

## 力を矢印で表すことにより事象を可視化し、学び合いを通して科学的思考力を高める子ども

— 中学3年「運動と力」の実践から —

## 1 授業の構想

## (1) 子どものとらえについて

身のまわりにはいろいろな力がはたらいている。その中で私たちは生活をしているが、普段そのような力を意識して過ごすことはほとんどない。さらに、日常生活の中で目にする物体の運動について、それらが当然であって、力との関係について考えることはほとんどない。また、力は直接見ることができない。

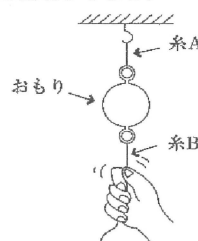
本単元の学習の最初に素朴概念調査を行った。この結果から、定滑車についてはたらしきを正しく理解している生徒は9%で、多くの生徒は定滑車を使うことで加える力が小さくて済むと考えていることが分かった。また、「止まっていた電車が急発進したとき天井からぶら下がっているおもりはどうなるか」の質問に対しては、82%の生徒が経験や慣性の法則から正しく現象を理解していることが分かった。しかし、12%の生徒は進行方向に力がはたらき進行方向に動くのとらえている。さらに、慣性にかかわる質問を以下のようにしたところ、結果は

- ① . . . . 3%
- ② . . . . 28%
- ③ . . . . 56%
- ④ . . . . 0%
- ⑤ . . . . 9%
- ⑥ . . . . 3%

であった。直接的な経験がないと、慣性の法則にしたがって物

下の図のように、普通の糸を結びつけたおもりを天井からぶら下げました。今、ほかのところには手を触れず、このまま糸Bのはしだけを手でまっすぐ下向きに引っ張って、糸Bを切りたいと思います。糸Bだけを切るにはどうしたらよいでしょうか。それとも、どんなふうにしても、切ることは無理でしょうか。次の①～⑥の中から、あなたが最もよいと考えるものを1つ選び、理由も書きましょう。

- ① ゆっくり、だんだん力を強くしながら引っ張る。
- ② すばやく、強い力で引っ張る。
- ③ どう引っ張っても糸Aが切れる。
- ④ どう引っ張っても糸Bが切れる。
- ⑤ どう引っ張っても糸A、Bは一緒に切れる。
- ⑥ その他：あなたの考えを書きましょう。



体の運動のようすを正しくとらえるのが難しいということがわかった。本単元では、日常生活でみられる物体の運動のようすを「速さ」と「向き」の2つの要素が存在することに注目しながら詳しく観察し、運動と力との関係を考えさせることによって、これまで体験的・感覚的にとらえていた物体の運動についての見方・考え方が科学的な見方・考え方へと変容していくように授業を構想していきたいと考える。

## (2) 本単元の目標や内容と理科で考える思考力・判断力・表現力の育成との関わりについて

本単元の目標は、身のまわりの物体の運動の観察・実験を通して、運動の調べ方の基礎を身につけるとともに、力と運動についての基本的な規則性を理解し、これらの事象を日常生活と関連づけて、運動の初歩的な見方や考え方を養うことである。

物体の運動は、物体にはたらく力の向きと運動の方向の関係によって決まる。つまり、物体の運動方向と同じ、または逆向きに力がはたらいている場合は物体の速さは変化し、力がはたらかない場合もしくは、力がつり合っている場合は物体の速さは変化しないということである。この基礎原理を理解させるために、記録タイマーによる運動の記録を正確に取り、グラフ化することによって速さの変化を見いだす。さらに、物体にはたらく力を矢印を使って表し運動と力の間を見いだしていく。

理科部としては、科学的に表現させることを大切することによって、思考力・判断力・表現力の育成をめざしている。そこで、本単元ではワークシートを用意し、あらかじめ作業内容を図示したものを与え、子どもはその図に力の矢印などを書き込みながら考えを深めていく。それらをもとにして班や学級で話し合う活動の中で、科学的に判断したり、他者に表現したりする中で科学的思考力を養うことが期待できる。そして、実験・観察によって得られた科学的根拠をもとにして、自分なりに現象をまとめることでさらに科学的思考力を養うことができると考える。

### (3) 11年間で育てる思考力・判断力・表現力の育成に関する学び合う場面の構想について

本単元では、目に見えない力を矢印という道具（思考の道具）を使い思考させていく。さらに、運動の速さについては記録タイマーを使い、グラフ化することで可視的にとらえさせていく。

学び合いの場面設定については、子どもの最近接発達領域を考え、子どもの素朴概念が覆る場面を設定し、本単元の第2次の第7・8時を考えた。ここでの学習は、既習事項を活用させて物体にはたらく力を整理して矢印を使い表現し、力のつり合いに気づかせる。そこから、物体の運動のようすが変わらないことを見出させる。学び合いのための教師のはたらきかけは大きく2つに分けることができる。一つは、ワークシートやモデル図、子どもの考えを表現するホワイトボードなど思考を表現して見えるようにするためのはたらきかけである。もう一方は、授業の中で教師が子どもの様子をとらえて行う発問や発話、子どもの意見を価値づけるなどの思考を深化させるためのはたらきかけである。後者のはたらきかけについては、素朴概念から科学認識に変容するにははたらきかけていくために、物体にはたらく力に視点が向くようにしていく必要がある。そして、力を矢印という道具（思考の道具）を使い目に見えないものを可視化できるようにはたらきかけていく。

## 2 展開計画

次	主な学習	時	具体的な学習・内容（◇印は、学級全体の学び合いの場面）
1	速さが変わるときにはどんな力がはたらくか	1 2 3 4 5	<ul style="list-style-type: none"> <li>力がはたらき続けるとき、物体は、どのような運動をするのか考える。また、斜面を下りる台車の運動を調べる。</li> <li>斜面を下りる台車の運動を調べた結果をグラフ化し、そこから物体の運動についての規則性を見出す。</li> <li>記録タイマーを用いて、落下運動を調べる実験を行い、結果をグラフ化し、そこから物体の運動についての規則性を見出す。</li> <li>落下運動や、斜面上の物体にはたらく力と分力との関係についての作図をし、斜面に沿った重力の分力が大きいほど速さの変わり方も大きいことを見出す。</li> <li>運動の向きと逆向きに力がはたらくときの速さの変化について考え規則性を見出す。</li> </ul>
2	速さが変わらない運動と力との関係を調べよう	6 7 8	<ul style="list-style-type: none"> <li>摩擦力が0に近い状態での物体の運動（風船ホバークラフト）の実験を行い、物体の運動の規則性について見出す。</li> <li>物体にはたらく力がつりあっているときは、物体の静止状態は変化しないことを見出す。</li> <li>◇物体にはたらく力を整理し、物体にはたらく力がつり合っていることに気づき、物体が静止することを説明することができる。</li> <li>物体にはたらく力がつりあっているときは、物体の運動の速さは変化しないことを見出す。</li> <li>◇物体にはたらく力を整理し、物体にはたらく力がつり合っていることに気づき、物体が等速直線運動をすることを説明することができる。</li> </ul>
3	力を加えた自分も動いてしまうのはなぜか	9	<ul style="list-style-type: none"> <li>物体に力を加えると、必ず、向きが反対で大きさが等しい力を受けることを見出す。</li> </ul>

## 3 学び合いによる思考力・判断力・表現力の評価

単元構成において設定した学び合いの場面の記録をとり、相互作用分析を行った。教師があらかじめもっていた子どもの科学認識を変容させるための視点を子どもに与えたとき、それがどのように作用し、また子ども同士の発言が互いにどのように作用したのか分析して、教師のはたらきかけが子どもの変容に有効であったのかを評価した。また、学び合いを構想した時間については、下の評価規準によって、子どものワークシートや「学習の足跡」の記述を評価した。

次	時	学習活動	学習活動における具体的な評価規準	評価資料	評価基準		
					A	B	C
2	7 ・ 8	物体にはたらく力がつりあっているときは、物体の運動のようすがどうなるのか考える	物体にはたらく力を整理し、物体に力がはたらかない（つり合っている）ときの運動の規則性について見出すことができる。	ワークシート 発言 学習の足跡	物体にどのような力がはたらいているのか力を図で正しく表し、物体にはたらく力と関連づけながら物体の運動状態は変化しないことを説明している。	物体にどのような力がはたらいているのか力を図で表し、物体にはたらく力と関連づけながら物体の運動状態は変化しないことを説明している。	物体にはたらく力を見出すことができず、物体の運動についてワークシートに表現したり、発表したりしていない。

また、単元全体を通して子どもの思考力・判断力・表現力がどのように高まったかを評価するために、単元のはじめの事前調査と単元の終わりの事後調査の比較をした。事後調査の際には、子どもに事前調査の自分自身の記述を見せ、自分の変容を認識できるようにした。

#### 4 授業の実際

○物体にはたらく力がつり合っているときは、物体の運動のようすはどうか（第2次第7時）

本時は、「定滑車にぶら下がっている質量の等しい2つの物体を手で支えておき、ゆっくり手をはなすと、物体Aはどうか？」をテーマに、物体にはたらく力がつり合っているときは、物体の静止状態は変化しないことを見出していく。前時までに、2力のつり合い、力がはたらく運動、等速直線運動について学習している。また、定滑車のはたらきは力の向きだけを変えるものであることを理解している。

(1) 学習課題について自分なりに物体の運動のようすについて考える。

生徒が、自分の考えを深めることができるように、考えを図や言葉で表現できるワークシート【資料1】を用意し、思考する時間を十分に確保した。生徒の思考をまとめると以下の3つに分類することができた。

- ①物体Aが下に動き、物体Bと同じ高さのところで止まる。(7人)
  - ②動かない。(13人)
  - ③物体Aが上に動き、物体Bが地面につく。(11人)
- (①か②と考えがまとまらない生徒が1名)

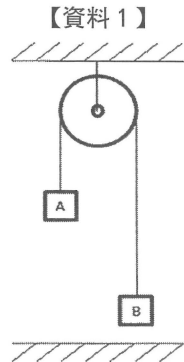
①の思考の生徒を見てみる。生徒A【資料2】は、物体Aにはたらく力を考えることができず、今までの経験から天秤などを連想し、同じ質量であれば天秤がつり合うという現象を思い浮かべ記述しているのがわかる。

②の思考の生徒を見てみる。生徒B【資料2】は、物体Aにはたらく力のうち重力を書き記すことができている。張力を書き記すことができているが、物体Bにはたらく重力を書き記すことで、滑車を取り外し糸をまっすぐ伸ばして考えるという発想が生まれた。そうすると、C点にはたらく2力はつり合っていることから動かないという思考に至ったのがわかる。

③の思考の生徒を見てみる。生徒C【資料2】は、物体Aにはたらく力を考えることができている。糸の長さに目を向けて、てこを連想し、支点から力点までの距離が長いから物体Bの下向きの力が物体Aの下向きの力より大きな力がはたらいているととらえているのがわかる。

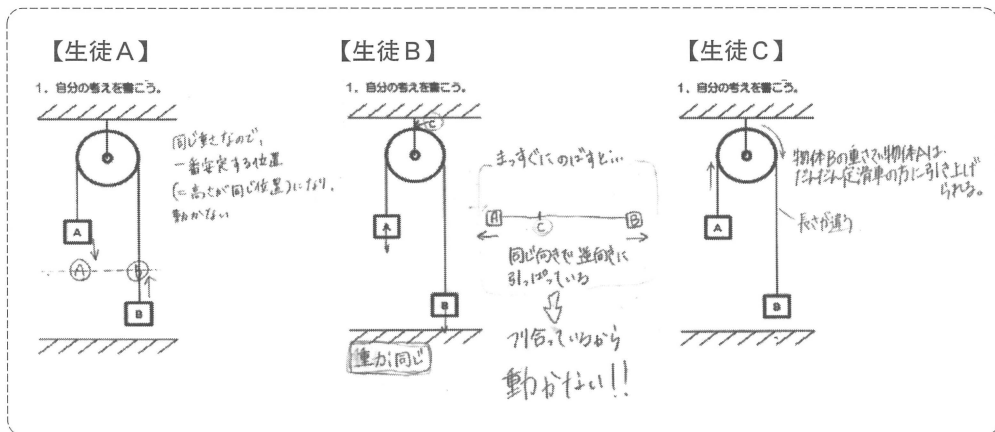
(2) 個のワークシートを使って班で話し合いをする。

個の考えをもとに、班で話し合わせた。机間支援をするにあたっては、子どもの考えがつながり、子どもの思考が深まるようにはたらきかけるよう留意した。それぞれの子どもの思考に対して評価するのではなく、リボイシングすることを心掛けた。グループでの思考を見てみると話し合いにより、班員の誰かの意見にまとまっているところが多いが、話し合いにより新たな思考が生まれている班もある(2, 3班)。



【資料1】

【資料2】個での考え



(3) 班のホワイトボードの記述をもとに学級全体で学び合う。

【資料3】

班でまとめたホワイトボードを机間支援をしながら分類しておき、学び合いの中で科学的思考がだんだんと深まっていくように、教師側で決めて黒板に張り付けて子どもに仕掛けていった。学び合いでは、物体にはたらくている力に視点を当てて思考を深めさせた。以下は学級での学び合いの授業記録である。

T 3つに考えがまとめられるね。1つ目は、Aが下がって、AとBが同じ高さになる。2つ目は動かないと考えた班。3つ目は、Aが上がって、Bが地面に落ちると考えた班。では、それぞれ説明してもらいましょう。

生徒A (8班) 同じ重さなので、かかる重力は同じ。すなわち、下に引っ張られる力が同じなのでつり合った位置になる。

生徒B (2班) シーソーのようにして考えてみた。経験上で同じ重さだったら、地面に水平になるからこれも同じ。

T 矢印を書いているけど、これは運動の向きかな？

生徒B はい、そうです。

T 動かないグループの意見を聞いてみよう。

生徒D (7班) AとBにはたらく重力が同じだから、力がつり合っている。だから、そのまま動かない。

T 同じような根拠だけど、結論は違うんだね。

生徒E (1班) 意見がまとまらなかった。最初はAが上がると思った。これだと、Bを下の方に引っ張る力が大きいとか、Aを上を引っ張る力が大きいとかでないといけないけど、うまく説明ができない。物体A、Bは質量が同じだから、どちらかの力が大きくなることはないから動かない。

生徒F (4班) 7班と同じですが、物体A、Bにはたらく力の大きさが同じなので、つり合っていると考えると動かない。

T Aが上がると思ったグループはどうかな？

生徒G (3班) 滑車をてことイメージして考えると、上の点が支点で支点からの距離がBの方が長い。質量はAもBも同じなので、そう考えるとBの方が力が大きいのでAが上に動く。

生徒H (5班) 力がつり合うという話があったけど、もしつり合っているなら、その条件は力の大きさが同じ。これはいいですが、力の向きが正反対でお互いの力が一直線上にはたらくと習った。が、これは一直線上にないと思って、つり合っていない。どっちかに動くなら、Aが上に動いてほしい。3人で考えたのですが、つり合いの条件にあてはまらないので、その状態で静止しない。糸が長いので合力を考えると・・・。フィーリングで糸が長い方が重そう。

T 1班が「動くためには」ということで考えていたけど、物体の運動のようすが変わるというのはどんなとき？

生徒J 力がはたらいているとき

T 何かしらの力がはたらくと運動のようすが変わる。では、重力が同じだから動くと考えた8班どうしてですか？動くための力は？

生徒K 2つの物体には同じ重力がはたらいている。同じ大きさの力で下向きに引っ張られているということだから…。下に行くほど大きな力がはたらいている気がする。同じ位置(高さ)にしようとする力がはたらくのではないかな。

T その力はどこから何が何に対して力がはたらいているの？

生徒K ……

T では、6班引っ張る力があるというのは何？何が何に対して力がはたらいているの？

生徒L 重力です。その重力の大きさは(物体A・Bともに)同じ。

T では、動く理由は？

生徒L ……

生徒C 矢印の先が物体Aに当たっているから押されるのではないのですか。

T 矢印は何を表しているの？力の3要素を矢印で表すことができたんだよね。その3要素は何？

生徒C 力のはたらく向きと、大きさ、作用点です。

T だから、書き表した矢印にはその3つの要素が含まれているんだよね。とすると、動く理由を説明すると？

生徒C ……。フィーリングで。

T 納得できる？みんなを説得させなきゃだめだね。では、次にシーソーとかでこができたけど、質量が等しければシーソーやてこがつり合うんだよね。てこの原理実験装置をもってきたよ。この実験装置で同じ質量のものを糸の長さを変えてひっかけるとどうなるの？

生徒挙手 てこが傾く～多数 てこがつり合う～2人。

<演示実験>

T てこは掛け算だったよね。(支点から力点までの距離) × (力点にはたらく力の大きさ) だったよね。これも、糸の質量はかなり小さいから無視できるものとして考えると、両方とも同じ大きさの力がはたらいているからてこがつり合うんだよね。てことらえて考えた人は考え直してみよう。3班どう？

生徒G 条件を考えると、重さが同じで、距離も同じだから変わらない。錯覚でした。

T つり合いの条件についてHさんがおさえてくれたね。力の大きさが同じで、向きが反対で、同一直線上ではたらくていなければつり合わないんだよね。じゃあ、1班・7班のを見てみると、物体Aには下向きにしか力がはたらいていないから動くのではないの？

生徒E 重力と同じだけの上向きの力も働いている。

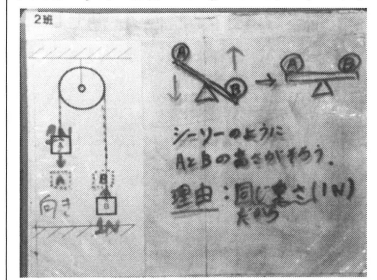
生徒M 糸がおもりを支える力がはたらいているから、つり合っている。

T 今の段階でみんなの考えは？

生徒挙手 Aが下に動く～0人 動かない～28人 Aが上に動く～4人

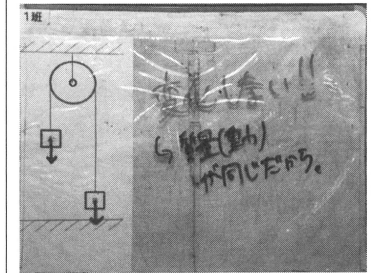
<演示実験>

「Aが下がる」と考えた班(2班)



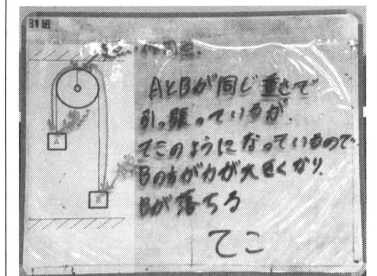
生徒A:上に動く 生徒B:上に動く 生徒C:動かない

「動かない」と考えた班(1班)

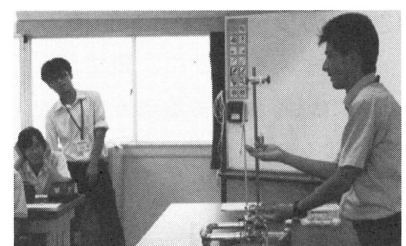


生徒A:下に動く 生徒B:動かない 生徒C:上に動く

「Aが上がる」と考えた班(3班)



生徒A:動かない 生徒B:動かない 生徒C:動かない 生徒D:下に動く



はじめに各班の考えを発表させた。この時の教師のはたらきかけとして、それぞれの意見を尊重し、学級全体で共有できるように復唱したり、要約したり、問い直して説明を再度求めたりした。全班的意見が出たところで、生徒E（1班）の説明の中にあつた「動くためには力が必要である」ことに視点が向くように仕掛けた。運動のようすが変わるときには、何かしらの力がはたらいていることをおさえ、物体Aにはたらいている力について焦点化させていった。しかし、生徒Kや生徒Cの意見のように子どもたちの素朴概念が強くはたらき、物体Aにはたらく力について論理的に考えることができなくなっている生徒が見られた。また、てこの原理の思考が邪魔をしてこの事象について考えることができないであろうことが予想された。そこで、てこの原理実験装置を準備しておいた。そして、支点からの距離を同じにして、片側には直接おもりをぶらさげ、反対側には質量の小さい木綿糸に同じ質量のおもりをつけてぶらさげてやるとてこはどうなるのか考えさせた。多くの生徒はてこが傾くと予想したが、「力点にはたらく力の大きさは同じだから・・・、あっ！」というつぶやきが聞こえ、てこがつり合うことに気づく生徒もいた。そして、演示実験を行い現象を確認して原理について復習をした。そうすると、てこの原理で考えていた子どもたちは物体Aにはたらく力について考え直すことができたようである。ここでののはたらきかけによって、多くの生徒が物体Aの動きを正しくとらえることができた。しかし、物体Aが動かないのであれば物体Aにはたらく力がつり合っていないといけないという生徒Hの意見が解決していない。そこで、物体Aにはたらく力について再度視点を向けて子どもたちにはたらきかけると、生徒Eや生徒Mのように重力に対してつり合う力を見出すことができた。

**(4) 学級全体で学び合い後、個で再思考する。**

学び合いと検証実験をふまえて自分の考えをワークシートに書かせた。評価基準によって、子どものワークシートの記述を評価すると、右の表1のようになる。また、【資料4】は各評価基準における生徒のワークシートである。

表 1

評価基準		
A	B	C
物体にどのような力がはたらいているのか力を図で正しく表し、物体にはたらく力と関連づけながら物体の運動状態は変化しないことを説明している。	物体にどのような力がはたらいているのか力を図で表し、物体にはたらく力と関連づけながら物体の運動状態は変化しないことを説明している。	物体にはたらいている力を見出すことができず、物体の運動についてワークシートに表現したり、発表したりしていない。
12人	18人	2人

【資料4】

**【評価Aのシート】**

**【評価Bのシート】**

**【評価Cのシート】**

たことだと考えられる。また、以下は生徒のふりかえりである。

- 生徒P 今回は長さの違うひもにおもりをつけて定滑車にぶら下げる実験をしましたが、てこの原理を応用すればわかるんだなと思いました。人の意見を聞いていくことで自分の意見が変わり正しい答えにいくことができよかったです。
- 生徒Q ○○さんの説明で納得しました。やはり、フィーリングだけでなく事実から考えられることを組み立てて筋道立てて考えることが大切ですね。しかし、静止した瞬間は不思議でした。そう見えないうでもどこかで必ずつり合っていたんですね。
- 生徒R 結局、自分の考えと実験の結果はあっていただけ、その間に自分の中で考えにいろいろと変化がありました。力は見えないので、いろいろと想像できて面白かったです。

子どもたちは学び合いによって自分の思考が揺さぶられるが、生徒Qの振り返りにあるようにある生徒の意見から最終的には事実に基づき論理的に事象をとらえることができ思考が深まり確かな科学認識へと変容したことがうかがえる。

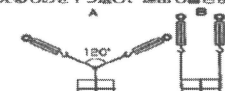
## 5 成果と課題

### (1) 素朴概念調査法を用いた自己評価から見てきたもの

単元の学習前と後に同じ素朴概念調査を行った。そして、自己の学習前・後における変容を具体的内容をともなって可視的な形で自己評価をさせた。多くの生徒は、学習前のときには感覚的・体験的に事象をとらえ答えていたが、学習後では学習を通して科学的根拠に基づいて答えているのがわかる。そして、自己評価では「仕組みが分かった」とか「考え方がわかった」「自分の経験じゃなく、根拠を基に説明できた」「理由部分がちゃんとした理由を書けるようになった」など思考力・判断力・表現力が高まったと感じ取れる記述が多く見られた。このように学習後に自己評価を行うことは、学びの変容を子ども自身が認識することができ、教師・学習者ともに思考力・判断力・表現力が高まったことが可視的にとらえることができる。しかし、素朴概念調査における問題作りがとても難しく感じた。

問3 2つのばねはかりを120°の角度をなすように持って1つのおもりをつるすと、できるだけ鉛直になるように近づけた2つのばねはかりで同じおもりをつるすと比べるとばねはかりの目盛りはどうでしょう。次の①～④の中から、あなたが最もよいと考えたものを1つ選び、理由も書きましょう。

① AもBも同じ大きさを示す。  
 ② Aの方が大きい値を示す。  
 ③ Bの方が大きい値を示す。  
 ④ その他：あなたの考えを書きましょう。



【学習前】

答え	選んだ理由を書きましょう。
④	Aはそもそも、角度が大きいので、ほかの値に思っから。また、Bは、おもりの半分の重さをそれぞれのはかりが示すと思うから。

【学習後】

答え	選んだ理由を書きましょう。
②	Aは、1つのばねはかりにかかる力が、2つのばねはかりにかかる力の合力と等しいのに対し、Bは、それぞれに合力の半分しか力がかからないから。

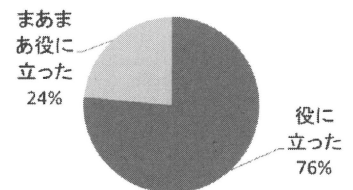
【自己評価】

問3	変わった。 合力の考え方で、仕組みが分かったから。このことは日常でも活かせると思う。
----	---

### (2) 思考の場の設定から見てきたもの

学び合いを成立させるはたらきかけの1つとして思考の場をつくることがある。理科ではその思考の場をホワイトボードによる班内での学び合いとしてつくっている。このホワイトボードによる学び合いについて生徒にアンケートを取ったところ、全員が役に立ったと答えている。子どもたちは理由として【資料5】のように書いている。

ホワイトボードを使った学び合い



【資料5】

- ・自分とは違う考えを見ることで、違う視点をもてたし、自分の考えだけにこだわるのがなくなったから。
- ・わからないところも教えてもらうことができたから。
- ・他人に話そうとすることで、自分の中で筋道立てて話そうとしたり、図に表わすことで自分の考えを整理できたりしたから。
- ・図に書いたりすることで説得力が増した。

これらのことから、ホワイトボードによる班内での学び合いが子どもたちの思考力・判断力・表現力を高めるのに有効であることがわかる。

### (3) 思考の道具を子どもに示すはたらきかけから見てきたもの

思考の道具をどのタイミングで示すのかが、

学び合いをより有効にさせるポイントではないかと考える。本単元での思考の道具は、力を矢印で表すことである。前項でも示したが、1時間の授業の中で遅い段階で思考の道具を子どもに示すと、思考の深まりが浅くなる。これは、子どもの素朴概念を教師が的確にとらえ切れていなかったことが原因と考える。子どもの素朴概念を的確にとらえて授業づくりをしていかななくては1時間の授業の中で子どもの変容が期待できない。しかし、子どものふりかえりに「力を図に表わして説明されたら、説得力もあり分かりやすかった」とある。このように、思考の道具を教師がもち、子どもたちにはたらきかけることにより科学的な認識に基づいて議論が深まり、焦点化され共通の科学認識に迫ることができると考える。

(文責 福島 章洋)