令和6（2024）年度　高等学校における教科指導充実に関する調査研究

教科における探究的な学習の充実 実践編

理科（生物）

1　単元　「細胞と分子」（第2学年）

2　単元の目標

（1）細胞と分子に関して、生体物質と細胞、生命現象とタンパク質について日常生活や社会と関連付けて理解するとともに、それらの観察、実験などに関する技能を身に付ける。
（2）細胞と分子について、観察、実験などを通して科学的に探究し、生命現象と物質についての特徴を見いだして表現する。
（3）細胞と分子について、主体的に関わり、見通しをもったり振り返ったりするなど、科学的に探究しようとする態度と、生命を尊重し、自然の事物・現象を総合的に考察しようとする態度を養う。

3　評価規準

知識・技能	思考・判断・表現	主体的に学習に取り組む態度
細胞と分子に関して、生体物質と細胞、生命現象とタンパク質について日常生活や社会と関連付けて理解するとともに、それらの観察、実験などに関する技能を身に付けている。	細胞と分子について、観察、実験などを通して科学的に探究し、生命現象と物質についての特徴を見いだして表現している。	細胞と分子について、主体的に関わり、見通しをもったり振り返ったりするなど、科学的に探究しようとしている。

4　単元の指導と評価の計画

●指導に生かす評価　○指導に生かすとともに記録に残す評価

時間	問い（学習課題）・主な学習活動〔評価方法〕	評価 知	評価 思	評価 態
1	**問い（学習課題）** 細胞はどのような物質で構成され、どのような構造をしているのか？ 細胞を構成する物質が、細胞の構造と機能にどのように関わっているのかを理解する。	●		
2	**問い（学習課題）** 細胞の構造と機能は、どのように関連して働いているのか？ 細胞の細胞小器官や構造体が、どのように関連して働いているのかを理解する。	●		
3	**問い（学習課題）** 細胞膜や細胞小器官の膜は、どのような構造をしているのか？ 細胞や細胞小器官の膜構造について理解し、細胞を構成する分子の特徴や、真核細胞の構造と機能を関連付けて説明する。〔ワークシート〕		○	
4	**問い（学習課題）** タンパク質は、どのような構造をしているのか？ タンパク質の構造について理解する。	●		
5	**問い（学習課題）** タンパク質の立体構造と機能には、どのような関わりがあるのか？ タンパク質の構造と機能について、どのような関わりがあるのかを理解し、タンパク質が変性する理由を、タンパク質の立体構造と関連付けて説明する。		●	
6	**問い（学習課題）** 酵素には、どのような性質があるのか？ 酵素の性質と働きについて理解する。	●		
探究的な学習 7～10	**問い（学習課題）** 酵素の反応速度は、条件によってどのように変化するのか？ 酵素の反応速度を制御する条件について、実験の計画を立てたり、実験の結果を分析したりして酵素の反応速度と反応条件の関係を見いだし表現する。〔ワークシート〕		○	○
11	**問い（学習課題）** 酵素反応は、どのように調節されているのか？ 酵素が働く一連の反応経路において、酵素反応がどのように調節されているのかを理解する。	●		

時間	問い（学習課題）・主な学習活動〔評価方法〕		評価		
			知	思	態
12	**問い（学習課題）**	タンパク質は、どのようなしくみで物質を輸送するのか？	●		
	生体膜を介した物質の出入りについて、そのしくみを理解する。				
13	**問い（学習課題）**	細胞間の情報伝達に働くタンパク質とは？			
	細胞間の情報伝達や、生体膜を介した物質輸送に働くタンパク質の特徴について理解し、細胞膜上の受容体が細胞間の情報伝達にどのように関わっているかを見いだして表現する。			●	
14	**問い（学習課題）**	細胞と分子について学んだことは何か？			
	これまで記入したワークシート等の記述内容を確認しながら、単元全体で学んだことを振り返り、ワークシートにまとめる。〔ワークシート〕				○
単元終了後	〔ペーパーテスト〕		○	○	

《 本単元における探究的な学習について 》

酵素の反応速度が基質濃度や酵素濃度によってどのように変化するのかを見いだして表現する力を養うことを目的として、本単元の7～10時間目に、「酵素の反応速度は、条件によってどのように変化するのか?」という問いで探究的な学習を設定した。細胞と分子について、既習事項や生命現象と関連付けながら科学的に探究する力の育成を図った。なお、学習指導要領解説にも、酵素反応に必要な条件について検討したり、実験の計画を立案したり、さらに、立案した方法で実験を行い、得られた結果を分析・解釈して、タンパク質の機能を生命現象と関連付けて見いだして理解する活動が示されている。

5 学習活動の実践と指導のポイント

1～3時間目

細胞に関して、構成している物質、構造と機能、細胞膜や細胞小器官の膜構造などについて学ぶ時間とした。真核細胞の構造と機能を「生物基礎」の既習事項と関連付ける場面を設定し、細胞の構造について理解を深めた。また、筋肉の構造などの別の単元での学習事項と関連付けて、ペアや班で復習しながら学び合う場面を設定し、細胞骨格について理解を深めた。

4・5時間目

タンパク質の構造や機能などについて学ぶ時間とした。タンパク質の立体構造と関連付けながら、タンパク質が変性する理由を班で話し合い、ペアでお互いに説明し合う場面を設定し、タンパク質の機能について見いだして理解を深めた。

6時間目

酵素の性質や働きなどについて学ぶ時間とした。「生物基礎」の既習事項を復習して確認しながら、ペアでお互いに図をかいて説明し合う場面を設定し、酵素の性質について理解を深めた。

7～10時間目 探究的な学習

探究的な学習の過程

7時間目
- ① 目標の確認
- ② 課題の設定
- ③ 仮説の設定
- ④ 実験計画の立案

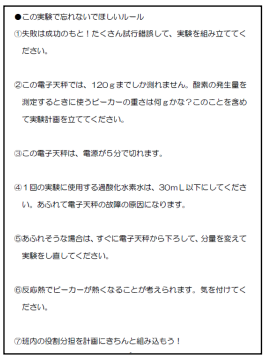
8時間目
- ⑤ 実験結果の予想
- ⑥ 実験計画の共有
- ⑦ 実験計画の修正

9時間目
- ⑧ 実験
- ⑨ 実験結果の処理

10時間目
- ⑩ 考察
- ⑪ 実験計画の立案
- ⑫ 実験計画の共有
- ⑬ 実験計画の修正
- ⑭ 振り返り

7時間目〔探究的な学習の過程①～④〕

最初に、探究的な学習の最後の問い「酵素の反応速度は、条件によってどのように変化するのか？」を示した。また、この探究的な学習で育成を目指す資質・能力について、ガイダンスプリントにある探究ルーブリック（p.6の6を参照）を示して、生徒が確認する場面を設定した。探究的な学習を通して、探究ルーブリックを用いて自己評価と班の取組の評価を行うことを伝えた。次に、最後の問いを解決するために、2つの問いを段階的に与えた。1つ目は「酵素の反応速度は、基質濃度によってどのように変化するのか？」、2つ目は「酵素の反応速度は、酵素濃度によってどのように変化するのか？」である。また、速さや希釈について示したガイダンスプリントを活用して、班で話し合いながら仮説を立てる時間を設定した。続いて、班で立てた仮説をもとに、1つ目の問いを分析するための実験の計画を立てる時間を設定した。


●この実験で忘れないでほしいルール
①失敗は成功のもと！たくさん試行錯誤して、実験を組み立ててください。
②この電子天秤では、120ｇまでしか測れません。酸素の発生量を測定するときに使うビーカーの重さは何ｇかな？このことを含めて実験計画を立ててください。
③この電子天秤は、電源が5分で切れます。
④1回の実験に使用する過酸化水素水は、30mL以下にしてください。あふれて電子天秤の故障の原因になります。
⑤あふれそうな場合は、すぐに電子天秤から下ろして、分量を変えて実験をし直してください。
⑥反応熱でビーカーが熱くなることが考えられます。気を付けてください。
⑦班内の役割分担を計画にきちんと組み込もう！

【 生徒の考えた仮説の例 】
- 基質濃度が高くなるほど、反応速度は大きくなる。
- 基質濃度が高くなっても、反応速度は変わらない。

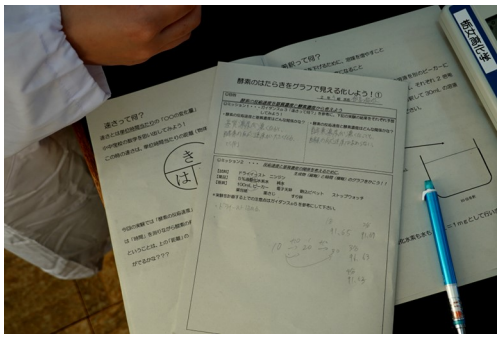
【 生徒の作成した実験計画の例 】
- ドライイーストは0.25gで変えずに、過酸化水素水を1.25%、2.5%、5.0%に変えて、10秒ごとに何g減るかを測定する。
- ニンジン1.5gに、過酸化水素水を2.5%、5.0%に変えて測定し、余裕があれば過酸化水素水の濃度をさらに変えて測定する。
- ドライイースト0.25gを20mLの純水に入れて、酵素液とする。過酸化水素水20mLの濃度を1.0%、2.5%、5.0%に変えてビーカーに入れる。両方をビーカーで振って混ぜる。入れた直後にストップウォッチを押し、30秒ごとに質量を測定する。

◎指導のポイントと生徒の様子◎

生徒が探究的な学習に円滑に取り組めるように、事前の単元「遺伝子の変化と進化の仕組み」において、モデル実験を通して思考する場面を設定した。また、最後の問いと、探究的な学習における目標を示すことで、生徒が見通しをもって取り組めるようにした。さらに、実験する上で忘れないでほしいルールをガイダンスプリントに示し、ルール内で信頼できるデータを収集するためにはどうしたらよいかを、班で十分に考えられるようにした。実験の計画を立てる場面では、酵素の反応がどのくらいの速度で進むのかをイメージできない生徒が多いと考え、過酸化水素水、試料、ガラス器具などの実験道具を用意し、生徒が予備実験をしながら過酸化水素水の濃度や量を決めたり、試料を選択したり、データ収集の方法を考えたりできるように授業を展開した。

既習事項やガイダンスプリントを確認するように促し、「実験のための実験だから、試しにやってみよう」「難しいかもしれないが、考え続ければいつか分かる」と励まし続けることで、生徒は具体的な計画を立てることができた。

8時間目 〔探究的な学習の過程⑤~⑦〕



班で立てた実験の計画について、結果を予想した後に、各班の計画をクラスで共有して修正する時間とした。自班と他班の計画を比較しながら、再度、ガイダンスプリントを確認し、条件制御や実験中の役割分担など自班の計画を修正する場面を設定した。

◎指導のポイントと生徒の様子◎

基質濃度と酵素の反応速度との関係のグラフについて、グラフの横軸や縦軸は何か、グラフはどのような形になるのかをイメージするように促した。また、データを収集するときに、一定にする条件と、変える条件に、生徒が気付くように声を掛けた。

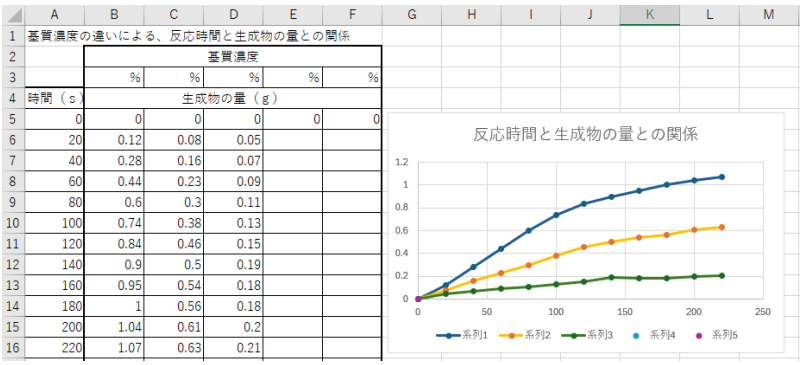
生徒は、自班の計画を他班に説明したり、他班の説明を聞いて質問したりする中で、自班の計画における条件制御の足りない部分や漠然としている部分に気付いたようであった。班で立てた計画を話し合いながら修正し、具体的な手順、データ収集の方法、役割分担など、詳細な計画を立てることができた。

9・10時間目前半 〔探究的な学習の過程⑧~⑩〕

班で立てた実験の計画に沿って実験を行い、生成物の量を測定した。測定結果をExcelを用いて集計し、反応時間と生成物の量との関係のグラフを作成した。そのグラフをもとに、基質濃度と酵素の反応速度との関係を考察してグラフの形をイメージする時間とした。

【 生徒の記述した考察の例 】

・基質濃度が高くなるほど、反応速度は大きくなるが、その後、だんだん傾きが緩やかになるようなグラフになる。
・基質濃度が高くなるほど、反応速度は大きくなるが、反応速度は途中から一定になる。
・基質濃度が高くなるほど、反応速度は大きくなるが、1回で酵素と基質が反応できる量には限界があるため、ある程度で一定になる。



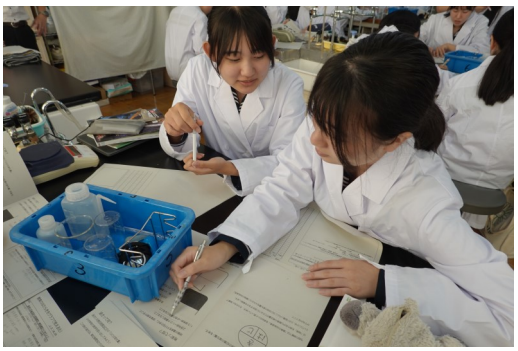
	A	B	C	D	E	F
1	基質濃度の違いによる、反応時間と生成物の量との関係					
2		基質濃度				
3		%	%	%	%	%
4	時間（s）	生成物の量（g）				
5	0	0	0	0	0	0
6	20	0.12	0.08	0.05		
7	40	0.28	0.16	0.07		
8	60	0.44	0.23	0.09		
9	80	0.6	0.3	0.11		
10	100	0.74	0.38	0.13		
11	120	0.84	0.46	0.15		
12	140	0.9	0.5	0.19		
13	160	0.95	0.54	0.18		
14	180	1	0.56	0.18		
15	200	1.04	0.61	0.2		
16	220	1.07	0.63	0.21		

◎指導のポイントと生徒の様子◎

測定する時間の間隔や過酸化水素水の濃度が班の計画によって異なるため、結果を自由に記入できるようにワークシートを工夫した。また、実験しながら気付いたことを記入する欄を設けた。Excelで作成したシートは、データ分析や考察の時間を確保するために、データを入力すると反応時間と生成物の量との関係のグラフが自動的に表示されるようにした。さらに、Teams上で各班のデータを共有して、自班の結果だけでなく、他班の結果と比較しながら考察できるようにした。

生徒は、得られたグラフをもとに基質濃度と酵素の反応速度との関係のグラフがどのようになるのかを班で話し合いながら考察していた。また、予想と異なる結果になった班は、条件制御の不足している部分を話し合いながら、濃度やデータ収集の方法などを変更して実験し直すなど、粘り強く取り組んでいた。

10時間目後半〔探究的な学習の過程⑪~⑭〕



9時間目までの探究的な学習を踏まえて、2つ目の問い「酵素の反応速度は、酵素濃度によってどのように変化するのか?」を調べるための実験の計画を立てる時間とした。班で具体的な計画を立てた後に、クラス全体で計画を共有した。自班と他班の計画を比較し、自班の計画の修正を検討する場面を設定した。計画した実験の結果を予想して、最後の問い「酵素の反応速度は、条件によってどのように変化するのか?」について個人でまとめた。その後、探究的な学習の最初に示した探究ルーブリックを使って、自己評価と班の取組を評価し、今後頑張りたいことをまとめて、探究的な学習全体について、振り返る時間とした。

【 生徒の記述した実験計画の例 】

・酵素であるドライイーストの量を0.5g、1.0g、1.5g・・・と変える。基質である5%過酸化水素水の量は変えない。反応してから10秒ごとに電子天秤を読み、反応してどのくらい軽くなったかを計算する。
・ドライイースト0.05g、0.15gを30mLの水に入れて酵素液にする。これを、過酸化水素水15mLに入れて生成物の量を測定する。
・過酸化水素水の濃度は変えずに、酵素の量のみを変え、生成物の発生量を測定する。生成物の量を時間で割り、そのときの反応速度を出して縦軸にする。その速度における酵素濃度を横軸にしてグラフをつくる。

◎指導のポイントと生徒の様子◎

酵素濃度と酵素の反応速度との関係のグラフをイメージして、一定にする条件と変える条件を考えたり、これまでワークシートに記入した気付いたことを踏まえたりしながら、具体的な実験の計画を立てるように促した。酵素や基質など目に見えないものの動きをモデルを用いてイメージするために、図に表すように促したり、基質を「パン」、酵素を「パンを食べる人」と仮定して、パンの数とパンを食べる人数が変化すると、パンがなくなるまでの時間はどのように変化するか想像力を働かせて考えやすくなるように工夫した。

生徒は、班で話し合いながら、1つ目の問いに対する実験の計画を立てたときよりも具体的な手順や役割分担など、詳細な計画を立てることができていた。また、探究的な学習の最後の問いについて考察する場面では、実験の計画、結果、考察をもとに、グラフの形をイメージしながらまとめることができていた。

11時間目

フィードバック調節や阻害物質など、酵素反応の調節について学ぶ時間とした。7~10時間目の探究的な学習の過程において生徒が作成したグラフや既習事項と関連付ける場面を設定し、酵素反応の阻害について理解を深めた。基質と酵素のモデルを用いて動きをイメージするために、図に表して考えるように促し、班で協働して学ぶ活動の場面を設定した。

12・13時間目

構造や機能など、膜タンパク質について学ぶ時間とした。自律神経系やホルモンなど「生物基礎」の既習事項と関連付けながら班で話し合い、説明する活動の場面を設定し、細胞膜上のタンパク質の機能について見いだして理解を深めた。

14時間目

単元全体で学んだことを振り返り、ワークシートにまとめる時間とした。振り返りをまとめた後には、新たな気付きが得られるように、班内で発表したり、クラス全体で共有したりする場面を設定した。

6 探究的な学習における評価について

◎探究ルーブリックを用いた生徒の自己評価

探究的な学習で使用した探究ルーブリックは、「課題を解決する力」「分析する力」「協働する力」という、3つの資質・能力を観点として設定した。Aより上の評価の場合はA⁺とし、さらにその理由をワークシートに記入できるようにした。また、班で協働して取り組んだ成果を実感できるように、個人の自己評価と同じ探究ルーブリックを用いて、班全体の取組についても評価するようにした。

探究ルーブリック（この探究的な学習における自分の目標！）

	課題を解決する力	分析する力	協働する力
A	実験の目的を理解し、試行錯誤しながら詳細な実験計画を立案している。	実験データを適した時間配分で収集し、分析している。	他の生徒とコミュニケーションを取りながら、協力して実験を進めている。
B	実験の目的を理解し、実験計画を立案している。	実験データを収集し、基本的な分析を行っている。	他の生徒の指示のもと、協力して実験を進めている。
C	実験の目的についての理解が不十分で、実験計画の立案が不十分である。	実験データの収集や分析が不十分である。	他の生徒と協力して作業を進めることが不十分である。

探究ルーブリックは、探究的な学習の最初に示して見通しをもたせ、探究的な学習の最後に自己評価と班全体の取組の評価に使用した。探究的な学習の最初に示したことで、生徒は身に付けたい資質・能力や班で協働することを意識しながら主体的に取り組むことができていた。探究的な学習の最後の自己評価や班全体の取組の評価では、自分の活動だけでなく、班員が相互にどのように貢献したかも含めて、振り返ることができていた。

【 自己評価において、「協働する力」が A⁺の理由の記述例 】

・積極的に発言して議論を先導したり、班員に積極的に話しかけてチームとしてのまとまりを生み出していたから。
・役割を決めて素早く実験をしたり、手が空いた隙に使用済みのビーカーを洗って次に使えるようにしたりするなど、機転を利かせることができたから。
・班員と活発に話し合い、役割分担をして、みんなで協力して実験を進めることができたから。

◎「思考・判断・表現」の評価例

教師による評価は、ワークシートの問い「酵素の反応速度は、条件によってどのように変化するのか?」に対する生徒の記述を分析することにより行った。その際には、以下の判断基準で評価した。実験結果をもとに考察するだけでなく、目に見えない基質と酵素の動きをイメージしながらまとめられている記述はA評価とした。

「十分満足できる」状況（A）	「おおむね満足できる」状況（B）	「努力を要する」状況（C）
基質濃度と酵素の反応速度、酵素濃度と酵素の反応速度との関係について、実験結果をもとに基質や酵素のモデルを用いて、動きをイメージして表現している。	基質濃度と酵素の反応速度、酵素濃度と酵素の反応速度との関係について、実験結果をもとに表現している。	基質濃度と酵素の反応速度、酵素濃度と酵素の反応速度との関係について、表現が不足している。

【 B評価の記述例 】

・基質濃度が高くなるほど、酵素の反応速度は大きくなり、一定になる。酵素濃度が高くなるほど、酵素の反応速度は大きくなり、一定になる。

【 A評価の記述例 】

・基質濃度が高くなるほど、酵素の反応速度は大きくなるが、基質濃度がある一定以上になると、1回の反応で、酵素と反応できる基質の量には限りがあるため、グラフは一定になる。酵素濃度が高くなるほど、酵素の反応速度は大きくなるが、酵素濃度がある一定以上になると、すべての酵素と反応できる基質の量にも限りがあるため、グラフは一定になる。

7 授業者より～実践の成果とこれからの方向性～

今回、「探究的な学習の充実」の実践にあたり、困難だったことは「どこまで生徒の主体性にまかせるか」「生徒が自分自身の成長を実感し、次の学びにつなげるためにどうするべきか」の2点です。

普段の授業では、生徒が受け身にならないように、能動的に考えて情報をインプットし、クラスメイトと説明し合うなどのアウトプットする場面を設定するようにしています。今回は、生徒が主体的に活動できるような授業づくりを心掛けました。当初の案は、教師が予備実験したデータをもとに、生徒が試料の濃度のみを選択して実験するという流れでした。これでは、結果の分析・考察以外の、実験計画の立案や条件制御など、理科の見方・考え方を働かせる場面を、生徒は経験することができません。そこで、生徒が試料を選択して実験の計画を立てる場面に焦点を当てることにして、最後の問いだけでなく、2つの段階的な問いも示し、探究のサイクルを回せるようにしました。ガイダンスプリントでは、まず実験器具による制限や、実験中の危機管理や留意点を示し、次に、反応時間と生成物の量との関係のグラフをつくるよう誘導しました。さらに、生徒が自由に予備実験を行いながら適切な計画を立てることができるようにしました。ある班では一定にするものと変えるものに気付いて、条件制御に着目しながら深い議論が進んでいました。また、探究活動では、探究の過程を繰り返したり振り返ったりすることも大切であると考え、まとめの時間に、1つ目の問いについての実験の計画、実験、考察を踏まえて、2つ目の問いについての実験の計画を立てるようにしました。2つ目の問いについての計画では、一定にするものと変えるものなどの条件制御、留意点など、詳細に計画を立てることができ、生徒も自分自身の成長を実感できました。実践後の生徒の意見では、「初めての経験で難しかったが、自分たちで試行錯誤して実験の計画を立てるのが楽しかった」「計画を立てることで、理解が深まった」など肯定的な感想が多くありました。

今回の実践で、生徒が問いの解決に向けて主体的に考え、理科の見方・考え方を働かせながら協働的に取り組む姿を確認することができ、科学的に探究する力を育成するためには、探究的な学習が有効であると改めて実感することができました。これからの授業においても、探究的な学習を取り入れ、生徒が試行錯誤しながら粘り強く課題を追究していくことができる場面をつくっていきたいです。

【 探究的な学習実施後の生徒の振り返り 】

・最初の実験で失敗してしまったが、よりよい結果を出すためにどのようにしたらいいか、実験の手順や役割分担を見直すことができた。班で確認したときに、自分の考えていることをもっと言えたらよかったと思う。今後は、意見を積極的に交換し合ってよりよい方法を探っていきたい。

・基質と酵素の使用量のバランスを考えて、反応に明確な違いが出るように予備実験を繰り返した。過酸化水素水とドライイーストの間に酸素がたまり、反応が悪くなってしまった。反応をより進めるためには、水溶液の量を増やしたり、混ぜ方を工夫したりすることが必要だったかもしれない。よりよいデータを得るために必要な工夫は何かを考えながら、再挑戦したい。

・問いにあった「基質濃度」とは何か、反応速度との関係を調べるために何をすればいいのかを考えて実験を開始した。実験を開始する前によく話し合ったことで、実験の途中で迷うこともなく、スムーズに実験を進めることができた。しかし、活発な話合いはできたが、メモを取るのを忘れ記憶があいまいになることもあった。今後は、メモを取りながら実験の途中でもことあるごとに振り返って改善できるようにしていきたい。

本実践で作成した資料は、栃木県総合教育センターWebサイトで閲覧及びダウンロードできます。
また、他教科の実践についても紹介されていますので、ご覧ください。

【問合せ先】 栃木県総合教育センター 研究調査部
〒320-0002 栃木県宇都宮市瓦谷町1070 TEL 028(665)7204