

理科における学習内容間の往還的な思考に着目した生徒の知識統合プロセスに関する研究

中学校理科「仕事とエネルギー」の実践を通して

教育デザインコース 理科専攻

中込 泰規

教育学研究科

加藤 圭司

1. 問題の所在と目的

新学習指導要領においては、習得した知識・技能の活用を中心とした思考力・判断力・表現力等の育成とともに、知識や概念を関連付ける思考を働かせ、科学的な見地から適切に事象をとらえられるような深い学びが求められている。これに関連して、Linn & Hsi (2000) は CSCL を活用して知識の関連付けを促し、汎用的な考え方の獲得を目指す知識統合を提唱している。この実践では、統合を目指す異なる内容について、それぞれ効果的な学習コンテンツを用意し適切に配置することによって、体系的な知識の獲得を目指している。特に、明確な到達目標の下でカリキュラムが作成されるため、協働学習で陥りがちなオープンエンドな学習展開を回避するなど、確実に知識獲得へと至る流れが保証されている。

ところで、この知識統合については、Linn (2006) において、以下の4つのステップを経るプロセスが規定されている。

- ① 学習者が現在持っている知識や考えを引き出す
- ② 新しい知識や考えが与えられる
- ③ 自他の知識や考えを、規準を持って自分で評価する
- ④ 自他の持っている知識や考えを分類、整理する

Linn らの実践では、上の4つが十分に機能するカリキュラムが構想され、体系的な知識の獲得が実現されている。一方で、教師の意図が強く表れたカリキュラムは、教材の導入や4つのステップをたどる学習展開の必然性について、学習者がとらえきれないままに展開されるケースが多く、学習者主体の問題解決になりにくい点が課題としてあげられる。よって、普段の理科授業実践において知識統合を実現していくためには、先の4つのステップを教師と学習者が創り出す追究の文脈や問題解決のストラテジーの中に位置づけ機能させることが必要である。

研究の方向性を上記のように見定めるとき、先行研究を見てみると、国内では、橘・藤村 (2010) がペアでの協働解決を通じて、数学の解法に焦点を置いたバリエーションの統合について検証している。さらに、小田切 (2013) は、橘・藤村の研究を集団に拡張し、知識統合のプロセスを詳細に明らかにしている。これらは共に同じ内容に関する統合であり、異なる内容や領域までは扱っておらず、極めて短期的な知識統合の検証に留まっている。理科においては、斎藤・片平 (2012) が化学結合について統合に必要な物理的要素と化学的要素を抽出し、それらを教師が提示する中で協働学習を通じて統合させ、概念の獲得を目指す提案がなされている。しかし、実践においてどのようなプロセスを経て統合が実現されたのかの具体的な記録はなく、教師の手立てやカリキュラムの特徴等についても、十分に明らかになっているとは言い難い。

以上から、本研究では、学習者が主体的に問題解決をすすめる学習過程を、先の4つのステップが反映された知識統合の過程として構想・実践する。そして、その過程においていかに知識統合が実現されるのかを、教師の手立てやカリキュラムの特徴等に及んで事例的に明らかにすることを旨とする。また、三宅 (2003) が明示した2つの統合の中で、特に「違う問題に対する理解の統合」に着目し、学習者が対象となる異なる領域や内容をどのように越えて結びつけ、汎用性の高い考えを獲得するかについて、明らかにすることを旨とするものである。

2. 知識統合をめざす学習プロセスを検証する視点

2.1. 知識統合の実際

先の知識統合の4つのステップ (Linn, 2006) を明らかにするに至った Linn & Hsi (2000) の授業実践について三宅 (2003) は分析を行っており、知識統合の種類

には以下の2種類があることを明らかにしている。すなわち、「違う問題に対する理解の統合」と「同じ問題に対する解・解法のバリエーションの統合」である。中込・加藤（2019）は、前者を知識統合の視点①、後者を視点②として、それらの段階性とともに明らかにした（図1）。本研究においては、特定の問題から異なる学習内容の問題へと、どのように越えながら学習を進めていくかに重点を置くとともに、熱と運動の内容を中心にエネルギーを捉えることを目指す意図から、知識統合の視点①について検証する。

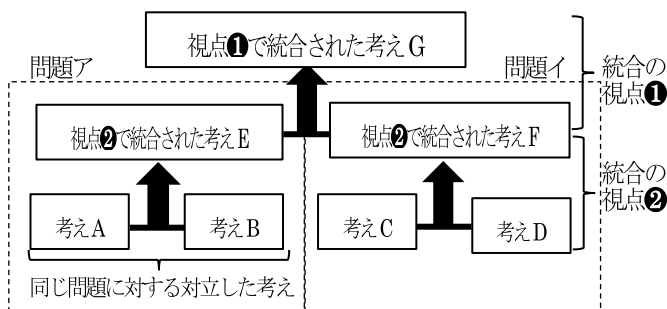


図1 2種類の知識統合とその段階的な関係

また、Linn & Hsi（2000）は、知識統合の具体を検証するために、エネルギーの学習内容を取り上げ、授業を試行している。この実践で、汎用性の高い考え方の獲得を目指した授業実践のカリキュラムを、図2に示す。

問い；「熱と温度は同じか」
 ア. 日常的な課題で熱と温度の意見を出す（1週）
 イ. 実験を通して熱と温度の仕組みを理解する（4週）
 ウ. 日常的な課題を再度解く（1週）

問い；「光はどこまで届くか」
 エ. 日常的な課題で光の伝播についての意見を出す（1週）
 オ. 光の伝播についての証拠を集める（4週）
 カ. 証拠を元に議論して光の伝播を理解する（2週）

問い；「熱と光の知識を統合する」

図2 Linn & Hsi (2000) で試行されたカリキュラム*1

Linn らの実践では、まず熱の伝わり方について「物によって伝わり方が異なる」ことを学習した。さらに、熱エネルギーを熱の流れとして捉え、温度との違いを大きさの異なる容器に入った同じ温度のものでも、大きい方が熱は多く流れていることから捉えている（イ）。

光の伝わり方では、「光はどこまでも届く」ことを学び（オ）、「途中で見えなくなるのは、光が吸収されているから」であることを結論付けている（カ）。この熱

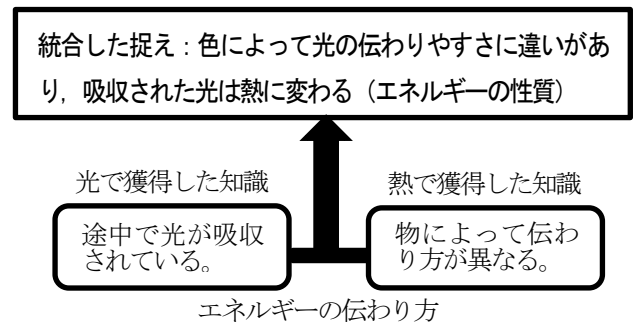


図3 知識統合につながっていく2つの知識とその関係
 と光の学習で獲得した知識を用いて、生徒は白いコップと黒いコップに同量の光を当て、その温度変化を比較する実験を行なっている。結論として、「コップの色によって光の伝わりやすさに違いがあり、吸収された光は熱に変わる」とした。これらの一連の流れをまとめると、図3のようになる。

光と熱で獲得した知識は、「エネルギーの伝わり方」という共通した枠組みでまとめられ、エネルギーの性質の獲得につながっている。図2のカリキュラムでは、先にあげた知識統合の4つのステップが効果的に行われるように計画されている。また、異なる内容間に共通した性質を見出すことができる配置となっており、知識統合を促す足場かけの役割を果たすものとなっている（Linn, 2000）。

これに対し、学習者の問題解決を中心とした場合、自らが知識統合の4つのステップにそくして、異なる内容間から共通点や差異点を見つけ出すこととなる。したがって、多様なプロセスをたどりながら、学習者が創りあげていく知識や考え方を教師と見直し、4つのステップに対応して学習を進めていく。以上から、学習者の問題解決を中心とした学習活動の中で、学習者が知識統合の4つのプロセスをどのように経て、異なる内容間の共通性を見出していか。また、その過程において内容間をどのように辿りながら知識統合へと至るのかを検証する視点とする。

2.2. 知識統合を通じて獲得を目指すエネルギーの捉え

貫井（1980）は、教員養成課程の学生に対してエネルギー観の調査を行っており、エネルギーに関わる用語は理解されているものの、それらの関連性が不十分であり、日常的な使い方である動力源や燃料といった、本来のエネルギーの捉えには至っていない結果を示している。理科学習において取り扱うエネルギーの共通性（定義や概念）をふまえると、学習指導要領に記述されている以下

理科における学習内容間の往還的な思考に着目した生徒の知識統合プロセスに関する研究

の3つのエネルギーの捉え方が望ましいと言える。

本研究では、知識統合を通じて以下の3つの捉えに至ることを目指す。

- ・エネルギーとは、対象の状態を変化させる可能性（能力）のことである。
- ・エネルギーの各形態は互いに変換し、その総量は保存する。
- ・エネルギーは様々な形で蓄えられ、利用することができる。

3. 調査の概要

3.1. 調査時期ならびに対象

時期：2019年6月～7月

対象：神奈川県公立中学校3年生

3.2. 学習単元と実施したカリキュラム

単元：仕事とエネルギー

実施したカリキュラム：カリキュラムはある程度の骨子を用意し、生徒の問題提起を中心として学習内容を決定した。学習事後に作成した、生徒が経験したカリキュラ

ムを、学習の問いに至る生徒の提案と教師の手立てを中心として表1に示す。

カリキュラムの具体：第1時には、診断的評価として生徒のエネルギーの捉えを明確化することを目的に、イメージマップの作成を行なった。図4に生徒Aのエネルギーについてのイメージマップと、エネルギーとは何かという問いの記述内容を示す。エネルギーに関する要素（例えば、電気や運動、光合成など）は見られるものの、貫井の指摘通り、要素間が関連付いておらず、文章の記述からもエネルギーを日常で使用するものというレベルの捉えとなっていることがわかる。そのため、続く第2時、第3時では、イメージマップに記述が多かった「カロリー」を教師が取り上げた。カロリーは2年次に熱量で学習済みであること、生徒Aのようにイメージマップで記述が見られない場合においても、エネルギーの捉えを「生きるために必要なもの」としていることから、「生きるために必要なもの＝栄養＝カロリー」として考えを取り入れやすいと判断した。生徒の実験計画では、栄養成分表示に示されたカロリーの数値が、実際にエネルギーと

表1 実施したカリキュラム

時間	学習内容へ至る生徒の提案ならびに教師の手立て	分類	活動の内容
1	学習前に生徒自身がエネルギーに対してどのようなイメージを持っているかを意識してもらうため、理科の内容に限らず、思い浮かぶものを自由に書かせた。		イメージマップの作成を通して、自分のエネルギーについての捉えを明確にする。
2 ・ 3	イメージマップにカロリーの表記が多く、また2年次に熱量を学習していることから、熱の視点からエネルギーを捉えることとした。生徒は、食物のカロリーはkcal表示であり、水1gを何万°Cも上昇させることにイメージを持たず、実際に確かめてみることを提案した。	熱	グループで、栄養成分表示に示されるカロリーが、どの程度のものなのか確かめられる実験計画を立て、結果を予想し、検証する。
4 ・ 5	熱の実験で上昇した水温は、予想よりもはるかに低く、生徒はエネルギーとして、熱のみが伝わりにくいという性質が成立するか検証するために、他のエネルギーの伝わり方と比較する必要性を提案した。教師は、イメージマップに熱と同等数記述されていた「運動」の内容から、生徒にアプローチした。	運動	熱の実験結果と比較するための実験方法を教師と計画し、実験の予想や結果を熱の実験結果と比較する。
6 ・ 7	熱と運動の実験結果から共通点や差異点があることに気づき、それらを整理することでエネルギーの性質を捉えることが出来ると提案した。	統合	熱と運動の実験から、エネルギーの性質について個人で考え、他者と共有し、妥当な考えにまとめていく。
8	生徒は、失ったエネルギーの行方に視点を向け、摩擦や空気抵抗によって失われたエネルギーは、どこへ行ってしまったのか疑問に持ち、問いとして生成した。	運動	エネルギーが減少する理由を、エネルギー変換の視点から考え、グループで考えをまとめる。
9	熱についても運動と同様にエネルギーの姿が変わりながら伝わっていると考えられ、失ったエネルギーの行方を考える問いを生成した。	熱	運動の実験での考えと比較しながら、熱のエネルギーの伝わり方について、エネルギー変換の視点から考える。
10	生徒は、エネルギー変換の視点から、運動の実験では、最終的には位置エネルギーは0になっていることから、障害物を動かすエネルギーは違うものになっているはずであると気づき、エネルギーの伝わり方を再検討することを提案した。	熱運動	エネルギーを失う時のみに注目するのではなく、実験全体に視野を広げて、エネルギー変換を考える。
11 ・ 12	生徒が所持する知識量では、エネルギーについて思考する範囲に限界が生じてきたため、教師から位置エネルギーと熱エネルギー以外に、どのようなエネルギーがあるか考える問いを与えた。その後、生徒はそれらのエネルギーが、どのように伝わるか調べることで、エネルギーの性質をより妥当に捉えることができるとし、教師から自由思想的に行う実験を提案した。	その他	熱と運動の実験以外についてのエネルギー変換について実験で確かめ、エネルギーの共通した特徴を考える。
13 ・ 14	ここまでの学習内容を振り返り、まとめることで、エネルギーの共通した性質を見つけ出せることとした。	統合	第1時からの内容を見直し、熱と運動の内容を中心として、実験結果やまとめた考え方を比較し、個人でエネルギーの性質をまとめ、他者と共有する。

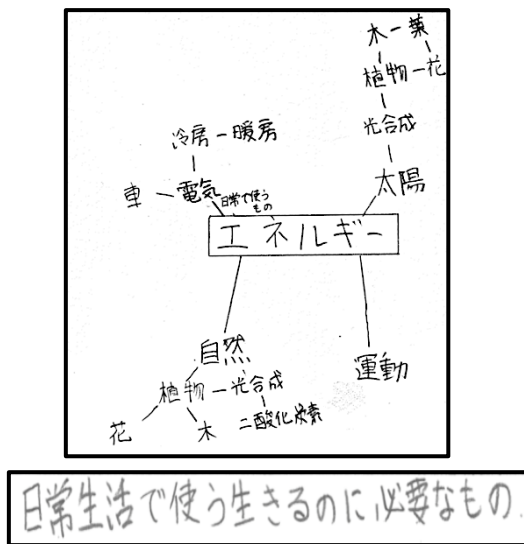


図4 学習前における生徒Aのエネルギーについての捉え

して使用される場合、どれほどの効果が現れるのかについて検証することとなった。その際、ナッツ1粒を燃焼させ、実際に水温がどれだけ変化したかをエネルギーの効果とし、調べることにした。

第4時、第5時では、生徒の予想通りに熱が理論値よりも伝わらなかったが、予想よりもはるかに伝わらなかったことを受け、熱独自の特徴であるのか検証するため、熱と他のエネルギーについて比較を行うことが提案された。取り扱う実験については、イメージマップで熱と同等数記述が見られた「運動」についての実験を、教師から提案した。運動は、エネルギーの内容に入る直前まで学習していたことから、生徒にとって既習内容を活用しやすいという利点もあった。

第6時、第7時では、熱と運動の2つの実験結果をもとに、まとめた考えから共通点や差異点を整理することによって、エネルギーの性質を捉えることができると生徒は考えた。個人の考えを他者と共有する活動を重視し、他者の考えを取り込む際に、知識統合のステップ③に該当する規準を持って、他者の考えを評価しているかに焦点を当てた。

第8時は、空気抵抗や摩擦によって失われたエネルギーの行方について疑問が出され、エネルギー変換について検討する学習活動を中心に展開された。第9時ならびに第10時において、生徒が所持している限られたエネルギー概念の中で、抽象的なエネルギー変換について思考できる範囲には限界があると判断し、第11時、第12時では、教師から日常の中でのどのようなエネルギーがあるか考える問いを与え、様々なエネルギーに視点を向かせた。その後、学習したエネルギーの種類について、熱

と運動の実験と同様に、エネルギーの伝わり方について検証することで、よりエネルギーの捉えを妥当なものにするための問いの提案につながっている。

第13時、第14時では、第1時からの学習内容を見直し、熱と運動の内容を中心に獲得した知識の整理を行い、共通点からエネルギーの性質を見出そうとした。第6時、第7時の統合とは異なり、知識統合のステップ④に該当する知識を分類、整理することに重点を置いた。

3.3. 分析方法

個人のワークシートの記述、グループワークでのホワイトボードへの記述、発話プロトコルから生徒の思考プロセスを分析した。

4. 結果

第2時、第3時の食べ物が持つカロリーの量が、エネルギーとしてどれほどの効果を示すのか実際に確かめる実験において、生徒は図5のように実験計画と予想を行っている。この実験の予想として、ナッツ1粒が9kcalであることから、理論値では水100gを90°C上昇させるのに対し、70°Cの上昇に留まるとしている。その理由は、熱が水よりも実験器具の金属に伝わることや、熱が空气中に逃げることで、燃えること自体にエネルギーを使っているとしている。実験の結果、理論値よりも伝わらないということは予想通りであったが、予想した値よりもはるかに水温は上昇しなかった。この結果から、熱以外のエネルギーの伝わり方を調べる必要があるという問題提起につながった。

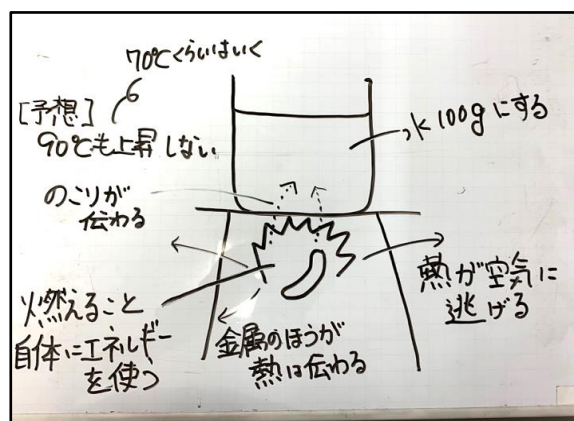


図5 カロリーについて調べる実験計画と予想

第4時、第5時における実験の予想について協議を行った際の発話プロトコルを表2に、協議後のグループのまとめを図6に示す。まず、熱の実験結果と同様に、理論値よりもエネルギーは伝わらないことをベースとし

表2 運動の実験の予想場面における発話プロトコル

C1	まあ、摩擦がかかるよね。
B1	あと、空気抵抗も追加して。
A1	でもさ、球が重いと摩擦とかに勝っちゃうんじゃないの？
B2	たしかに、重い方が速くなる。
C2	え。そうなの？
D1	重いと加速するから、その分はよくなるじゃん。
A2	加速する分、エネルギー増えるんじゃないの？だから速くなる。
D2	重力が大きいからね。
C3	重力大きいからか、そっか。でも、重いとその分動きにくくない？
B3	質量で押していく力が、抵抗で押される力よりも強くなるんよ。
A3	熱は周りに逃げられるだけだけど、この場合はエネルギーを発電みたいな感じで増やせるんじゃないの？

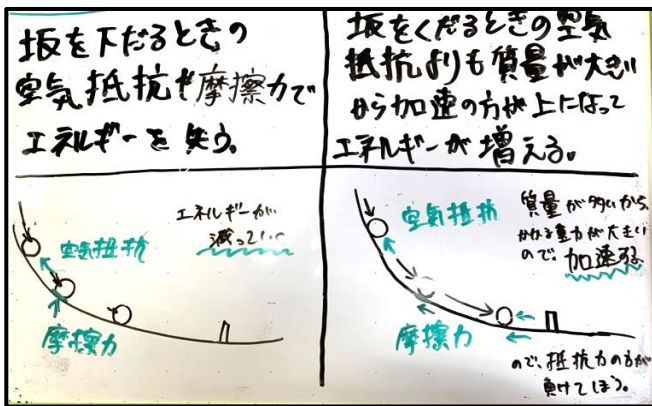


図6 協議後のグループの考え

て対話が行われており、C1とB1から摩擦と空気抵抗について提案されている。しかし、A1によって転がす球の質量の違いで、摩擦力や空気抵抗から受ける影響は異なるという考えが提示された。ここで、生徒Cを除く生徒A,B,Dの3人は球の質量が大きくなるほど速くなるという誤概念を持っていることがわかる。協議後のまとめでは、図6のように球の質量が小さい時(左側の記述)と球の質量が大きい時(右側の記述)に分けてまとめられている。考え方の基本は、熱の実験と同様にエネルギーがうまく伝わらないという視点から始まっているが、条件によっては、むしろエネルギーが増大することがあり、熱の伝わり方とは異なるとしている。実験の結果、どの球においても理論値より障害物は動かないという結果から、自らの予想を更に検証するため、球の質量によって坂を転がる速さが異なるのかを調べた。その結果もふまえて、球が持つエネルギーの伝わり方を図7のようにまとめている。質量の大きさによって速さが異なるという予想段階の考えを、同じ高さの場合、速さは変数でなく、球が持つエネルギーは転がし始める高さや質量に関係が

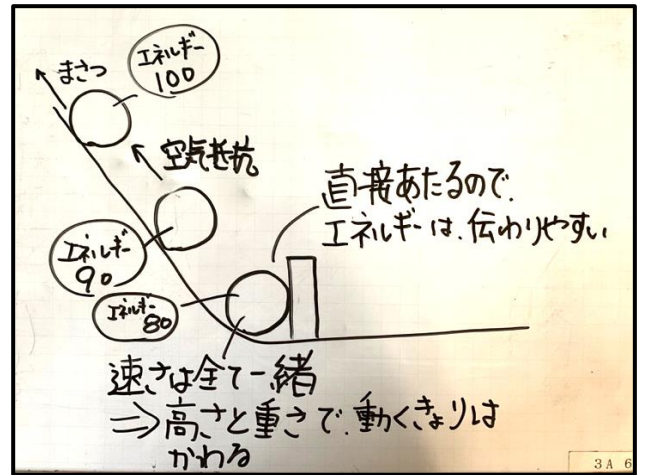


図7 球が持つエネルギーの伝わり方のまとめ

あると変容している。また、理論値よりも結果の値が小さくなることは熱の実験と共通していたが、球を転がす実験の方がその差は小さかったことに注目し、球と障害物は直接衝突するため、間接的に伝わっていく熱と比べて、エネルギーは伝わりやすいとしている。

第6時、第7時における生徒Aのワークシートへの記述を図8に、生徒Aの考えを共有する場面の発話プロト

つまり、エネルギーとは・・・

あなたの考え:	伝わるものと伝わらないものがあり、物質の状態を変えるもの。
友達への考え:	伝わり方が異なる。摩擦ほどに弱い。全て伝わり、伝わりなからたりする。物質の状態を変える。
最終的な自分の考え:	伝わるものと伝わらないものがあり、伝わり方が異なる。物質の状態を変えるもの。
友達への考えを取り入れた理由または取り入れなかった理由:	位置エネルギーと熱エネルギーの共通点をわけていたから。

図8 生徒Aの実験後におけるエネルギーの捉え

表3 生徒Aの考えを共有する場面の発話プロトコル

A1	まず、熱と位置エネルギーで共通してるのは、全て伝わらなかったことで、熱はあまり伝わらなくて、球の方は結構伝わったから、伝わるものと伝わらないものがあると思います。
E1	それって、伝わりやすさが違うってこと？
F1	伝わるものは何で、伝わらないものは何なの？
A2	水は伝わらないけど、金属は伝わる。
F2	伝わらないんじゃないかって、伝わりにくいんでしょ？
A3	あ、熱は間接的で伝わりにくかったけど、位置エネルギーは直接だから伝わりやすいか。そっか。そっか。でも、伝わらないものもあると思うんだけど。まあ、いいか。
E2	結局、伝わり方が違うってことでしょ？で、物質の状態を変えるっていうのは？
F3	あ、それ私も書いている。熱は水温上げてるじゃん。で、球は物体動かしているから。
E3	え、でも、状態が変わるってどういうこと？水は水のままじゃん。
A4	でも、冷たい状態から熱い状態じゃん。物体も止まっている状態から動いている状態。だから、熱と球の共通点で言えるんじゃない？

理科における学習内容間の往還的な思考に着目した生徒の知識統合プロセスに関する研究

コルを表3に示す。図8から、エネルギーの性質について、「伝わるものと伝わらないもの」と記述しており、伝わりやすさや伝わりにくさという視点は持っていない。そのことに関して、E1とF1から最初に問われ、A2で熱の実験を想起しながら水と金属の伝わり方に関して説明するものの、F2の指摘によって、熱の実験と運動の実験での対象物へのエネルギーの伝わり方の違いに視点を向け直している。また、物質の状態を変えるという自分の考えを問われた際には、見かけ上の状態の変化はないとするE3に対して、A4で熱の実験では水が冷たい状態から熱い状態になったと外見でなく内実としての状態を強調し、運動の実験の結果にも関連付けて説明している。協議後は、自らの考えに「伝わり方が異なる」を付け加え、その理由を位置エネルギーと熱エネルギーの共通点を書いていたからとしている(図8)。

第8時における、運動の実験に関するエネルギー変換について生徒が考察したものを図9に示す。一方、第9時における熱の実験についての検討は、空气中に逃げるものや金属に伝わるものは熱エネルギーのままで、熱は姿を変えることなく存在していると考察した。第10時における、実験全体にまで視点を広げたエネルギー変換について、グループでまとめたものを図10に示す。ここでも、運動の実験については、球が転がることで位置エネルギーが減少する一方、速さが増すことから「速さのエネルギー」に変換されると考察しているのに対し、熱は第2時の予想段階(図5)と、ほぼ変化はなかった。

接地面で摩擦を起こして熱エネルギーに変化するから。

図9 運動の実験におけるエネルギーの減少についての考え

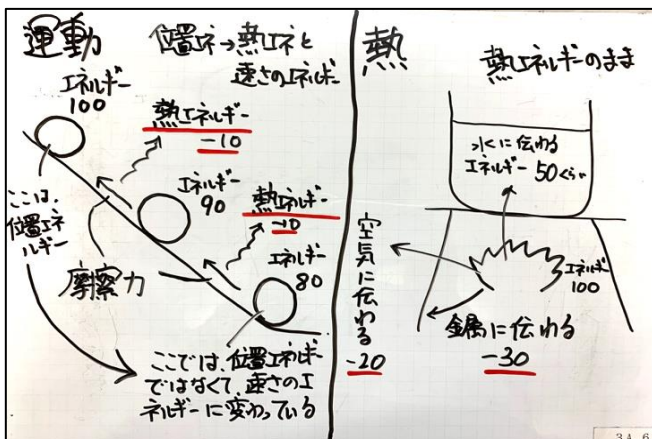


図10 エネルギーの行方についての考察

第11時、第12時に、表4の実験を行い生徒は図11のように振り返りを行なっている。生徒は実験を通して、

エネルギーは必ず姿を変えること、変わることで求めている種類のエネルギーが失われる機会となり、効率が良くないとまとめている。この知識を獲得することにより、図10の熱の実験についてまとめた考え方が矛盾することから、熱の実験についての考察を訂正する必要が生じた。これに関して、生徒は表4の実験2における結果と、熱の実験のエネルギーの伝わり方に、共通した特徴があることを見出している。その際の発話プロトコルを表5に示す。電球からは、光と熱が同時に出るという結果を、

表4 第11時に実施したエネルギー変換の実験内容

実験1	電子オルゴールのスピーカー部分をLEDに変え、出力すると光るLEDを、スピーカーに接続した光電池に当てる。	光エネルギーから音エネルギー
実験2	手回し発電機と豆電球を接続し、手回し発電機を回す。抵抗器にも接続して、同様に行う。	運動エネルギーから光エネルギー、熱エネルギー
実験3	ニュートンのゆりかごを用いて、ふりこの実験を行う。	位置エネルギーから運動エネルギー
実験4	クエン酸と炭酸水素ナトリウムを混ぜ、水を加える。	熱エネルギーから化学エネルギー
実験5	弾性ボールと非弾性ボールを用いて、同じ高さから落とす。	位置エネルギーから運動エネルギー、熱エネルギー
実験6	音叉を叩いて、水を入れてある水槽に音叉を入れる。	音エネルギーから運動エネルギー

今日、授業でわかったことは何ですか。どんなやり方でも、途中で他のエネルギーが発生するため、100%効率の良いものは無いのだと知ることができた。

疑問に思ったことや、考えたことがあれば書いてください。100%により近い効率の良いエネルギーを作る方法を知りたいと熱した。

図11 生徒Aの実験終了後の振り返りでの記述

表5 実験2での生徒Aのグループの発話プロトコル

B1	光ったのと、熱が出たのと。
A1	じゃ、光エネルギーと熱エネルギーね。
B2	抵抗器かなり熱い。
D1	結構、わたし回したよ。すごい疲れる。
B3	豆電球って、抵抗としても使われるよね、確か。
D2	抵抗使ってない時とかはね。
B4	電球が熱くなるのって、そういうこと？
C1	どういうこと？
B5	抵抗熱いでしょ、豆電球も抵抗として扱われることあるから、熱出てるはず。
A2	光と熱が一緒にか。T先生の水槽を電球で温めるやつと同じじゃん。
C2	あれって光で照らしてるんじゃないかって、水槽温めてるの？
A3	て、言ってたよ。
D3	じゃあさ、基本的に熱と光は一緒に出るってこと？
B6	多分。
A4	それって、ナッツの考察に使えるじゃん。光出てる分失うっていう。姿変わるっていう性質にあてはまるし。
D4	そう。そう思った。

熱の実験と関連付けて、ナッツが燃焼している時も光と熱が同時に出ており、水温の上昇は予想通りにならないという結論へたどり着いている。

第13時、第14時における生徒がまとめた最終的なエネルギーの捉えについて図12に示す。生徒は熱の実験と運動の実験について、第1時からの内容を振り返り、共通した性質を見出すための事象や考え方を分類、整理している。その結果、エネルギーの性質について汎用性の高い捉えに至っていることがわかる。

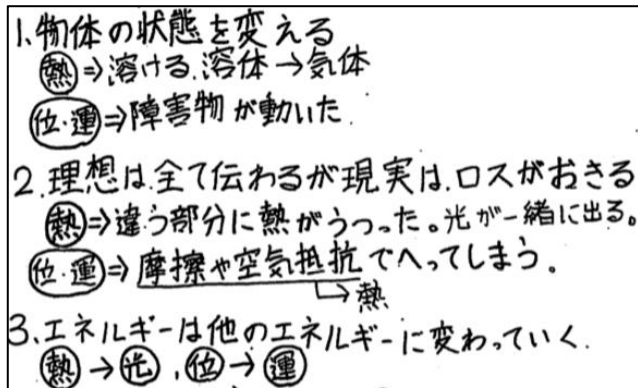


図12 第13時における生徒Aのエネルギーの捉え

5. 考察

表1のカリキュラム時系列に、生徒Aの学習活動を中心にまとめたものを図13(第2時~第7時)と図14(第8時~第14時)に示す。

5.1. 知識統合における4つのステップを通じて、熱と運動のエネルギーの共通性はいかに見出されたのか

知識統合の4つのステップにおける①は、本実践では実験の予想や考察の場面に該当する。生徒Aは、熱の実験ならびに運動の実験において、根拠を明確にして予想を立て、考えを表出していた。自らの知識や考えを引き出す際に、他者との対話は有効である。表2から、生徒Aは質量が大きいと摩擦に勝つと発言しているが、それに関して、他者から様々な視点を与えられる事で、考えが精緻化されていった。誤った考えではあるものの、実験において検証すべき重要な考えとして存在していた。つまり、①のステップは自らの考えを表出するだけでなく、学習の方向性を決定付ける機能も併せ持つと言える。ステップ②は、本実践では実験結果から自らの考え方に対する新たな科学的知識が与えられた。よりマイクロな学習者のやり取りを分析すれば、自分が保持していない見方や考え方が、対話を通じて他者から与えられることなども該当する。生徒Aにとって、熱の実験、運動の実験、

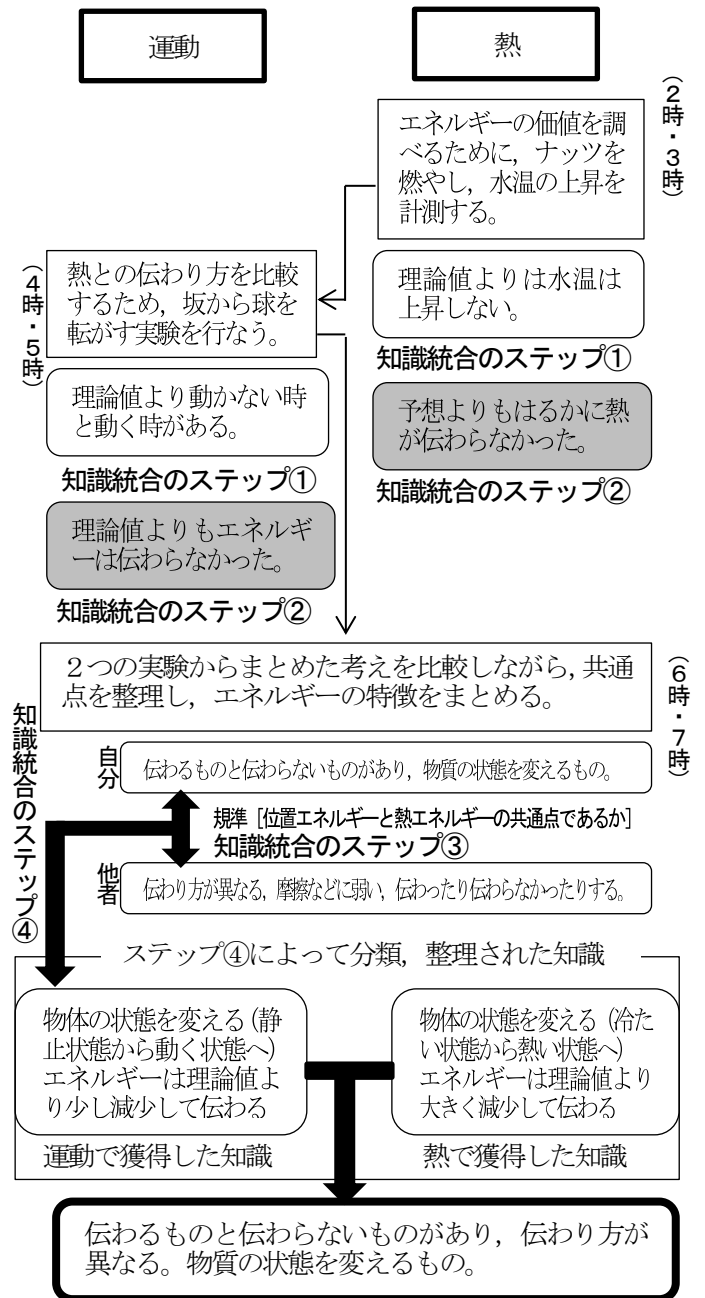


図13 第2時~第7時における生徒Aの学習活動の軌跡とエネルギーの捉えの変化

共にステップ①として表出した予想に対し、予想とは異なる実験結果として、新たな知識が与えられる形でステップ②を経験している。この経験は、自らの考えを見直す機会の獲得につながっていると考えられる。生徒Aは運動の実験について、結果が予想と異なった事から、改めて検証すべき質量と速さの関係について実験を行い、最終的には図7のエネルギーとして正しい捉えに変容している。ステップ②で獲得する知識は、ステップ①で表出する知識の質や引き出す過程によって、以降の学習活動に大きな差が生じると考えられる。表出する知識に根

理科における学習内容間の往還的な思考に着目した生徒の知識統合プロセスに関する研究

拠があり、時間をかけて検討したものであるからこそ、新たに獲得した知識と見比べ、次の学習活動が決定する。これは、先に述べた生徒Aの姿からも明らかである。また、①と②が十分に機能することで、生徒が保持する知識や考え方の質は高くなり、それらを用いて他者と考えの共有を行おうとする。すなわち、生徒が自他の考えを評価する規準を持つことにつながる。生徒Aが図13に示されている「位置エネルギーと熱エネルギーの共通点はあるか」という規準の獲得に至った理由として、第4時、第5時の生徒Aの問題提起が、熱と比較するための実験を行うことであり、比較することを初期段階から意識できていたことや、2度のステップ①と②を経験することで、運動と熱に関する知識が妥当なものとなり、エネルギーとしての共通点を見出す状況を創り上げることができたからであると推察できる。生徒Aが創り上げた規準は、表3から自分の考えを説明する際に、2つの実験結果の共通点を述べていること(A4)や、図8の他者の考えを取り入れた理由に記述されていることから読み取ることができる。最後に、運動と熱の実験から獲得した知識や考え方を、ステップ③で用いた規準をもとに分類、整理すると(ステップ④)、図13の下部のようになると考えられる。これにより、熱と運動のエネルギーの共通性を正確に捉え、汎用性のある考え方を持つことに至っている。本事例では、ステップ①と②が十分に機能することにより、ステップ③と④のプロセスに繋がっていることがわかる。

同じようにして、図14の第8時～第14時においてもエネルギーの共通性を見出す過程を分析する。第8時～第10時では、生徒Aは運動の実験についてエネルギー変換の視点から考えを表出しているが、熱についてその視点は含まれていない(ステップ①)。図13ではステップ①と②が実験の予想と結果という関係であったが、図14ではその関係性が成立していないことから、熱に対して誤った考えを保持したまま学習が進んでいることがわかる。第11時、第12時にステップ②として、エネルギーの伝わり方に関する新たな知識を獲得している。この獲得した知識によって、生徒Aは熱には適応できないことに気づき、考え方を見直す機会に繋がっている。図13と異なり、ステップ①で表出された考えに、即座にステップ②によってフィードバックされる形ではないが、ステップ②の機能が十分に働いていることがわかる。これは、第8時から第10時まで、常に熱の実験と運動の実

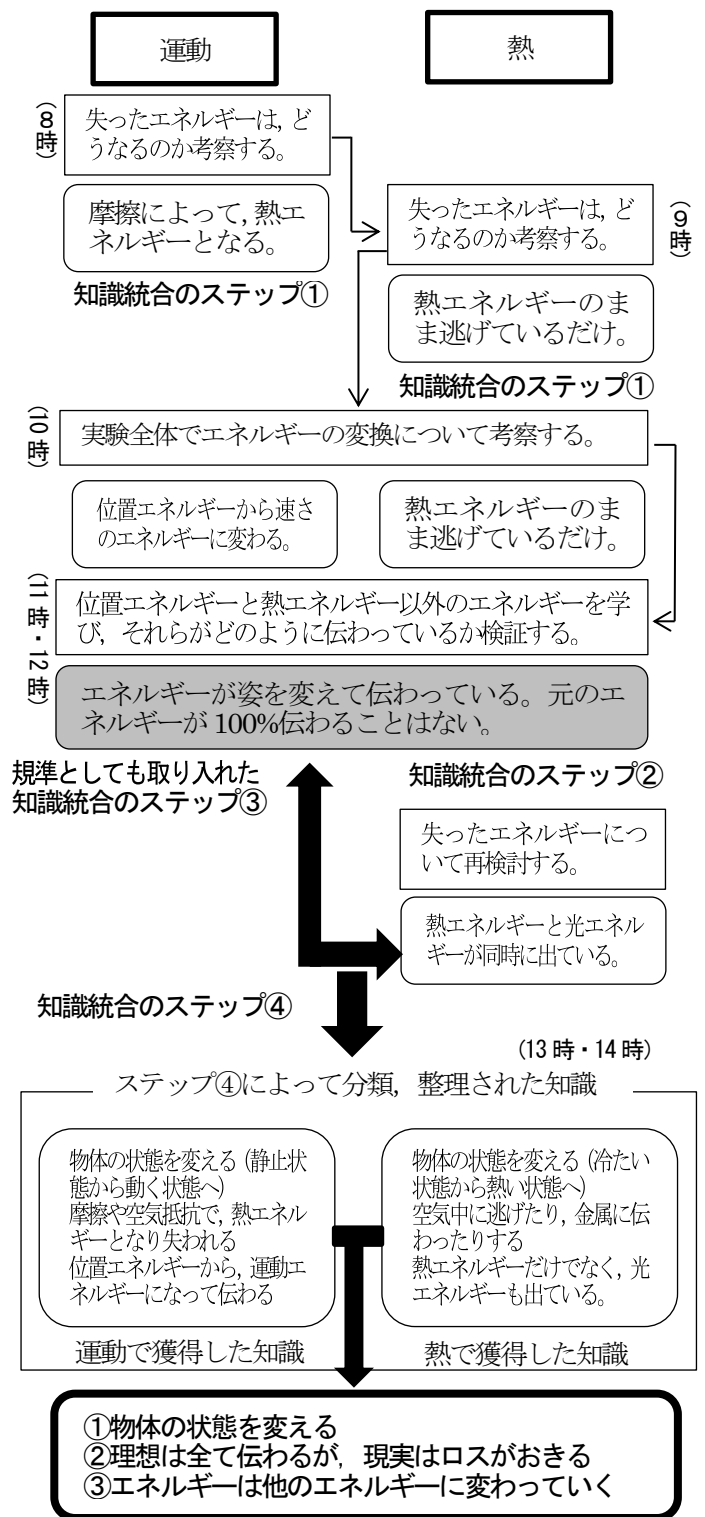


図14 第8時～第14時における生徒Aの学習活動の軌跡とエネルギーの捉えの変化

験を比較しながら学習が行われており、その中で熱の実験と運動の実験におけるエネルギーの伝わり方に関する考えの差異点を、生徒Aが十分に意識できていたためであると考えられる。そのため、熱の実験の説明が誤りであると判断できる新たな知識を獲得するとともに、その知識をエネルギーの伝わり方の考え方としての規準とし

でも用い、表5の対話の中でA4の捉えに至ったと考えられる(ステップ③)。ステップ③によって、エネルギー変換の考え方が正しく再構成されたことにより、生徒Aのエネルギーの捉え方は、図12の記述のように、熱の実験と運動の実験で生じた事象を、共通した特徴で整理することへと繋がり(ステップ④)、汎用性の高いものとなっている。以上から、図14のプロセスにおいても、図13と同様にステップ①と②が十分に機能したことで、ステップ③と④へとプロセスが進んでいったことがわかる。

本実践の事例から、自らが表出した考えと与えられる新たな知識とを十分に比較することが、異なる領域や内容、事象間を捉えようとする問題の提起や学習の動機付けに繋がった。4つのステップに段階的なものがあると明示されているわけではないが、本実践のように生徒の主体性を確保した理科授業の学習環境においては、自らの疑問から授業が始まるため、ステップ①と②を機能させやすく、それは③と④を機能させるのに有効であるということになる。すなわち、CSCLを用いない学習環境の中で、生徒が主体的・協働的に理科学習を行なっていく上で知識統合を実現していく授業デザインの示唆を得たと言える。

5.2. 生徒の問題解決を重視したカリキュラムにおいて、知識統合はいかに実現されるか

Linnの実践したカリキュラム(図2)では、それぞれの内容を順に行なっていくことに対し、本研究では運動と熱との内容間を往還しながら学習が展開されたことがわかる。往還する理由として、1つの事象で結論付けるのではなく、異なる事象とを比較することで、汎用性の高い捉えを生徒が目指していたと判断できる。1つの事象では説明が不十分と判断したからこそ、生徒の問題提起においても、内容間を越えるものが多く表出されたと言える。

図13と図14に共通して、知識統合のステップ①と②の段階において内容間を越えていることがわかる。これは、以降のステップ③と④を見据えた結果と考えられる。生徒は自らが所持している知識や考え方から、求めようとしている性質や特徴の共通性を見出せるかどうか、自らの知識構造をモニタリングしながら、内容間を往還していたと考えられる。

以上から、生徒は知識を比較することや、多くの事象

を扱うことで、共通性を見つけようとし、その過程において異なる内容間を多様なプロセスで辿っていくことが明らかとなった。

5.3. 知識統合を実現するための教師の手立て

Linnの実践では、知識統合の4つのステップに対して、CSCLの学習環境が確かな足場かけとなって作用している。これに対して、そのような環境が整わない一般的な学習環境、すなわち、生徒の主体性や協働性が確保された理科授業の学習環境においては、各ステップにおいて以下のような教師の手立てや方略が有効であると考えられる。

ステップ①については、生徒が学習前に保持する考えを顕在化させ整理させることである。本実践においては、第1時にエネルギーのイメージマップを作成させ、エネルギーに対する捉えを明確にさせた。これにより、教師は記述内容から生徒が取り組みやすい課題を設定することが可能となり、生徒もイメージマップでまとめた考えをもとに思考することが可能となった。問題解決的な展開を目指す上で、生徒の考えを表出させることは必要な条件であり、その機会を設定することが、ステップ①における教師の手立てと言える。

ステップ②については、新たな知識を得た上で、考えをまとめるための視点の獲得に繋がる手立てが必要である。図14のプロセスで教師は、生徒が熱の特徴を見出す視点を持つことが難しいと判断し、表4の実験を設定した。これによって実験から得た新たな知識を踏まえ、熱の伝わり方について考えをまとめることに至っている。したがって、教師は生徒の理解状況を評価すると共に、新たな知識が生徒の学習文脈に効果的に用いられるものとして付与されるよう、課題の設定や資料の提示などを行うことが重要と言える。

ステップ③については、自らの考えを他者にわかりやすく説明させることや、他者の考えを取り入れた根拠を明確にする機会を設定することである。換言すれば、生徒自身が自他の考えについてメタ認知できるようにすることであり、これを支援することが教師の手立てとなる。本実践では、表3のように他者に説明する機会を設定し、協議後には図8のような他者の考えを取り入れた、もしくは取り入れなかった理由を記述させた。他者への説明が上手くできないことや、取り入れた理由が記入できない場合は、自他の考えを評価する規準を保持していないことに気づく機会となる。規準を保持していない場合、

理科における学習内容間の往還的な思考に着目した生徒の知識統合プロセスに関する研究

生徒自身が作り出した考えについてどのように知識を用いたのか確認することや、他者の考えから何を参考にしたいのかなどを教師とともに明確にすることにより、考えを評価する規準を創り上げていくことに繋がると考えられる。

ステップ④については、学習文脈の最終の段階であることが多いと考えられる。それゆえ、獲得した知識や考え方の量も膨大となり、分類、整理が困難となる。本実践においても、熱と運動という2つの異なる内容から、第11時以降にその他のエネルギーを取り扱っており、知識の量が増えるだけでなく、エネルギー間を比較する対象も多くなっていった。したがって、教師は生徒に獲得した知識全体を鳥瞰させながらも、考えをまとめる上で知識を取捨選択し、焦点化させる手立てが必要となる。本実践では、図12のように第1時から検討してきた熱と運動の視点にのみ注目させ、エネルギーの性質を分類、整理させている。その結果、それぞれの実験結果や考え方を生徒が比較しながらまとめられており、汎用性の高いエネルギーの捉えにつながっている。

註

- 1) カリキュラムの時間数に該当する部分が「週」で記述されているが、1週を1セットとして組まれているためである。

参考・引用文献

- 小田切歩 (2013) 「高校の数学授業における協働的統合過程を通じた個人の知識統合メカニズム-回転運動と三角関数の関連づけに着目して-」 『教育心理学研究』第61巻, 1号, 1-16
- Clark, D. & Linn, M. (2003) Designing for knowledge integration : The impact of instructional time. *The Journal of the learning sciences*, 12(4); 451-493
- 斎藤真吾・片平克弘 (2012) 「「化学結合」を事例とした科学概念の結合化に関する一考察」 『日本科学教育学会研究会報告書』第27巻, 3号, 65-68
- 橋春菜・藤村宣之 (2010) 「高校生ペアでの協同解決を通じた知識統合過程 -知識を相互構築する相手としての他者の役割に着目して-」 『教育心理学研究』第58巻, 1号, 1-11
- 中込泰規・加藤圭司 (2019) 「科学的な知識を関連付け統合していく能力の伸長を目指す授業デザイン」 『日

本科学教育学会研究会研究報告』第33巻, 4号, 49-54

貫井正納 (1980) 「「エネルギー」に関するイメージ：小学校教員養成過程の学生を対象とした調査について」 『物理教育』第28巻, 4号, 255-257

三宅なほみ (2003) 『学習科学とテクノロジー』放送大学教育振興会

文部科学省 (2017) 『中学校学習指導要領』東山書房

Linn, M.C., & Hsi, S. (2000) *Computers, teachers, peers : Science learning partners*. Mahwah, NJ : Lawrence Erlbaum Associates.

M.C.Linn (2000) Designing the knowledge Integration Environment, *International Journal of Science Education*, 22(8); 781-796

Linn, M.C. (2006) : The knowledge integration perspective on learning and instruction.. In R.K.Sawyer (Ed), *The Cambridge handbook of the learning sciences*, Cambridge University Press. 243-264