にホワイトボードを配布し、班の説明方法をホワイトボードに描かせる ● 班の誰が指名されても、発表できるように指示する ● 描き終わった班から順に、ホワイトボードを前に持ってくるよう指示し、持ってきたホワイトボードを黒板に貼る
展 開 ③	6. 全体討論 ○ 指名された班の代表者は、発表する 「空間に存在できる水分には限界があるため、囲いがある方は、それ以上蒸発できなくなったため」 ● 発表をしたり友達の発表を聞いたりして、自分と友達の説明方法を比較し、より良い説明方法の特徴を考える ● 発表を聞いている生徒は、発表している班の描いた絵の特徴を記録しておく	○ 班を指名し、発表させる。 ● 発表班のホワイトボードを iPad で画像化し、スクリーンに映す ● 下図のような、感覚的な絵を描いた班には、「多い」といった表現が感覚的であることに気づかせ、定量的な説明を求めるようにする ● 「どうして〇〇なのだろうか」と発問し、ある空間に含むことのできる水には限界があることを見出させる 例) 以下のような発表の生徒には、「どうして逃げ

展 開 ④	7. 班共有 ○ 班で最も分かりやすく説明した絵を描いていた班とその理由を共有する	られなかったら蒸発できないのだろうか」と発問を行う 「囲いがあると水が逃げられないから」 
展 開 ⑤	8. 形式的モデルの構築に対する振り返り ○ 課題に個人で取り組み，ワークシートに記入する ○ 指名された数名は変容を発表する	○ 班，全体の交流を踏まえてもう一度，最も現象を絵で説明できている方法で描かせる ● 数名の変容を画像化しておく ○ 全体で数名の変容を確認する ● 発表者のワークシートをスクリーンに映す
展 開 ⑥	9. 授業全体に対する振り返り ○ ワークシートに絵を描き替えた理由と，この授業の中で難しいと思ったり悩んだりした場面とその理由を具体的に書く	

③評価(の観点と方法)

- ・ 2 種類（科学的モデルの認識調査・科学的モデルの使用調査）の紙面テスト

※事前事後で同一問題

④板書計画

どうして水の減り方が違うのだろうか	
蒸発の仕方	
囲いなし	・ <u>たくさん蒸発した</u>
囲いあり	・ <u>ほとんど蒸発していない</u> ・ 少し蒸発している
ホワイトボード	

⑤準備物

実験器具（100mL ビーカー-2 個，アクリルボックス-1 個），iPad-1 台，Macbook-1 台，パソコン-1 台，ホワイトボード-10 枚，ビデオカメラ-12 台

中学校 2 年生 モデルの構築を促す授業 学習指導案（改善後）

■単元名 大気中の水蒸気の変化

■本時について

①本時の目標

- （教科） ・現象を説明するために最適な絵を導き出す
・一定の空間に含むことのできる水蒸気の量には限界があることを見出す

②本時の展開

○主なる指示・発問

区分	学習活動と内容 (予想される児童の反応)	指導上の留意点・支援・評価 (教師の活動)
導入	1. 実験結果の予想 ○ これから観察する現象の結果を予想する ● どんな現象が観察できるかを予想することで、現象を観察する視点を定める 「水が蒸発する」 「水が蒸発しない」	○ 観察結果の予想を確認する 「水 100mL をビーカーに入れて空気中に放置するとどうなるだろうか」 「同様に水 100mL をビーカーに入れて、アクリルボックスの囲いをして放置するとどうなるだろうか」 ● アクリルボックスやビーカーの実物を見せながら丁寧に実験状況を説明する ● 後ろの席の生徒もはっきりと見えるように、パワーポイントでビーカーとアクリルボックスを拡大した図を示す ワークシートの配布
	2. 現象の観察 ○ 実験の観察 ● 観察した結果をワークシートに記入する	○ 実験を示す ● 事前に行った実験の動画（最初：1000 倍速，後半：5000 倍速）をスクリーンに映して観察させる ● 観察結果をワークシートに記入するよう指示す
	3. 観察結果の共有 ○ 観察結果を発表する 【囲いなし】 「たくさんの水が蒸発した」 【囲いあり】 「ほとんど蒸発しなかった」 「少しだけ蒸発した」	○ 以下の問題提起を行う 『どのような観察結果が得られただろうか』 ● 発表された観察結果を板書する ● 必ず，【囲いあり】のビーカーの水も少しは蒸発したことを全体に共有する

	● 友達の発表を聞いて、足りなかった観察結果があれば、ワークシートに書き足す	
展 開 ①	4. 課題「現象を絵と言葉で説明する」に取り組む ○ 課題に個人で取り組み、ワークシートに現象を絵と言葉で説明する ● ‘どうして囲いがあると蒸発しにくいのだろうか’というところに視点を設けて考える	○ 板書した蒸発量に関する観察結果に下線を引き、以下の問題提起を行う 『どうして水の減り方（蒸発の仕方）が異なるのだろうか、現象を絵と言葉で説明しよう』 ● 絵を描く欄に、言葉は書かないように指示する ● 絵を描く際、色を使わないように指示する
展 開 ②	5. 班討論 ○ 班で討論し、導き出した説明方法をホワイトボードに描く	○ 各班にホワイトボードを配布し、班の説明方法をホワイトボードに描かせる ● 班の誰が指名されても、発表できるように指示する ● 描き終わった班から順に、ホワイトボードを前に持ってくるよう指示し、持ってきたホワイトボードを黒板に貼る
		ワークシート②の配布
展 開 ③	6. 全体討論 ○ 指名された班の代表者は、発表する 「空間に存在できる水分には限界があるため、囲いがある方は、それ以上蒸発できなくなったため」 ● 発表をしたり友達の発表を聞いたりして、自分と友達の説明方法を比較し、より良い説明方法の特徴を考える ● 発表を聞いている生徒は、発表している班の描いた絵の特徴をワークシート②に記録しておく	○ 班を指名し、発表を促す ● 発表班のホワイトボードを iPad で画像化し、スクリーンに映す ● 「似た意見のある班はありますか？」と、似た意見を順番に発表するように促す ● 下図のような、感覚的な絵を描いた班には、「多い」といった表現が感覚的であることに気づかせ、定量的な説明を求めるようにする
展	7. 班討論→全体討論	

開 ④	○ 班で討論し、自分の班はどの考えなのか明らかにする ● 自分たちの考えを整理し、立場を明確化することで、後の全体討論において自分と他者の考えを比較する視点とする	○ 以下の問題提起を行う 『自分の班は、どの考えなのだろうか』 ● 発表された班の考えを大別し、自分たちの考えはそのどれなのかを明らかにさせる ● 自分たちの班はどの考えなのか挙手で全体に共有させる
展 開 ⑤	8. 班討論→全体討論 ○ 班で討論し、自分の班の考えの利点、また他の考えの欠点について思考する ● 全体に共有する 「反射論では、囲いありの方も少し水が減ったということを説明できない」	○ 以下の問題提起を行う 『それぞれの考え方の欠点や利点は何だろうか』 ● 挙手を促し、全体に共有させる
展 開 ⑥	9. 形式的モデルの構築に対する振り返り ○ 課題に個人で取り組み、ワークシートに記入する ○ 指名された数名は変容を発表する	○ 班、全体の交流を踏まえてもう一度、最も現象を絵で説明できている方法で描かせる ● 数名の変容を画像化しておく ○ 全体で数名の変容を確認する ● 発表者のワークシートをスクリーンに映す
展 開 ⑦	10. 授業全体に対する振り返り ○ ワークシートに絵を描き替えた理由と、この授業の中で難しいと思ったり悩んだりした場面とその理由を具体的に書く	

③評価(の観点と方法)

- ・ 2 種類（科学的モデルの認識調査・科学的モデルの使用調査）の紙面テスト

※事前事後で同一問題

④板書計画

どうして水の減り方が違うのだろうか 蒸発の仕方	
囲いなし	・ <u>たくさん蒸発した</u>
囲いあり	・ <u>ほとんど蒸発していない</u> ・ <u>少し蒸発している</u>
ホワイトボード	

⑤準備物

実験器具（100mL ビーカー-2 個，アクリルボックス-1 個），iPad-1 台，Macbook-1 台，パソコン-1 台，ホワイトボード-10 枚，ビデオカメラ-12 台

科学的に考えよう！

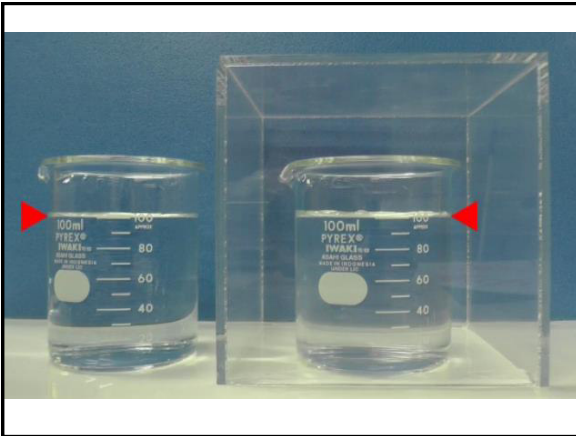


実験で使うもの

- ① ビーカー ② アクリルボックス

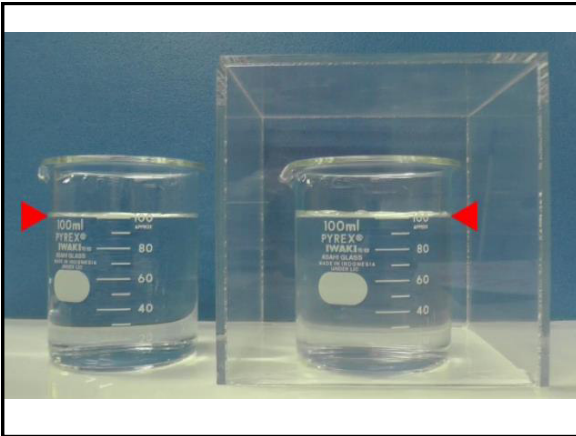
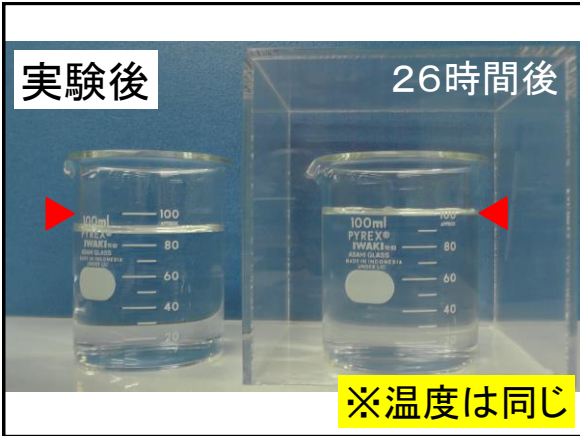


実験前

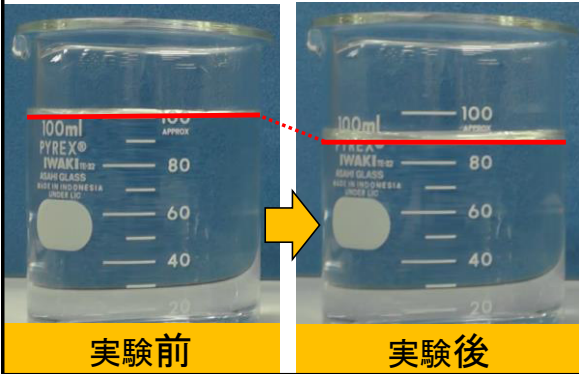


実験後

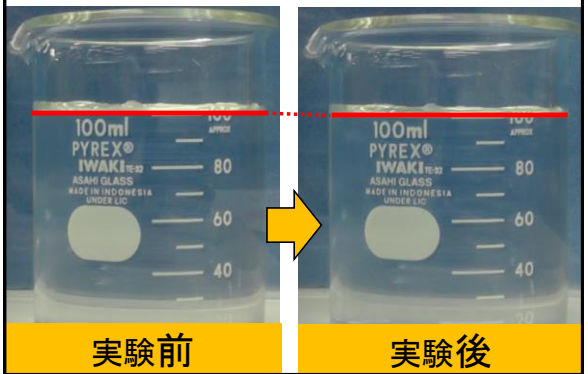
26時間後



囲いなし



囲いあり



どうして水の減り方が
違うのだろうか

※黒一色で描くこと
※絵を描く欄に、
言葉は書かないこと

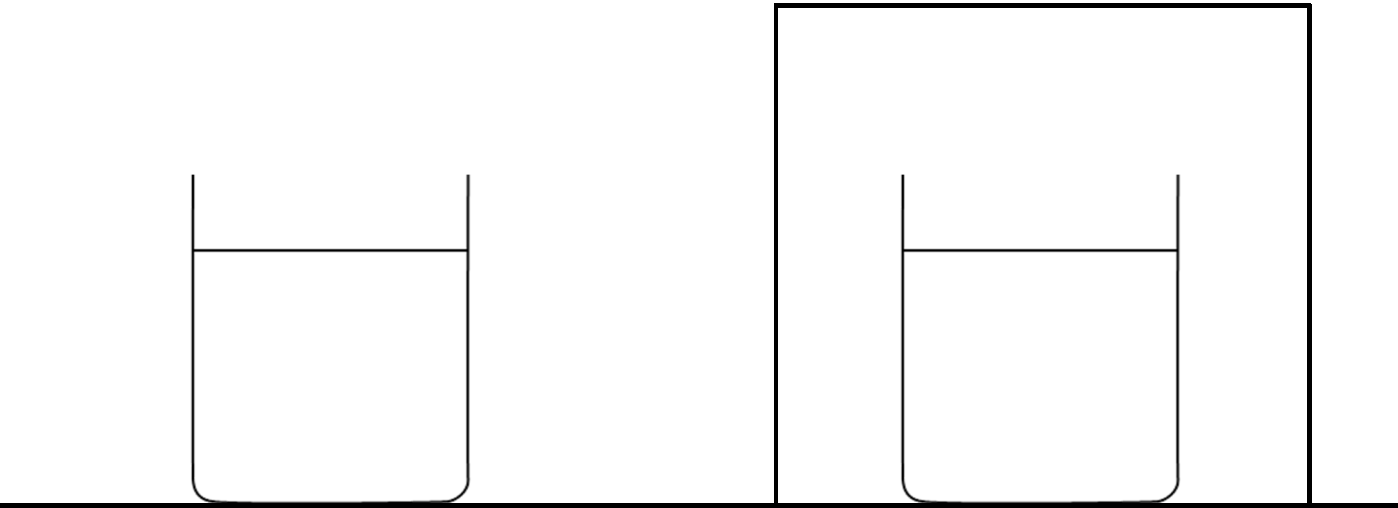
科学的に考えよう！

① 現象を観察した結果を書きましょう。

囲いなし	囲いあり

② どうして①のように結果が異なっていたのか，現象を絵と言葉で説明しましょう。

【絵】



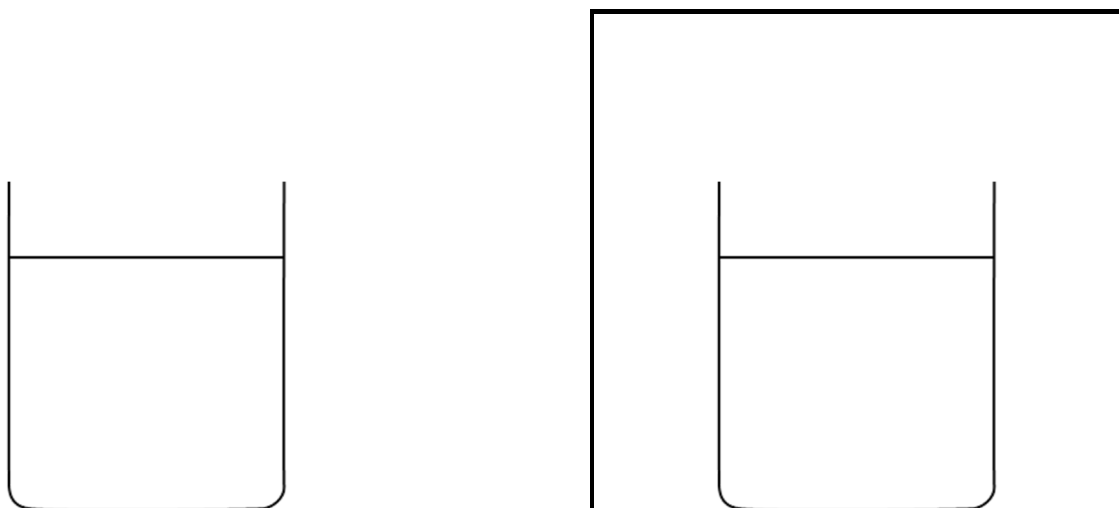
【絵の説明】

③ この現象を最も分かりやすく説明した絵を描いていたのはどの班だと思いますか。またどうしてそう思ったのか理由を書きましょう。

班	【理由】

④ 自分の班やクラスの考えを参考にして、もう一度この現象を絵と言葉で説明しましょう。

【絵】



【絵の説明】

⑤ どうしてその絵に描き変えたのか、理由を書きましょう。 ※最初に描いた絵と比べてみましょう。

【難しいと思ったこと】

【理由】

2 年 組 番 名前

◎ 発表をしている班が描いた絵の特徴をそれぞれかきましょう。

班	特徴
班	
班	
班	

班	
班	
班	
班	

科学的モデルを構築・活用する力を育成する理科授業の開発

教科教育専攻
理科教育専修
伊豆蔵 功己

指導教員 谷口 和成
指導教員 沖花 彰

索引語：モデル，構築，認識，粒子，中学校理科

1. はじめに

小学校の高学年から中学校にかけて、科学的に思考できる対象が、具体的なものから形式的なものになっていくといわれている。中学校学習指導要領において、科学的な見方や考え方として重要な位置づけにある粒子モデルは、ピアジェのいう形式的モデルの1つであり、その概念的理解は発達段階に依拠するため、難易度が高い。教科書では、以上のような粒子モデルを、生徒に与え、「使用する」ことに重きがおかれた展開が行われ、自ら科学的モデル（以下、モデル）を「構築する」過程を経験することがなく、現象を説明するのに便利な思考の道具であるというモデルの意義を見出せない可能性がある。実際、先行調査で、中学生がモデルの役割や性質を完全に理解していないこと¹⁾、また中高生の粒子概念が不完全であること²⁾が指摘されている。一方で、平島ら³⁾は、モデルの構築に重きをおいた授業実践を行い、不完全な粒子モデルながらも、その自発的な出現に成功している。しかし、それらは小学校理科「ものの溶け方」における単発的なはたらきかけとなっており、科学的モデルとしての粒子モデルの獲得には、継続的なはたらきかけが求められていた。

以上を踏まえて本研究では、中学校3年間を通したモデルを構築・活用する力を育成する理科授業を開発することとした。

2. 研究の方法

中学生のモデルを用いた思考の実態を把握するために、モデルの役割や性質に対してどのような認識をしているのかを確認することを目的とした「モデルの認識調査」と、自然現象に対してどのように思考するのか、特にその際のモデルの使用状況を確認することを目的とした「モデルの使用調査」をそれぞれ開発、実施した。それを踏まえて、モデルの構築を促す授業を中学校の各学年で考案し、授業実践を行う。授業後に実態調査をもう一度実施し、それらの結果及び、ワークシート、授業記録から授業の評価と改善を行い、中学校理科カリキュラムを開発する。

3. 実態調査の実施結果

「モデルの認識調査」の結果から、モデルの役割や性質を正しく認識できていないこと、また「モデルの使用調査」の結果から、大部分の生徒（71.3%）が現象を説明するのではなく、見たままの絵を描き、現象を説明するのに便利な思考の道具であるというモデルの意義を見出していない現状が明らかとなった。

4. 授業実践の実施

実態調査の結果を踏まえて、中学校1年生⁴⁾・2年生におけるモデルの構築を促す授業を開発し、授業実践を行った（表1）。本稿では、中学校2年生の授業を中心に述べる。

表1 授業実践の概要

	中学校1年生	中学校2年生
単元	物質の状態変化	大気中の水蒸気の変化
時期	平成27年10月27日 平成27年11月6日	平成28年10月17日 平成28年10月28日

4.1. 概要

「大気中の水蒸気の変化」の単元において、モデルの構築を促す授業（1コマ、50分）を開発し、本学附属中学校2年生4クラス（130人）を対象として、授業実践を行った。展開（表2）では、周りの空間の水蒸気量が飽和状態に達すると蒸発が止まる現象を観察し、その現象に対して「個人→班→全体」の順に思考し、絵を用いて説明する。その中で見たままの絵など、様々な表現方法と出会い、現象を説明するのに便利な思考の道具であるというモデルの意義を実感し、自分で構築したモデルを再構築することを目指している。

表2 授業展開

展開	
導入	● 現象を観察する ● 観察結果「囲いの有無によって蒸発の仕方が違う」を共有する
展開	● 個人で課題「現象を絵で説明する」に取り組む ● 班、さらに全体で討論しながら課題に取り組む ● もう一度、個人で課題に取り組み、考え方の変容を確認する

4.2. 結果と考察

ワークシートの回答から、授業を通して、「ある一定の空気が含むことのできる水蒸気の量に限

りがある」という飽和水蒸気量の考え方、また「○
○だから△△」という科学的な説明方法を見出し
ていることが明らかになった。具体的には、授業
前に見出していなかった生徒の大部分（それぞれ
57.3%, 84.0%）の生徒である。授業記録を分析す
ると、班討論や全体討論を通して、これらの考え
方や説明方法を見出している様子が確認できた。
たとえば、飽和水蒸気量の考え方を持っていない
生徒（A 君）と、その考え方を持っているものの、
用語を並べただけで、科学的な説明のできていな
い生徒（B 君）が存在する班討論では、B 君は他
者に、自分の説明方法では納得されない経験をし、
科学的な説明へと説明方法を変容させていた。ま
た、A 君は、その科学的な説明をした B 君の考え
に納得し、飽和水蒸気量の考え方を獲得していた。
以上のように、班討論を通して、自分の説明方法
の矛盾や限界、他者の考え方の有効性を見出し、
思考を変容させたといえる。

5. 2 年間を通して授業を行った結果

中学校 1 年生におけるモデルの構築を促す授業
を行う前と中学校 2 年生における授業を行った後
に実施した調査の結果を比較し、2 年間を通して
モデルの構築を促す授業を行い、モデルを用いた
思考にはたらきかけた効果を、評価した。

① モデルの認識調査の結果

各観点の得点の平均値に有意な差があるかを
検討するために、欠席や記入漏れによる欠損値の
ある生徒を除いた 99 人の回答について、平均値
の差の検定（対応のある t 検定）を行った（表 3）。

表 3 「モデルの認識調査」の結果

観点	平均値		t
	事前調査	事後調査	
【多重表現性】	2.66	2.74	1.878
【特徴の顕在化】	2.05	1.91	-1.904
【現象の説明】	2.73	2.78	1.456
【現象の推測】	2.51	2.73	4.046**
【暫定性】	2.77	2.87	2.252*

** $p < .01$ * $p < .05$

【多重表現性】: あらゆる角度から複合的に情報を表現する

【特徴の顕在化】: ある特徴をはっきりと示す

【現象の説明】: 現象を説明する

【現象の推測】: 現象を推測する

【暫定性】: 暫定的なものであり変わる可能性がある

【現象の推測】【暫定性】の 2 観点について有
意な得点の上昇が見られた（現象の推測：
 $t(99)=4.046, p<.01$, 暫定性: $t(99)=2.252, p<.05$ ）。
それぞれの正しい認識への変容を考察したとこ
ろ、目に見えない現象に対して、観察した事実を
基に、現象の仕組みを「推測」する活動の中で、
モデルは現象を推測するのに役立つと実感し、
【現象の推測】を見出したと考える。また、自分
のモデルの矛盾や限界を見出し、修正し、再構築

する経験、つまりモデルを変える経験をすること
によって、【暫定性】を見出したと考える。他の観
点の正しい認識への変容を促す指導法への示唆
を、論文では導出している。

② モデルの使用調査の結果

図 1 より、微視的視点のモデルを用いた思考（a-
1 群と a-2 群）が可能な生徒が、授業後に増加し
ている（28.7%→64.1%）ことが分かる。つまり、
本授業を通して、微視的視点のモデルを用いた思
考の獲得を促せたといえる。一方で、多くの現象
を統一的に説明することが可能である、完全な微
視的視点のモデルを用いた思考（a-1 群）が可能
な生徒はいまだに少数（11.7%）であり、モデルを
用いた思考に、継続的にはたらきかけていく必要
性が示唆された。

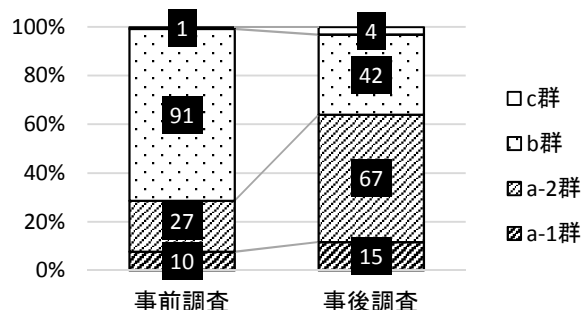


図 1 「モデルの使用調査」の結果

a-1 群：臭いとマスクを微視的に表現

a-2 群：臭いのみを微視的に表現

b 群：マスクを巨視的に表現/臭いを巨視的に表現

c 群：マスクを表現できない/臭いを表現できない

6. まとめ

2 年間を通してモデルの構築を促す授業を行い、
モデルを用いた思考へはたらきかけたことによ
って、大部分の生徒が微視的視点のモデルを用い
た思考が可能になった。一方で、モデルを用いた
思考に継続的にはたらきかけていく必要性も示
唆されたため、同様の授業を中学校 3 年生でも開
発した。

7. 展望

中学校 3 年生における同様の授業を行い、その
効果を検討する。そして、中学校 3 年間を通した
モデルを用いた思考にはたらきかける理科カリ
キュラムを作成する。

8. 参考文献

- 1) 例えば、峯崎正樹・久保田善彦・小林秀夫 (2011) 『理科教育学研究』 Vol.52, No.2, 123-130.
- 2) 例えば、雲財寛・松浦拓也 (2014) 『日本科学教育学会研究会研究報告』 Vol.29, No.3, 13-16.
- 3) 例えば、平島和雄・谷口和成 (2014) 『第 64 回日本理科教育学会発表論文集』, 382.
- 4) 伊豆蔵功己・中川竜洋・谷口和成 (2015) 『第 65 回日本理科教育学会発表論文集』, 333.