

かかわり合いの中で学びを深め、科学的思考力を高める子ども

－ 中学3年「エネルギー」を定量的にとらえよう！の実践から －

1. 単元の構想

(1) 理科で考える思考力・判断力・表現力の育成と本単元のかかわり

科学技術が進歩した今日の日常生活の中では、様々な用途でエネルギーを利用している。しかし、エネルギーは直接見たり触ったりできるものではないために、生徒にとっては極めて抽象的な概念である。よって、身近なものを使った実験・観察を行うことにより、エネルギーを定性的にとらえて理解し、定量的に扱って理解を深めていきたい。力学的エネルギーに関する実験は、条件を制御して、数量的にとらえてグラフ化し、規則性を見いださせる展開がしやすいので、ここで科学的思考力を養うことができる。また、新指導要領において、「仕事」や「仕事率」を学習し、エネルギーを仕事の単位ジュール(記号J)として用いることを扱うことになったので、エネルギーをより定量的にとらえやすくなった。中学3年生で学ぶこの単元では、これまで培ってきた問題解決能力や科学的に探求する能力を使って、さらに科学的思考力や判断力・表現力が育成されるものと思われる。

(2) 本単元の理科で考える思考力・判断力・表現力の育成に関するかかわり合い

本単元では、仕事やエネルギーについてのグループ実験を行わせる。できるだけ正確に実験をしてデータをとるためには、実験の目的を理解して工夫をして進めなければならない。データ処理を行う際には、数値が表す意味を理解してグラフ化するなどして規則性や関連性を見いだす。実験における班活動で、子どもどうしが表現をしてかかわり合いながら学習を進める。また、実験結果から考察した個々の学びを班活動でふくらませる。班で話し合う課題設定も重要で、教師が子どもに科学的思考をさせるために意図的に視点を与え、子どもは班で話し合い、それを他者に理解できるような工夫をしてホワイトボードに記述して表現をする。本単元では、エネルギーを仕事の大きさとして数値化しているので、グラフで表したり図を使ったり関係式を使って表現することも考えられる。様々なアプローチの仕方でも表現された各班の発表によって、学級全体の学びとなっていく。

(3) 子どものとらえ

子どもは、スイッチ一つで様々な姿のエネルギーをあふれるほどに利用できる生活が当然のこのような社会に生まれ育ち、精密で複雑な電化製品などを目にしてもエネルギーそのものに着目するようなことはほとんどない。また、生活体験が不足しており、道具を使って力を出して作業をするようなことも少なく、本単元の仕事やエネルギーについて、実感を伴う思考をしたり、経験から疑問がわくようなことも少ない。また、仕事やエネルギーの単位であるJ(ジュール)は、日常生活とはかけ離れた単位であり大きさの実感がもちにくい。したがって、実験を通してより具体的に学習を進めていく工夫が必要である。

(4) 単元の目標

エネルギーに関する実験について、班や学級全体でのかかわりを通して、規則性を発見したり数量的関係を指摘し、エネルギーをもつ物体は他の物体に仕事をすることができることを見いだすとともに、エネルギーは様々な姿に変換されるがエネルギーの総量は保存されることを説明することができる。

(5) 教材について

先にも述べたように、エネルギーそのものは見たり触ったりすることが難しい。よって、実験をすることにより身近なものとしてとらえさせ数値化したりグラフ化することにより、定性的にも定量的にも具体化して科学的な概念を定着させることが大切である。しかし、エネルギーの変換の途中で、空気抵抗や物体と物体が接する摩擦力によって、エネルギーは熱エネルギーや音エネルギーにも変換されてしまい、測定したいエネルギー量を正確に求めることが難しい。このエネルギー使用の目的以外で失われていくエネルギーは日常生活でも多く見られるので、失われていくエネルギーも含めてエネルギーは保存されることを学習することになっている。だが、空気抵抗や摩擦力がはたらく日常生活から得ている

子どもの概念と、この単元で学ぶエネルギーの定性的・定量的な概念がかけ離れているため、子どもの理解に困難をきたすものと思われる。よって、実験に扱う教材について吟味する必要がある。

また、新学習指導要領への移行により「仕事」を扱うことになり、エネルギーの大きさをすべてジュール(J)で表すことによって、姿の違う様々なエネルギーにつながりをもたせることができる。また、比較的測定が簡単な力学的エネルギーについては、ジュール(J)を使って定量的に扱うことで概念の理解を深めることができる。

(6) 指導観

この単元を構成するに当たり、エネルギーを定量的に押さえるという視点と、エネルギーはいろいろな姿に変換されるものであるという視点を大切にしたい。そのために、「仕事」とその単位の学習を単元の最初に行う。このことで、エネルギーは他の物体に仕事をするのできる能力であることと、エネルギーを定量的に扱うことができる。また、エネルギーのいろいろな姿を視点におくことで、力学的エネルギーの保存とエネルギーの保存を関連させて学習できるようになる。

さらに、具体化して科学的な概念が定着するように、身近なものを使った実験を通して、自分の考えを図や言葉で表現したりグラフに表して規則性を見つけ、他者とかがわり合って表現することによって科学的思考力を身につけさせたい。また、力学的エネルギーについての実験では、数値から力学的エネルギーの保存が見いだせるように、自由落下運動のときの位置エネルギーと運動エネルギーの関係を調べさせた。空気抵抗による力学的エネルギーの減少はあるものの、物体と物体が接することによる摩擦力がないので、力学的エネルギーの保存が定量的に押さえられる。

2. 単元計画

(1) 単元指導計画

次	主な学習内容	時	具体的な学習活動
1	仕事 ・仕事とは何か ・道具を使うと仕事は得か ・仕事の原理	1	・理科で言う「仕事」についての説明を聞き、仕事の量が、力の大きさと移動距離に関係していることを見いだす。また、日常生活では能率の面から、単位時間にする仕事の量が重要であることを見いだす。
		2	・定滑車、動滑車を使って物体を持ち上げる仕事を調べる実験を行い、直接手でする仕事の大きさと比較する。
		3	・道具を使ってする仕事の実験の結果を考察して、班で話し合い発表して、仕事の原理を見いだす。
2	位置エネルギー ・位置エネルギーは何に関係しているか	4	・位置エネルギーは何に関係しているかを調べる実験を行い、結果をグラフに表す。
		5	・位置エネルギーは何に関係しているかを調べる実験を考察して、班で話し合い発表して、位置エネルギーは物体の高さと質量に比例していることを見いだす。
3	運動エネルギー ・運動エネルギーは何に関係しているか	6	・運動エネルギーは何に関係しているかを調べる実験を行い、結果をグラフに表す。
		7	・運動エネルギーは何に関係しているかを調べる実験を考察して、班で話し合い発表して、運動エネルギーは物体の質量に比例し、速さの2乗に比例していることを見いだす。
4	力学的エネルギー ・位置エネルギーと運動エネルギーにはどんな関係があるか	8	・自由落下運動をするときの、位置エネルギーと運動エネルギーの大きさを調べる実験を行い、エネルギーの変化を考える。
		9	・位置エネルギーと運動エネルギーの関係の実験の結果を考察して、班で話し合い発表して、力学的エネルギーは保存されることを見いだす。
5	いろいろなエネルギー ・エネルギーにはどんなすがたがあるか	10	・エネルギーの変換の実験を行い、エネルギーのつながりを見いだす。
		11	・エネルギーが変換される時、摩擦や空気抵抗などによって熱エネルギーなどとして失われやすいが、エネルギーの総量は保存されることを理解する。
6	化学変化とエネルギー ・化学エネルギーと熱エネルギーにはどんな関係があるか	12	・いろいろな化学変化のときの温度変化を調べる実験を行う。
		13	・化学変化のときの温度変化を調べる実験を考察して、班で話し合い発表して、化学変化と熱エネルギーの関係を見いだす。
		14	・化学エネルギーとその利用について考える。

(2) 評価計画

次	時	関心・意欲・態度	科学的な思考	技能・表現	知識・理解	理科における 思考力・判断力・表現力
1	1 2 3	仕事を数量的に表す方法に関心を持ち、意欲的に調べようとする。	道具を使った仕事の実験の結果から、道具を使っても仕事の大きさは変わらないことを見いだしている。	道具を使った仕事の大きさを求める実験を、正確に行って記録している。	仕事と仕事率の定義、及びその計算式と単位を理解している。	道具を使った仕事の実験の結果を分析し、数量的関係を指摘して、道具を使っても仕事の大きさは変わらないことを説明している。
2	4 5	高い位置にある物体の持つエネルギーが、他の物体に仕事をするることについて関心を持ち、位置エネルギーは何に関係しているかを意欲的に調べようとする。	位置エネルギーについての実験の結果から、位置エネルギーは物体の高さと質量に比例していることを見いだしている。	位置エネルギーについての実験を条件を制御して正確に行って記録し、結果を正しくグラフに表している。	位置エネルギーは、物体の高さと質量に比例することを説明している。	位置エネルギーについての実験を条件を制御して行い、結果をグラフに表すことによって、位置エネルギーと物体の高さや質量との関係を説明している。
3	6 7	運動している物体の持つエネルギーが、他の物体に仕事をするることについて関心を持ち、運動エネルギーは何に関係しているかを意欲的に調べようとする。	運動エネルギーについての実験の結果から、運動エネルギーは物体の質量に比例し、速さの2乗に比例していることを見いだしている。	運動エネルギーについての実験を条件を制御して正確に行って記録し、結果を正しくグラフに表している。	運動エネルギーは、物体の質量に比例し、速さの2乗に比例することを説明している。	運動エネルギーについての実験を条件を制御して行い、結果をグラフに表すことによって、運動エネルギーと物体の質量や速さとの関係を説明している。
4	8 9	位置エネルギーと運動エネルギーの関係について関心を持ち、意欲的に調べようとする。	位置エネルギーと運動エネルギーは移り変わり、力学的エネルギーは保存されることを見いだしている。	位置エネルギーと運動エネルギーの関係を調べる実験を、正確に行って記録している。	位置エネルギーと運動エネルギーは移り変わり、力学的エネルギーは保存されることを説明している。	位置エネルギーと運動エネルギーの関係を調べる実験の結果を分析し、数量的関係を指摘して、力学的エネルギーは保存されることを説明している。
5	10 11	いろいろなエネルギーの変換について関心を持ち、意欲的に調べようとする。	いろいろなエネルギーの変換の実験を行い、エネルギーのつながりを見いだしている。	いろいろなエネルギーの変換の実験をやりとげ、エネルギーのつながりを表現している。	エネルギーが変換されるとき、エネルギーの総量は保存されることを理解している。	いろいろなエネルギーの変換の実験の様子から、エネルギーのつながりを表現しエネルギーの保存を説明している。
6	12 13 14	化学エネルギーと熱エネルギーの関係について関心を持ち、意欲的に調べようとする。	化学変化のときの温度変化を調べる実験から、化学変化と熱エネルギーの関係を見いだしている。	化学変化と熱エネルギーの関係を調べる実験を、正確に行って記録している。	化学変化によってエネルギーが出るとき、エネルギーを必要とする化学変化があることを理解している。	化学変化のときの温度変化を調べる実験の結果を分析し、化学変化と熱エネルギーの関係を見いだしている。

3. 授業の実際

この単元の2次の位置エネルギーについての授業と、4次の力学的エネルギーについての授業を紹介する。

(1) 位置エネルギーは何に関係するか

斜面を使って小球を転がし木片にあて、小球の質量、小球の高さ、斜面の角度が、木片の移動距離とどのような関係があるかを条件制御をして調べた。実験前に予想をさせたところ、質量、高さ、斜面角度が大きいほど木片の移動距離が大きくなるというような予想が大多数で、斜面角度には関係ないと予想した生徒は、4クラスあわせても1名だった。実験後、グラフに表して考察させた。斜面角度に関係がないという結果に疑問をもち、戸惑いながら第4時が終了した。

そこで第5時では、結果をもとに「位置エネルギーは何に関係しているか」「位置エネルギーと仕事の関係はどうなっているか」について、班で話し合わせた。位置エネルギーと仕事の関係を考えさせることで、斜面角度に関係しないことを理解させたいと考えた。資料2は、あるクラスの各班が話し合って書いたホワイトボードの様子である。子どもに発表をさせた順に、A班、B班・・・としている。この発表をさせる順序は、机間巡視をして各班の記述を把握して、かかわり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、教師側の仕掛けをして決める。そして、ホワイトボードをこの順で黒板に貼り付けて、子どもに説明をさせている。

A班は、位置エネルギーが質量、高さに関係していると記述したが、B班の発表により比例関係にあることが押さえられる。C班、D班の発表によって斜面角度には関係していないことが押さえられる。E班は、斜面角度に位置エネルギーが関係していない原因を、道具を使っても使わなくても仕事の大きさは変わらないという「仕事の原理」によって説明した。F班、G班、H班は、位置エネルギーが質量、高さとの比例関係にあることを式で表し、そのことによって、位置エネルギーが仕事そのものであることや、斜面角度に関係しないことを認識し説明した。I班、J班は、図を使って説明をした。このように、班によってアプローチの仕方は異なっており、班の話し合いだけでは不十分なものもあるが、他の班の発表によって気づけなかったことを認識することができ、式を使ったり図に表して、一般化したり抽象化していくことを学び合う。

この授業の自己評価カードの記述には、「自分たちで説明できなかった $J = N \times m$ という式について理解できた。」「斜面の傾きは位置エネルギーと関係しない理由がよくわかった。」「位置エネルギーは私たちが小球に与えていたということが印象的です。」「つまり、仕事は小球が木片にする仕事と、木片がされる仕事と、手が小球にする仕事の3つということですね。」などあり、学級でのかかわり合いの中

資料1

位置エネルギーについて調べる実験



資料2 「位置エネルギーは何に関係しているか」「位置エネルギーと仕事の関係はどうなっているか」

<p>A班</p> <ul style="list-style-type: none"> ○物体の高さと質量に関係している。 ○位置エネルギーの大きさが大きくなるほど、仕事の大きさも大きくなる。 	<p>C班</p> <ul style="list-style-type: none"> ○位置エネルギーは高さや質量が大きければ大きいほど大きくなる。傾きには関係していない。 ○位置エネルギーが大きいほど、小球が木片にする仕事が大きくなる。 	<p>E班</p> <ul style="list-style-type: none"> ○位置エネルギーは小球の高さと質量に関係している。 ○位置エネルギーと仕事には、斜面の傾きを道具とするなら、仕事の大きさは変わらないかもしれない。 	<p>G班</p> <ul style="list-style-type: none"> ○位置エネルギーは高さや質量に関係している。 ○仕事(J)は $N \times m$ で求める。位置エネルギーは高さ(m)と質量(N)に関係しているので $N \times m$ で求められると思う。よって位置エネルギーと仕事は同じようなものであると思う。 	<p>I班</p>
<p>B班</p> <ul style="list-style-type: none"> ○質量と高さに関係している。木片の移動距離と比例する。 ○仕事と位置エネルギーは比例。 	<p>D班</p> <ul style="list-style-type: none"> ○位置エネルギーは、質量と高さに関係し、角度には関係しない。 ○位置エネルギーと仕事の大きさは比例関係になっている。 	<p>F班</p> <ul style="list-style-type: none"> ○位置エネルギーは高さや質量に関係があり、比例している。 ○位置エネルギー $\text{高さ} \times \text{質量} = J$ (m)(N) 	<p>H班</p> <ul style="list-style-type: none"> ○位置エネルギーは高さや質量に関係している。 ○多分、位置エネルギー = 高さ \times 質量。このことから、斜面の角度を変えても高さや質量が変わらなければ、位置エネルギーは変わらない。 	<p>J班</p>

で、個々の学びが深まったことがわかる。さらに、「位置エネルギーは高さが低くなると小さくなると思いますが、その小さくなった分は速さとして加わっているのですか?」「要するに、位置エネルギーは、物体が斜面を転がる際、変わらないということなのですね。ならば、高さがあるとつくられる位置エネルギーは、物体が転がり終えた後の位置が低いところでは、そのまま残るのですか。それとも、何か別のものに変換されるのですか。」というように、次の学習につながるような疑問を記述する子どもがいた。

(2) 力学的エネルギーについての学習 (位置エネルギーと運動エネルギーの関係)

位置エネルギーと運動エネルギーの和 (力学的エネルギー) の保存の学習であるが、これを定量的に見いださせるために実験を工夫した。ループを使う実験で工夫しようと考えたが、測定が可能でも摩擦力がはたらくために定量的に見いだすことが困難であると思われたので、自由落下実験を行うことにした。位置エネルギーは、小球の質量と高さの測定をすれば計算できる。運動エネルギーを求めるためには、速さの測定が必要なので簡易速度計を使った。落下する小球のいろいろな高さでの速さを測定するのだが、正確に速度計を通過させなければならないので、落下のガイドをする透明な筒を用意した。OHP用のロール状の透明シートで円筒を作り、10cmごとに印をつけた。資料3は、この実験装置と実験風景である。

この簡易速度計は、単位がkm/時で表示される。運動エネルギーの大きさを求めるには、

$$J = \frac{1}{2} \times \text{質量 (kg)} \times \text{速さ (m/秒)} \times \text{速さ (m/秒)}$$

に、数値を代入しなければならないが、速さの単位を変えるための計算に時間がかかることが予測されるので、表計算ソフトを使って計算式をつくっておき、子どもは簡易速度計で測定した数値を入力すれば、運動エネルギーが表示されるようにした。これによって、子どもは他の班の記録と比較することも可能となり、すぐに位置エネルギーと運動エネルギーの関係を見いだそうと考察して、第8時を終えた。

第9時では、各自が実験の結果から考察したことをもとに、「位置エネルギーと運動エネルギーにはどのような関係があるか」について班で話し合わせホワイトボードに記述させた。資料5は、その記述である。まず、A班は位置エネルギーと運動エネルギーが反比例であると記述したのに対し、B班は反比例ではないと記述したので、この点について確認した。反比例の定義を誤ってとらえている子どもが多いので、A班とB班の異なる記述によって、A班の誤りが訂正された。位置エネルギーと運動エネルギーの和がどの高さでも等しいことを指摘した班は多いが、F班は「多少誤差がある」ことを付け加えた。これは、空気抵抗によって減少していることをとらえた説明であった。また、E、G、I、J班の説明によってエネルギーが移り変わることを確認することができ、さらに、C、H班の説明によって小球がもつエネルギーは始めの位置エネルギーの大きさに相当することを確認することができた。

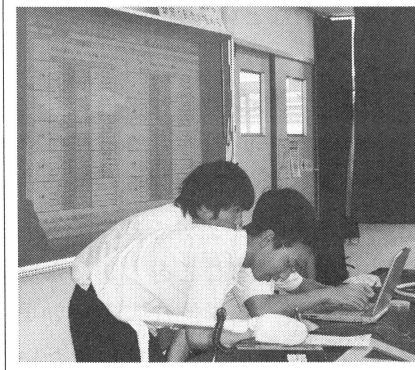
資料3
簡易速度計を使った
実験装置と実験風景



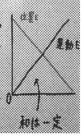
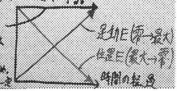
資料4
簡易速度計の記録から運動エネルギーの大きさを求める表計算と生徒による入力風景

速さと質量から運動エネルギーへの換算表

高さ(m)	質量(g)	速さ(km/h)	運動エネルギー(J)	高さ(m)
0.4	66.0	6.4	0.105244444	3.1005
0.6	66.0	9.2	0.241759029	2.26
0.8	66.0	11.2	0.58123125	0.56
0.2	66.0	14.1	0.513007313	15.400
0.4	66.0	18.1	0.66933825	70.1
0.6	66.0	18.9	0.12284481	3.3710
0.8	66.0	10.15	0.28471058	7.8482
0.4	66.0	15	0.37	11.111
0.2	66.0	18.1	0.513007313	15.406
0.6	66.0	15.68	0.637655813	19.995



資料5 「位置エネルギーと運動エネルギーにはどのような関係があるか」

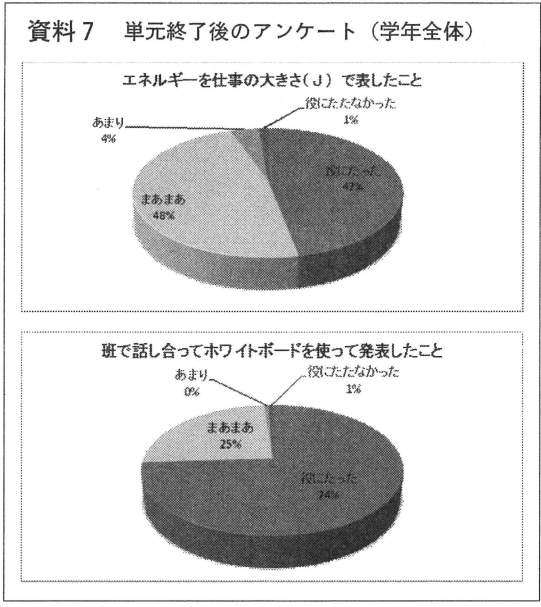
<p>A班 位置Eと運動Eには、一方が大きくなると一方が小さくなり、一方が小さくなると一方が大きくなるというように、ともなって変化しており、2つのエネルギーは反比例している。また、運動Eと位置Eの和はほぼ一定になっていると言える。</p>	<p>C班 位置エネルギーと運動エネルギーをたすと、速さが0時の位置エネルギーと同じ値になる。</p>	<p>E班 小球を1mの高さにしたとき位置Eは最大だが運動E、0である。小球が落下を始めると、どんどん加速するため、運動Eは大きくなるけど位置Eは小さくなる。つまり、だんだんと位置Eが運動Eに移り変わっているのがわかる。</p>	<p>G班 位置エネルギーが①→②になると、運動エネルギーが②→①になる!! ↓2つのエネルギーの和は一定!! ↓位置E→運動Eにうつりかわる!! ↓エネルギー合計の大きさは保たれている!!!!</p>	<p>I班 位置エネルギーが最大のとき、運動エネルギーは最小(0)である(高さ10mのとき)。また、運動エネルギーが最大のとき、位置エネルギーは最小(0)である(高さ0mのとき)。 位置エネルギーと運動エネルギーはともに変化している。 位置エネルギーは、運動エネルギーと等しい値になる。 和一定</p> 
<p>B班 運動Eと位置Eの合計の値はいつも等しい。また 位置E 大→運動E 小 位置E 小→運動E 大 しかし、一方のエネルギーが0になるときがあるのので、反比例とは言えない。(反比例のグラフは、x軸・y軸と交わらない)</p>	<p>D班 小球が基準面から1mの高さにあるとき、位置Eは0.666で運動Eは0。落下するにつれて位置エネルギーは小さくなり、逆に運動Eは大きくなる。そして2つのエネルギーの和は一定に保たれている。</p>	<p>F班 位置Eと運動Eの和は一定である。つまり、位置Eが減ると、運動Eが増え、速さが速くなる。少しの誤差があった。</p>	<p>H班 小球が落下して運動エネルギーが大きくなるにつれ、位置Eは小さくなる。この2つの合計は、小球の高さが何メートルでも同じになる</p>	<p>J班 物体が高い位置で静止している時は運動していないから運動エネルギーは0。その物体は運動(落下運動)を始めると位置Eは0に近付く。それと相対的に運動Eは増加する。 運動Eと位置Eは相対的に減少・増加する。 足場E(高さ)最大 位置E(最大)→0 時間経過</p> 

力学的エネルギーの保存について説明をしたあとで、資料6のようにレールの上で小球を転がしたとき、小球の上がる高さが始めの高さよりも低くなるのはなぜかを考えさせた。すると、子どもは空気抵抗と摩擦力が原因であることを指摘し、力学的エネルギーの消耗した分は熱エネルギーや音エネルギーに変換されたことを指摘した。



この授業の自己評価カードの記述には、「運動エネルギーと位置エネルギーの和は空気抵抗がなければ一定になる。その単位はJ。空気抵抗はいろいろな実験に関わっている。」「位置エネルギーと運動エネルギーは伴って上下する。エネルギーは移り変わる。」「減ったエネルギーは熱や音に変わったことがわかった。」などの記述があった。

単元の学習が終わった後にアンケートを行った。エネルギーの大きさを仕事の単位を使って表したことが、学習に役立った理由として、「目に見えないものを数値化することによってわかりやすくなった。」「そのエネルギーは何を示しているか、なぜこのエネルギーをもったかを把握すれば、仕事の大きさに置き換え数値化できることがわかった。」などの記述があった。班で話し合ってホワイトボードを使って発表したことが、学習に役立った理由として、「自分とちがう意見も聞けて発想が豊かになるし、書くとき自分の頭の中で整理されより理解が深まるから。」「人に理解してもらうためには自分が理解できていないといけないので、しっかり理解することができたから。」などの記述があった。



4. 成果と課題

子どもに科学的思考力がどれだけ身についたかを計り知ることは、とても難しいことである。しかし、実験レポートや自己評価カードやホワイトボードへの記述として表現された内容によって教師は子どものとらえを知ることができ、子どもの学習にフィードバックすることができた。すべての単元において科学的に表現することを大切にさせ継続的に指導することによって、科学的思考力が身につくものと思われる。今後、科学的な表現を効果的に価値づけていき、個々の子どもにとって有効なかかわり合いとなるような授業を展開していきたい。

(文責 高橋 里美)