

中学校理科におけるモデルに基づく科学的探究の分析

— 粒子領域の授業実践から —

学習開発分野 (22822809) 川 越 一 法

本研究では、中学校理科の授業における図を介したやりとりの記録と、生徒が描いた図を照らし合わせて分析することで、生徒が図を描き直していく過程を明らかにするとともに、生徒同士のやりとりの限界に迫ることで、教師の役割を検討することを目的とした。その結果、生徒が図を描き直す過程においては言葉や他の図が足場となっていることが明らかになった。また教師には、生徒が描いた図の扱いと、実験のあり方を見直す必要があることが示唆された。

[キーワード] 振り返り, モデルベース学習, 粒子モデル, 科学的探究

1 はじめに

(1) 研究の主題

プレゼンテーション I では、中学校の授業における学習の振り返り活動について、生徒がそれをどのような場として使っているかを分析した。その結果、生徒は振り返りを、授業者が望んでいることを表現する場や、自分に対する学習評価を意識して活用していることが明らかになった。生徒にとって振り返り活動は、必ずしも自分の理解を表現し、次の学習に活かすための機会にはなっていないことが示唆された。

そこで焦点を当てたのは「モデルベース学習 (Model-based-learning)」(Gorbert, 2000) である。モデルは、生徒が自らの科学的認識を表現するツールである。そのため、生徒が表現したモデルは、その生徒自身のものの見え方や捉え方、現象に対する理解の状況が表出しているといえる。理科の授業においてモデルで表現させることで、生徒は自分自身の学習のためにそれを表現し、さらにより科学的に適切な認識になるようにモデルを変化させることができると考えた。しかしながら、実際の授業場面では、生徒はモデルの有用性を認識しないままにモデルで表すことを求められ、描かれたモデルは疑ったり修正したりする必要がないものとして捉えていた。その結果として、生徒は発表的にモデルを説明して批判的な意見を退けようとする。また聞いている側の生徒も提示された図を吟味しないまま、拍手によってその場を閉じようとすることさえある。一方で、授業実践を行う中で筆者は、自由度を与えて生徒に図を描かせ

るものの、表現した図を即興的に吟味しないまま、最終的に科学的に適切なモデルを生徒に押し付けようすることがある。授業において生徒の図をどのように扱うべきかが課題として挙げられる。また、モデル化は、実験の様子を図式化することとは異なる。そのため、生徒がモデルを通して科学的探究を行うための授業デザインとして、教師がどのような実験を用意すべきかを検討する必要がある。そこで本研究では、生徒が行っている図に基づいた科学的探究の様相を明らかにし、そこから実験のデザインを含めた教師の役割について検討することを目的とした。

(2) 先行研究の検討

文科省 (2018) では、探究の過程を踏まえた仮説検証型の授業が推奨されており、特に粒子領域では、モデルの活用の重要性が指摘されている。Harrison (2000) は、科学教育におけるモデルの有効性を指摘するとともに、授業でモデリングを行う際には、単一のモデルでは科学的現象を単純に示すことができないことから、可能なかぎり複数のモデルを使用することを推奨した。しかしながら理科の授業でモデリングが行われる際には、扱われる説明モデルは授業者から与えられる単一のものであり、学習者がそれについて検討したり修正を加えたりする場面が与えられない。そのため学習者が説明モデルの限界性や暫定性に気づき、モデルを変化させようとする機会はあまりない (雲財, 2014)。つまりモデルベース学習では、学習者が複数のモデルに触れる環境のもと、描いたモデルを吟味し修正しようとすることが重要である。

一方で、理科の授業において実験を含めた授業デザインについての提案はあるものの、生徒の図から実験のデザインについて検討されたものはあまりない。そこで本研究では、生徒がそれぞれの経験や理解に基づいて図を描くことができるような課題を設定し、描いた図についてやりとりする機会を意図的に設定することで、生徒が行っている図に基づいた科学的探究の様相を明らかにし、さらに実験のデザインを含めた教師の役割について検討することを試みた。

(3) 研究の方法

本研究では、主題に迫るために以下の課題を設定した。第一に、中学校1年理科の粒子領域の単元内で、自らの理解を図にして示す課題を複数の授業にわたって設定した。第二に、授業記録の中から描いた図についてやりとりしている場面を抽出し、図を介したやりとりがどのように展開しているのかを、生徒のノートやプリントと照らし合わせた。中学1年理科の粒子領域では、教科書で粒子モデルが採用されているため、粒子モデルを用いて説明する場面が多い。生徒にとっては小学校5年生以来の粒子モデルを扱う内容であるため、生徒の認識の中で粒子モデルが捉え直されていく場面を分析対象とした。また、サウナや水への飛び込みなど、日常との関連がある課題では、生徒それぞれが独自の図で表現していた。それらの独自の図が描き直されていく場面を分析対象とした。第三に、生徒のやりとりを分析した結果として考えられる実験のデザインと教師の役割を検討した。対象の事例は筆者の勤務校である山形県内A中学校第1学年における授業実践を対象とし、授業記録をもとに分析・検証を行っていく。生徒の名前はすべて仮名である。

2 認識をつなぐための図

(1) 自分なりの図を描く生徒

対象とした事例1は、「なぜ入水のしかたで痛さが変わるの？入水するとき、水はどんな状態？」という課題に対して、はじめに個人ごとに図で説明するように指示し、次に数名の図をスクリーンに提示して説明させ、その後互いの図に対して質問を求める流れで行った授業である。個人ごとに図で説明する場面でヨシキは、持っているペンを、何度も斜め下方向に向かって移動させている(8, 9, 11, 12)。「棒状にさ、こうやって入ったらさ、

事例1	
トウヤ	1 点が、一直線、一直線というかこの、一か所にしか、こう、入らないみたいな感じで、
ヨシキ	2 集中してるの
トウヤ	3 (横線を1本引く) こんな感じに入ると、すごい平らの
ヨシキ	4 もうばーんってなると
リン	5 ねると、なんかダメージがある
トウヤ	6 その、水に、その(ペンを垂直に振り下ろして) こういう細長い棒を入れるか、それともプラスチックの板を…(手のひらを振り下ろす)
リン	7 棒を横から(ペンを水平にして) こう入れるか、(ペンを垂直にして振り下ろす) こう
ヨシキ	8 こうやった方がいいんじゃない？(ペンを斜めに持って) 水面にさ、軽減して
ヨシキ	9 (ペンを斜めに持って、斜め下に向かって移動させる)
	10 (15秒)
ヨシキ	11 (ペンを斜めにして、ノートにゆっくり近づける)
ヨシキ	12 槍状にさ(ペンを斜め下に向かって動かす) こうやって入ったらさ、そのまま、その流れに沿ってびゅーんっていくじゃん
トウヤ	13 水の表面に穴あいてる感じだよ、穴、穴っていうか
トウヤ	14 表面に何かあるのに、何かを、何かを使って穴をあけるか、それともたたきつけて割るかあったら、あの、槍で割った方がいいよ
リン	15 布を針で刺す
トウヤ	16 手で、手でやるとかね
・・・全体共有の場面・・・	
T	17 トウヤさん
トウヤ	18 水を、その、剣山とか、とがっているモノに例えて
T	19 剣山ね、なるほど
トウヤ	20 あんな図みたいな感じで敷き詰められてるとして、腹からいったら、その3本とか2本とか、足とか斜に刺さっちゃうけど、でも手からいったらそのすき間をすり抜けられるかもしれないから、っていうイメージです
ミナ	21 (トウヤの説明を聞きながら、にやにやと笑っている)
T	22 リンさん、なにか補足ある？ない、大丈夫？
リン	23 まあ、そういうことです
T	24 ミナさん、今の説明どう感じた？
ミナ	25 えっと、トウヤさんが、もしかしらすり抜けられるかもしれないって言ったんですけど、あの、これすり抜けられない場合、ぶつうに死ぬなどと思って(笑)
リン	26 でもこれとえでしよ
ミナ	27 たとえでもだとしても、もしほんとに水が…
リン	28 痛みを感じるってことでしよ
ヒカリ	29 水と剣山は違うよねって話
リン	30 痛みを感じるってことです
T	31 ヨシキさん(発言促す)
ヨシキ	32 ええと、いいとえだと思っんですけど、それが剣山だからだと、なんか、水…(首をかき上げる)
	33 (10秒)
ヨシキ	34 (うなだれるように、下を向く)
T	35 おっけおっけ、じゃあ、次、
(2023年7月13日のフィールドノーツより)	

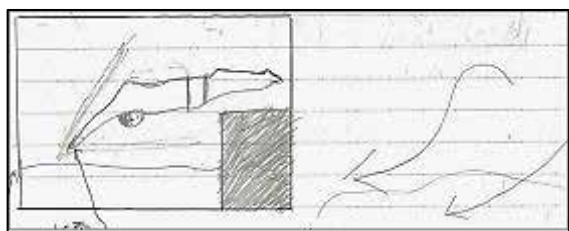


図1 ヨシキが描いた図

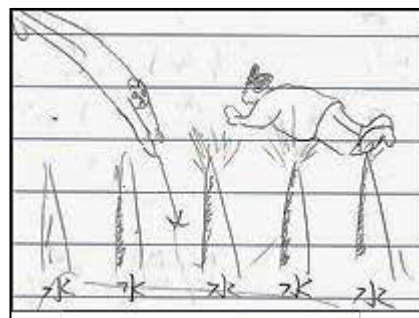


図2 リンが描いた図

そのまま、その流れに沿ってびゅーんっていく」(12)とあるようにヨシキは、ペンを人間の体に、水平に置いてあるノートを水面に見立て、入水する際の面積が小さいほど痛くないと考えていた。また、小さい面積で入水することで、人間の身体が水という物体をかき分けて進んでいくイメージをもっていることがわかる。次に全体共有の場面で筆者は、トウヤとリンが描いた図 2 を示し、これに対してトウヤに説明を求めた。彼らの図は、水を剣山などの鋭利なものに例えて、それらが入水した人間の体にぶつかることから痛みを感じることを表現した。筆者はその後、この図とトウヤの説明に対して、ヨシキに発言を求めた。ヨシキは、人間の体の状態と水をかき分けて進むことに着目した自らの図 1 とは全く異なる図 2 とトウヤの説明に対して、始めは「いいたとえだと思うんですけど」(32)と納得した意志をしめすものの、完全に賛同しているわけではない。「それが剣山だからだと、なんか、水」(32)と続く発言には、何かを指摘しようとして断念したことがわかる。

(2) 図の修正が起こらないとき

ヨシキが指摘を途中で断念した要因は 2 つある。1 つ目は、ヨシキ自身が、リンの図に対する違和感や疑問を言葉のみでは表現できなかったことである。ヨシキは人間の身体を、トウヤとリンは水を、それぞれ別のもので例えており、着目した対象が異なっている。全体共有の場面でこの違いや違和感を説明しようとするれば、可能なかぎり明確にその違いを表明する必要がある。しかしヨシキは、自らの考えを図にして表現しているものの、それをトウヤやリンらと共有しようとした場面では、ペンや身振りを使って表現し「こうやって」「びゅーんって」(12)と不明瞭な言葉を用いている。ヨシキは、自分の考えを図では表現できるが、言葉のみでは十分に共有できない状態であった。ところが筆者から発言を促された場面では、それらを言葉で表現することを暗に求められた(31)。そのため、図を指摘しようとした際に、違和感や指摘したい点を共有できる言葉を十分に準備できていないヨシキは、途中で発言を断念した。ここに、言葉の説明によって説明モデルを共有することの限界が示されている。2 つ目に、図の提供者であるリンの、自らの図に対する指摘への構えである。ヨシキが発言する直前に、リンはミナから図に対する指摘を受けている(25)。それに対

してリンは、「でもこれたとえでしょ」(26)「痛みを感じるってことでしょ」(28)と発言している。これはミナの指摘に対する拒否を表し、自らの図に対する修正を阻止している構えを示す。このときリンは、教師の課題に応えられたことに満足しており、自らの認識をこれ以上変えようとしていない。この意思を表明した直後のヨシキは、自分が感じた違和感を表明することが憚られ、発言を控えた。以上から事例 1 では、学習者が説明モデルを共有する際、言葉だけではその限界があることから、足場となる図が必要である。また、現象について図を表現した上で、それらをより科学的に適切なものに修正しようとする過程においては、学習者同士が互いに批判的に説明モデルを捉え、修正に開かれる状態にあることが重要である。

3 描き直す足場になる言葉

事例 1 では、図によって説明モデルを共有できる可能性について検討した。では図があれば学習者同士の理解を表す説明モデルが共有できるのだろうか。事例 2 は、エタノールの密度が、固体で最も大きく、次に液体、気体の順番で小さくなっていることを説明することを課題とした授業において、個人ごとに課題について図を使って説明する時間を設けた後、数名の生徒の描いた図をスクリーンに提示し、それぞれに対する説明を行わせた場面である。個人ごとに説明する場面でアイナは、固体が液体、気体になるにつれて体積が増加し、粒子同士の距離もそれに伴って広がっていく様子を表現した(図 3)。粒子の個数は全て 11 個で統一されており、粒子の大きさはほとんど等しい。図の下に書き加えられた説明文には「熱する



図 3 アイナがはじめに描いた図

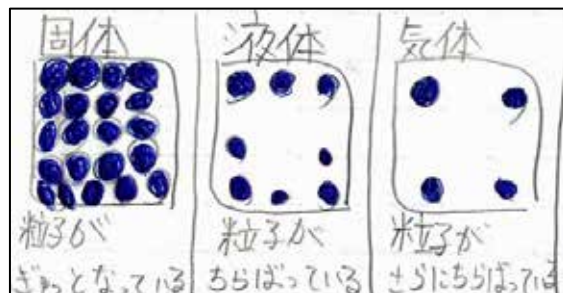


図 4 ヒロト描いた図

事例2-1

T 1 次にヒロトさん（ヒロトの図を提示する）

ヒロト 2 えっと、清水くんとほぼ同じけど、固体は液体よりも、粒子がぎゅっとなっている状態だから、

T 3 ぎゅっとなっている

ヒロト 4 なっている状態になっているから、その、液体よりも密度が大きい状態になっていると思って。んで気体は

ヒナノ 5 （アイナを見て）凝縮されてるやん

アイナ 6 （ヒナノを見る）

ヒロト 7 その、液体よりも密度が、じゃなくて粒子がさらにちらばっている、ちらばっているっていうか、

アイナ 8 （ヒナノを見て）なんで散らばってるの、体積同じなのに

ヒナノ 9 （アイナを見て）ほんとだよね（Tを見る）

ヒロト 10 なんかに散らばってる状態になっていると思ったから、思ったからです

アイナ 11 なんでだろうね、（手で円を描く）あれ同じなのよね

ヒナノ 12 ね

T 13 アイナさん、つながる？

アイナ 14 え

ヒナノ 15 言えよ

アイナ 16 えっと、なんか、固体と液体と気体でも、なんか粒子、粒子？

T 17 粒子

アイナ 18 粒子が散らばっているけど、なんで体積がとかも変わっていないのに、散らばってる、散らばるのかな、って感じ

T 19 この、この、この枠が変わってないのに、なんで散らばるの

ヒナノ 20 散らばるのかな

ヒナノ 21 そこ？

アイナ 22 そこ

T 23 （シオンの図を提示する）

ヒナノ 24 量が減ってる、なんで量減ってるの

アイナ 25 なんで

T 26 こたえになるだろうか、シオンさん、ちょっとしゃべって

ヒナノ 27 おおなんだ、

アイナ 28 あ、同じ図や、見てヒナノ（ノート見せる）

T 29 はいちょっと聞いてみよう

シオン 30 んっと、なんつうかな、えー、固体、固体の場合、なんていうか、一か所に、固まっているっていうか、そういう状態で、んで、液体に変わる

T 32 かわる

シオン 33 ときに、

T 34 うん、固体から液体にかわる

シオン 35 なんていうか、その、、、うん、（手を合わせて広げる）大きく、なるっていうか、で、さらに気体になる

T 36 気体になる、うん

シオン 37 ことによって、で、なんつうかな、また大きくなるっていうか、はい

アイナ 38 ふー

ヒナノ 39 んー、どういこうちやねーん

アイナ 40 なんで体積が変わる

ヒナノ 41 んじゃこれを拡大すると、あれになる、あの液の赤まる

アイナ 42 体積がでかくなるかちっちゃくなるかの問題じゃないの

ヒナノ 43 難しいもう、なんなんまじ

T 44 だれか、なんかつかめてきたってひと

ヒナノ 45 はい、つかめてきましたちょっとだけ

アイナ 46 どこが、はは

T 47 今のシオンさんの話を、自分の言葉で言ってくれる人いる？まあ完璧な理解じゃなくていいから、こういうことを言いたいんじゃないかなみたいなこと、いけそうな人いる

（2023年7月20日のフィールドノーツより）

事例2-2

T 96 一応確認するけど、変わらないのは質量、変わらないのは質量

ヒナノ 97 質量です、密度は変わります

アイナ 98 質量って何？

T 99 マナミさん、いつてみる。途中まででもいいし

マナミ 100 うんと、液体、液体の量から、えー、固体に変わると、体積が、体積が小さく

T 101 液体から固体

マナミ 102 小さくなって、なんか、範囲、体積が小さくなって、こーに、ん、体積が小さくなって、なんかスペースが小さくなるため、粒、なんか、が入る、入るすき間が狭くなって

T 103 もしかして、この、この黒まるのことってんの？この入るスペース、こっちが入るスペース

ヒナノ 104 そうそうそれ、私言いたかった

アイナ 105 凝縮されるってこと、意味わかったわ

ヒナノ 106 でしょー

マナミ 107 スペースがないので、そこに入るすき間が少なくなって、ぎゅうぎゅう詰めに

T 108 ぎゅうぎゅう詰め、

アイナ 109 そういうことね

マナミ 110 なので、密度が大きくなって、でも気体は、なんか液体よりも、広がる範囲が多いため、なんかスペースが増えるから、密度は、密度と密度のスペースが広がって、

T 111 スペースが広がる

マナミ 112 密度が小さくなるため、

アイナ 113 そういうことね

ヒナノ 114 だろ

T 115 どう、なんかつかめてきた？

アイナ 116 だからあれでしょ、

アイナ 117 （ノート見せて）ヒナノはこのこと逆たんってことでしょ、どんどん縮んで縮んで

ヒナノ 118 そゆことそゆこと

アイナ 119 意味わかったわ、凝縮されるってことでしょ

（2023年7月20日のフィールドノーツより）

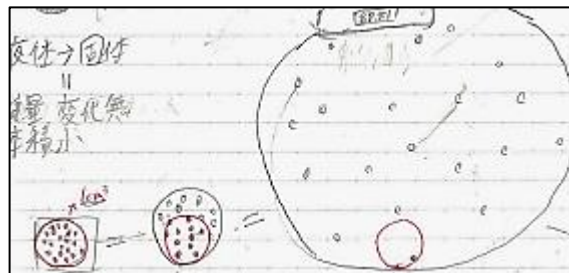


図5 シオンが描いた図

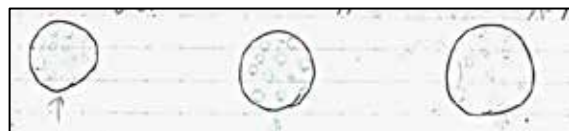


図6 アイナが描き直した図

と体積が大きくなるから、その分、密度が広がってどんどん小さくなる？」とあり、アイナ自身が体積変化とそれに伴う密度変化の関連を適切に認識できていないことがわかる。全体の場面では始めに、ヒロトが描いた図4に対して、アイナが疑問を述べている(16, 18)。ヒロトが描いた図4は、固体・液体・気体の密度を、一定の体積の中に入っている粒子の個数によって表現している。粒子の個数は、固体で20個、液体で8個、気体で4個である。これに対してアイナは「なんで体積がとかも変わっていないのに、散らばってる、散らばるのかな」(18)と、体積が変化していないにもか

かわらず、粒子の個数が液体や気体では減少し、粒子同士の距離が広がっていることを疑問として述べた。次に筆者は、シオンが描いた図5をスクリーンに提示し、シオンに説明を促した。シオンが描いた図は、固体が液体、気体になるにつれて体積が増加し、それに伴って粒子同士の距離が広がっていく様子を示している。粒子の個数は全て20個で統一され、それぞれの状態の中に、1cm³の体積を示す円が描かれている。円の中の粒子の個数は、固体で20個、液体で11個、気体で1個に変化している。ヒロトの図4が、「一定の体積当たりの粒子の個数のみ」で状態変化による密度変化の説明を試みているモデルであったのに対して、

シオンの図 5 は、「状態変化による体積変化の全体像と、固体の体積を基準とした一定の体積当たりの粒子の個数」を同時に 1 つのモデルとして描いている。ヒロトの図に納得できなかったアイナに対して、その間をつなぎ、理解を共有するために、筆者はシオンのモデルを提示した(23)。シオンは発言の中で、固体から液体に変わるときに「固体の場合、なんていうか、一か所に、集まっているっていうか」(31)「(手を合わせて広げる)大きく、なっているか、で、さらに気体になる」(35)と述べており、体積の変化を強調している。ところが、シオンの説明に対してアイナは、「なんで体積が変わる」(40)「体積がでかくなるかちっちゃくなるかの問題じゃないの」(42)と述べている。この場面で、シオンの図と説明は、アイナの認識とヒロトの認識の間をつなぐ図としては機能していない。次に筆者は、シオンの図を提示したまま、マナミにシオンの図を説明するように促した。マナミは「固体が変わると、体積が小さく」(100)「範囲、体積が小さくなって」「体積が小さくなって、なんかスペースが小さくなるため、粒、なんか、が入る、入るすき間が狭くなって」(102)と述べ、液体から固体に変化する際の、粒子が占めることができる体積の減少について説明している。マナミは、シオンが図の中で表現している 1 cm^3 の体積を示す円を、「範囲」「入るすき間」として言い換えている。これを聞いたアイナは、「凝縮されるってこと、意味わかったわ」(105)「そういうことね」(109)と、マナミの発言を通してシオンの図 5 が表現しようとしていることを理解した。その後、アイナがノートに描き直した図 6 では、一定の体積あたりに入っている粒子の個数が、固体で 15 個、液体で 11 個、気体で 9 個と減少している様子を示している。以上から事例 2 より、学習者同士の理解をつなぐような説明モデルを提示しただけでは、科学的な認識を共有する上での限界があること、またその限界を乗り越えるために、言葉による説明が足場として機能することが明らかとなった。

4 生徒の限界と教師の役割

(1) 生徒だけで認識をつなぐ限界

事例 2 では、図を用いた学習者同士の認識の共有の限界性と、図を説明する言葉が、その限界を乗り越える足場として機能する可能性について検討した。では、図とその説明の言葉を使用しても

認識の共有ができなかった場合に、教師にはどのような役割が求められるのだろうか。事例 3 は「80～100℃のサウナに入ってもやけどしないのはなぜか」という課題に対して、はじめに個人ごとに図で説明するように指示し、次に数名の図をスクリーンに提示して説明させ、その後再び個人ごとに互いの図に質問したり説明を求めたりした場面である。最初の個人ごとに説明する場面でカリンとカケルは、すでに説明する図をほとんど描き上げていた(図 7, 8)。カリンはカケルの席の近くに移動して「なんとなーくはわかった」(1)と発言し、その「なんとなーく」をさらに明確に理解するために、カケルのノートの記述から「くっついてる」と「充滿」のちがいは?」(3)と質問している。これに対してカケルは、粒子の状態の違いを説明することで応えようとするが、「わかんない」(9)と断念している。次に全体共有の場面で筆者は、カケルの図 7 を撮影してスクリーンに提示し、カケルに図の説明を求めた。カケルは、粒子の状態に加えて人のからだとの接触の仕方に言及して図の説明を試みた(24, 26)。次に筆者は、「ツッコミ」という表現で、図に対する疑問を出すように促し、挙手したカリンを指名した(33)。カリンの発言の後、筆者は「つつこんでください」という言葉で再び個人ごとの活動に戻し、互いの図に対する疑問を出し合うように指示した(39)。直後、カケルはカリンの近くに移動し、カリンは自分のプリントに新たな図を描き始めた(41, 42)。カリンが新たに図を描き直したのは、直前の場面で疑問を言語化できなかったからである。全体共有の場面の発話は、前半部分こそ流暢な語りをみせたが、後半になって突如「なんていうんだ」「動くからとか、うごい、その、いる場所で」(35)などと言い淀みが発生し、最終的には「(首をかしげながら座る)」(37)という行動に至った。この言い淀みには、疑問として指摘したかったものを言語化できずに苦戦している様子が表れている。カリンは、その後もカケルとのやり取りを継続して、互いの理解をつなぐために、新たな図を足場として、言語化できなかった部分を補おうとしていた。カリンは、カケルとのやり取りの中で、二度図を描き直しながら、図を通して互いの理解をつなげようとした。(42, 52)ところが、図を描き直して言葉で補いながらやりとりをしているものの、一向に 2 人の認識は共有されることなく、カケルは「うーん、わか

事例3	
カリン	1 (カケルに向かって) なんと一くはわかった
カケル	2 熱が充滿している
カリン	3 (カケルに対して) 「くつついてる」と「充滿」のちがいは?
カケル	4 熱は、「くつついてる」は粒子同士が、くつついて、お風呂入った瞬間にからだに全部ついて熱くて、で、「充滿してる」は、一部のところに集まっているから、
リク	5 え、充滿だったら、全部のところに広がってるんじゃないの
カケル	6 広がってるけど、くつついてるわけじゃないから。その、その部分にあるものしかからだに当たらない
リク	7 でも気体だから、俺ら今くつついてるでしょ気体に。でも俺ら気体にくつついてない?
カリン	8 くつついてはいるな
カケル	9 わかんない
リク	10 それ熱かったらどうなの?
コウ	11 リクの問いがくそむずい
T	12 いい、いい
ケイタ	13 リクの問いがまじでむずい
T	14 いいっこみだ
カリン	15 (自分の席に戻ってノートに書き込む) ・・・全体共有の場面・・・
T	23 そのままもう一人、カケルさんのやつ。はい、カケルさんお願いします
カケル	24 んと液体は、水の熱がくつついて、入った瞬間からだ全体に広がって、で、サウナとかは熱が、熱が広がって、人がいった一部一部のところにくつつくから
T	25 ふうん
カケル	26 液体よりは熱くない
T	27 ユウガさんとカケルさんに、何か突っ込みたい人
リク	28 (挙手)
T	29 おお、リクさん、ありがとうございます
リク	30 はい、ユウガさんのやつで、空気、(・・・) あるって言うんですけど、ふつうに空気に触れてるんじゃないかなと思います
T	31 触れているんじゃないか。そういうツッコミが大事。他につつこめ、ツッコみたい人?
カリン	32 (挙手)
T	33 カリンさん、どうぞ
カリン	34 カケルくんの方で、カケルくんの水の方のときは、触ったら、入ったら一瞬でからだがあつたまるみたいなこと言っていて、気体の方では、その行った場所であつたまるみたいなこと言ってたけど、
カリン	35 どちらも熱の感じ方は、なんていうんだろう、触れているところからあれなので、んってなんていうんだろう、その場所を動かすからとか、うごい、その、いる場所で、空気は感じているからって言うんですけど、水も空気も、なんていうんだ、言ってるけど、空気も水と同じで、いれば、なんていうんだ、一時的ではなくても感じてる
T	36 んー、んー
カリン	37 (首をかきながら座る)
T	38 あー、いいよ、そんなすぐに納得しなくていいからね。そんなにすぐ納得できないと思う
T	39 もう少し時間取ります、他人の考え・図につっこんでください、はいどうぞ、続けて ・・・互いの図に質問する場面・・・
カリン	41 (カケル、離席してカリン・リオの近くに行く)
カリン	42 (プリントに図を描きながら) 手、入れます。入れたら?
カケル	43 ははは
リオ	44 (カリンの絵を見て) きもいよ
カケル	45 入れたら、入れたら
カリン	46 入れたら、熱がこう来るってこと? 集まってくるってこと?
カケル	47 なんか、ぶよぶよボールの中に手入れたみたい
コナ	48 なにそれ
カケル	49 入れたら、手にくつつくじゃん、ぶよぶよボールが。くつつくっていうか触れるじゃん
カリン	50 触れる、入ったら
カケル	51 それで、熱くなった
カリン	52 (別の図を描きながら) 入れます、入れます。
カリン	53 くつついてるってこと? 周りにコーティングされてるみたいになるってこと?
リク	54 (近くによってくる)
コナ	55 あ、なんか濡れるってこと?
カケル	56 うーん、わかんない
リク	57 つっこまれたら、もういいやってなっちゃった?
カケル	58 いやちがう
T	59 カケルさん、なんでぶよぶよボールの例出したの?
カケル	60 え、その、ぶよぶよボールの例
カケル	61 そのぶよぶよボールの球を、粒子の、粒子みたいな、例えて、手入れたら、くつついて、くつつくっていうか触れるから、すぐ入れた瞬間
カケル	62 だから、だから熱くなる
カリン	63 だから、もしそれが目に見える粒子だとして
リオ	64 みえないじゃん
カリン	65 目に見えないものが、見えたときの、っていうことで (2023年8月30日のフィールドノートより)

んない」(56)と述べた。このように事例3では、図と言葉を用いたとしても、生徒同士だけでは互いの認識を共有することに限界があった。このような場合、教師に求められる役割とは何なのか。

(2) 図の比較と実験の位置づけ

この事例からの示唆は2点ある。1点目は、学習者が描いた図を比較するように授業を構成することである。最初の個人ごとの説明の場面でカリンが描いた図8は、人の腕に対して、気体の粒がぶつかって跳ね返る様子を表し、液体の場合はその粒の量を増加して同様に表現している。この図からカリンは、①物質が粒子の集まりであること、②熱はその粒子の当たり具合(個数、勢い)で表せること、③液体と気体の違いは粒子の密度の違いで表せることを認識していることがわかる。最初の個人ごとの説明の場面でカケルは、自分のノートに、サウナの室内と風呂の浴槽内を模した四角

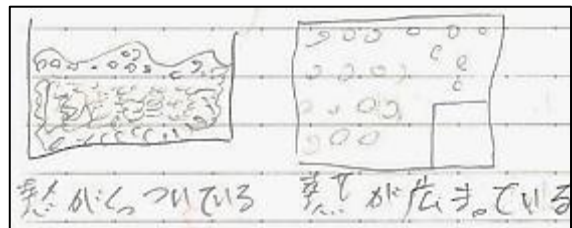


図7 カケルが描いた図

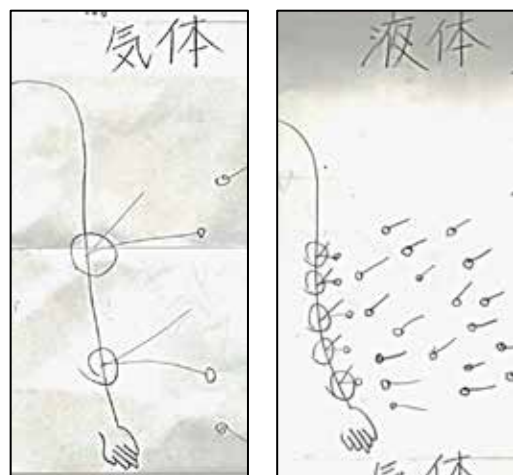


図8 カリンがはじめに描いた図



図9 52でカリンが描いた図

い空間を描き、その中に、粒子を使って液体と気体が存在している様子を表した(図 7)。そして液体を表す図の下に「熱がくっついている」、気体を表す図の下に「熱が広まっている」と記載していた。2 回目の個人ごとの説明の場面でカケルは、カリンとのやり取りの中で「ぷよぷよボールの中に手入れたみたい」(47)と、別の例えを使って説明を試みた。ぷよぷよボールについては、(61)で「粒子みたいな、例えて」と述べていることから、小さな粒状の物体が多数集まっている中に手を入れる様子を表現している。カケルは自分のノートへの記述から、あくまでも一貫して粒子モデルを使って説明しようとしていた。この図からカケルは、①物質が粒子の集まりであること、②粒子が付着することで熱を感じることを認識していることがわかる。これらの図を比較すると、カケルは、一貫して粒子モデルによって説明しているが、人の身体との関係は表現していない。また、粒子の密度に着目した図を描いているが粒子の運動については触れられていない。一方でカリンは、液体と気体の違いを粒子の密度で表し、熱を粒子の運動と捉えている点において、カケルよりも科学的に適切に現象を描いている。またカリンは、粒子が衝突している人の身体の手先を描いている。この点については、縮尺が全く異なる粒子と人の身体を一つの図にして描く行為が、日常的な視点と微視的な視点を混交しているように捉えることもできる。しかしながら、カリンはこれを意図的に一つの図にして表現していることから、日常的になじみのある認識と、微視的な科学の世界における認識をつないで表現する目的でこれを表し、課題の文脈との関係を維持しようとした。このように、図で説明させると学習者個人の認識の違いにより、表現のグラデーションが生まれる。これを比較する授業を構成し、それぞれの学習者の認識を擦り合わせることで、互いの理解を共有し図を修正していくことが期待できる。

2 点目に、科学的探究を支える実験の用意である。生徒同士のやりとりだけでは限界を迎えた科学的探究を支えるためには、どのような実験が必要だったのか。事例 3 の授業の課題は「80~100℃のサウナに入ってもやけどしないのはなぜか」であり、授業の中で実験は行わなかった。はじめにカケルは、風呂として、蓋のない箱の中に波打つ

水面を描き、水中を粒子が満たしている(図 7 左)。またサウナとして、四角い箱の中にベンチのような段差を描き、部屋の中には粒子が充満している(図 7 右)。これらの図の中には人の身体は描かれておらず、カケルが粒子の状態に焦点を当てていたことがわかる。カケルは、液体と気体の違いを説明するために、風呂とサウナという日常的な認識の中から、人の身体を描く必要のないものとして判断した。一方のカリンは、風呂とサウナを、人の身体(肩から手指まで)と粒子で表現している(図 8)。カリンは、風呂から水面と浴槽を、サウナから部屋として仕切る枠を、それぞれ描く必要のないものとして判断した。その後彼らは、図 9 でやりとりをし始めた。図 9 は、四角い箱の中に手を描き、それを模るようになめらかな線があるだけである。彼らのやりとりからはこれが液体に手を入れている様子であることがわかるため、彼らの認識の中ではもはや浴槽は不要であり、即ち風呂である必要性もないのである(52, 53)。彼らの探究はここで限界を迎えたが、彼らがさらに探究を継続するために求めているモノは、風呂やサウナでの実際の現象の観察ではない。それを抽象化したような、例えばビーカーと水さえあれば、彼らは“実際の現象を観察する実験”として、水に手を入れる行為を何度も繰り返して行い、探究を継続していただろう。このように、学習者が図を用いただけでは共有しきれないことを、実際の現象として何度も繰り返して観察することができるような実験を用意することが教師の役割の 1 つである。以上から事例 3 では、学習者同士だけでは理解を共有できなかった場合の教師の役割について、図を質的に比較する授業の構成にすること及び、日常的な認識と科学的認識をつなぐ実験を用意することの重要性が明らかになった。

5 おわりに

本研究では、モデルベース学習において、生徒が図に基づいて科学的探究を行う過程を明らかにするとともに、そこから考えられる教師の役割について検討することを目的とした。その結果、以下の 3 点が明らかになった。第一に、生徒が図を描き直すためには、足場が必要である。生徒が図を描き直すためには、他者の図に疑問を呈したり、自分の認識を疑ったりする必要がある。その際、言葉のみで生徒が互いの認識を共有するには限界

があった。そのため生徒同士の認識をつなぐ図が、足場として機能した。一方で、互いに図で表現し合う場に参加しようとする際には、今度は言葉が理解を共有するための足場として機能した。

第二に、教師は生徒の図に認識の個人差が表れることを認め、それを比較する授業を構成する必要がある。教師が提示した課題の質によって、生徒は自分なりの現象の認識を図にして描こうとした。生徒は、教師から提示された課題が既習内容を活用することを求めるものであれば、教師の期待に応えようとして既習内容や教科書を参考にして図を描こうとした。一方で、教師から提示された課題が、日常的な場面を想起するような場合には、生徒は直観や生活経験に頼った独自の図を描いた。その中にこそ生徒固有の認識が表れており、それを他の生徒と比較することで認識の相違が生じる。即ち、図に基づいた科学的探究では、教師は生徒が描く図の質的な差を認め、その比較によって認識を共有して行くことが重要である。

第三に、生徒がモデルを描くために教師は、科学的認識と生徒個人の日常的な認識をつなぐことを目的として実験のデザインをする必要がある。生徒は図についてやりとりをする中で、次第に日常的になじみのある文脈に設定された課題から離れ、抽象的で本質的な視点へと移行していた。それは、現象を図に描き表す際に、描く必要性の低い要素を排除し、抽象度を高めることによって、日常的な認識と科学的認識との間をつなごうとしていたからである。しかしながら図によってそれらの間をつなぐには限界があり、次の足場が必要になる。本研究ではその足場として、実験に可能性を見いだした。即ち日常的な認識と科学的認識とをつなぐ実験をデザインすることである。図に基づいた科学的探究の中では、日常的な認識から必然性の低い要素を排除することで科学的認識に近づけようとするともあれば、科学的認識を日常の中にもちこむことで理解しようとするともある。本質的な実験を何度も繰り返して観察することを通して、この歩み寄りの間をつなぐことができれば、生徒の科学的探究の支えになることだろう。また、これは現在の理科教育における実験の位置づけに対する示唆でもある。文科省(2018)は、探究の過程を踏まえた仮説検証型授業を推奨しており、実験は仮説を確かめるものとして位置付けられている。しかしながら本研究では、生徒

にとってなじみのある日常的な認識と、一般化された科学的認識とをつなぐ存在としての実験を位置付ける必要性が示唆された。

本研究で残った課題は以下の2点である。1点目は、生徒同士が互いの図でやりとりをする際に、相手の図に手を加えようとしない点である。本研究の事例において筆者は「つつこんでみて」などという表現で、互いの図に対して疑問を持つこと、さらにそれを伝えることを促したため、図に疑問をもつ生徒はいた。しかし、さらに相手の図に線を描き加えるようなやりとりを見取ることはできなかった。相手の認識が表現された図に手を加えたり、批判的に捉えて吟味したりすることに対して、生徒は心理的なハードルを感じているものと思われる。このハードルを乗り越える手立てについてさらに検討が必要である。2点目は、教師の役割について検討したものの、その実践が十分ではない点である。授業の構成と実験の位置づけという視点から教師の役割を検討し示唆を得たが、その実践を分析するには至らなかった。本研究で得た示唆について実践を重ね、科学的探究がどう展開していくのかを検証していく必要がある。

引用・参考文献

- Allan G. Harrison. et al. (2000) “A typology of school Science models”, *International Journal of Science Education*, 22(9), 1011-1026.
- Gorbert, J. D. et al. (2000) “Introduction to model-based teaching and learning in science education”, *International Journal of Science Education*, 22(9), 891-894.
- 文部科学省(2008)『中学校学習指導要領(平成29年度告示)解説 理科編』, 学校図書株式会社.
- 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, 第3巻, 第29号.

Analysis of model-based scientific inquiry in junior high school science: From class practice in the particle domain
Kazunori KAWAGOE