

高等学校物理における科学的な見方や考え方を育成する 問題解決型の学習の在り方

－自己評価と相互評価を機能させた指導システムの実践－

石川 真理代（東京都立戸山高等学校）

1 はじめに

中央教育審議会答申（平成20年1月）では、理科に関する課題を踏まえ、子供たちが知的好奇心や探究心をもって、自然に親しみ、目的意識をもって観察・実験を行うことにより科学的な見方や考え方を養うことができるよう改善を図る必要があるとしている。本研究では問題解決型の学習における自己評価とグループワークによる相互評価を通して、科学的な見方や考え方を育成するための指導の在り方を追究することとし、実践を通して検証をした。

なお、本研究では、私が平成25年度東京都教員研究生として行った研究主題『高等学校物理における科学的な見方や考え方を育成する問題解決型の学習の在り方－自己評価と相互評価を機能させた指導システムの構築－』と今年度の実践を合わせて報告する。

2 基礎研究

小学校学習指導要領及び小学校学習指導要領解説理科編、高等学校学習指導要領、「平成24年度教科基礎調査研究【理科】」、「平成24年度東京都教育研究員研究報告書高等学校理科」等より以下のことを明らかにした。

(1) 「科学的な見方や考え方」とは

「科学」とは、問題に対する仮説が観察・実験等により検討できること【実証性】、同一条件のもとでは同一の結果が得られること【再現性】、導出した結論が事実に基づき客観的に認められること【客観性】といった基本的な条件により成立する。生徒の見方や考え方を科学的なものに育てるためには、授業の中でこれらの条件を検討する場面を設定する必要がある。

(2) 問題解決型の学習とは

児童・生徒が自然の事物・現象に親しむ中で興味・関心をもち、そこから問題を見だし、予想や仮説を基に観察、実験などを行い、結果を整理し、考察を通して結論を導き出す過程が理科における問題解決の過程である。本研究においては、生徒の気付きや疑問などに基づく「学習問題」の設定、「予想・仮説」、「検証の計画」、「検証」、「結果の導出」、「考察」、「結論の導出」といった一連の活動を問題解決型の学習とした。

(3) 問題解決型の学習と「実証性」、「再現性」、「客観性」

「実証性」とは観察・実験によって仮説を検討できる条件、「再現性」とは同一実験条件の下では同一の結果が得られる条件、「客観性」とは事実に基づき客観的に認められる条件である。本研究では、問題解決型の学習の過程において、「実証性」を

予想・仮説と検証計画の場面に、「再現性」を検証と結果の導出の場面に、「客観性」を考察と結論の導出の場面に当てはめることとした。

(4) 自己評価と指導者による評価、指導者による生徒へのフィードバックとは

生徒は自分が思考したことを自己評価することにより、自分の学習状況を把握することができる。さらに、指導者は評価をすることで生徒の学習状況を適切に把握することができ、その評価を生徒にフィードバックすることにより不十分な点に気付かせることができる。本研究においては、自己評価に加え生徒同士に相互評価をさせることでその効果を高めていく。

3 調査研究

本研究では、平成 25 年 7 月から 10 月にかけて、都立高等学校 18 校の生徒 2,577 人を対象として、科学的な見方や考え方や問題解決型の学習に関する意識調査を行った（図 1～図 4）。意識調査によると、科学的な見方や考え方が自分に身に付いているかを問う項目については、29.0%の生徒が「そう思う」、「ややそう思う」と肯定的な回答をした（図 1）。また、予想や仮説を立てて問題を解決した学習経験を問う項目については、42.3%の生徒がその経験があると回答した。問題解決的な学習に対する意識調査では、特に図 3 ④の観察・実験の技能を問う項目以外の問題解決型の学習の過程について、「得意である」と回答した生徒の割合は、いずれも約 30%であった。学習に対する自己評価について調査をしたところ、

「自分の学習を自分自身で評価（自己評価）することが大切である」に肯定的な回答をした生徒の割合は約 75%であったのに対し、「自分の学習状況を自分自身で評価（自己評価）している」に肯定的な回答をした生徒の割合は約 40%であった（図 4）。

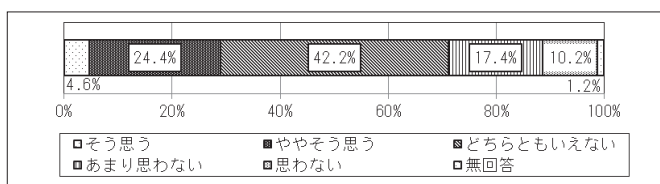


図 1 科学的な見方や考え方が自分に身に付いているか

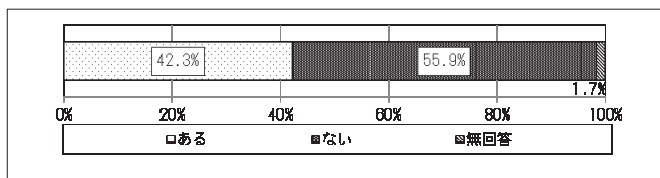


図 2 予想や仮説を立てて問題を解決した学習経験

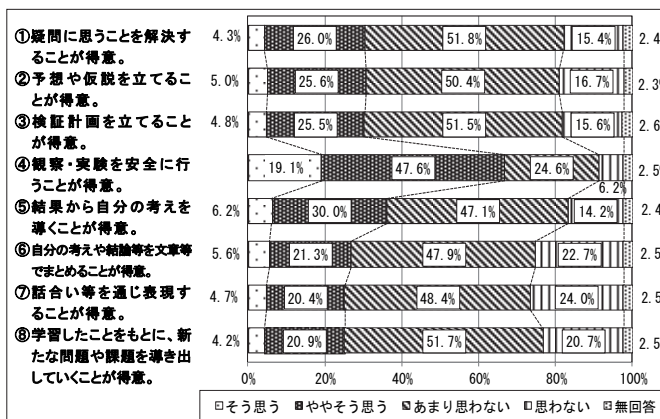


図 3 都立高等学校 18 校の生徒 2,577 人の問題解決的な学習に対する意識調査

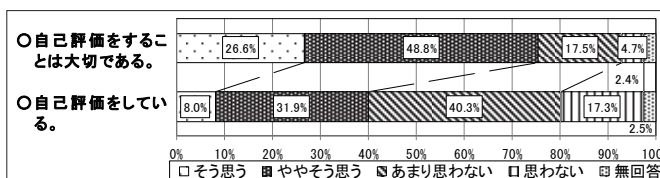


図 4 自己評価についての意識調査

4 育てたい生徒像と、自己評価と相互評価を機能させた問題解決型の指導システムについて

本研究では、育てたい生徒像を「自ら問題を見だし、観察・実験の結果をもとに筋道立てて考察し、結論を導き出し、新たな問題を見出すことができる生徒」とし、高等学校物理領域の学習において、生徒が自ら問題を見だし、観察・実験を通して問題を解決し、結論を導き出す問題解決型の学習の充実を図ること

とした。また、問題解決型の学習の過程において、生徒に自己評価をさせるとともに、生徒同士で相互評価を行わせながら学習を改善させることで、科学的な見方や考え方を育成できると考えた（図5）。

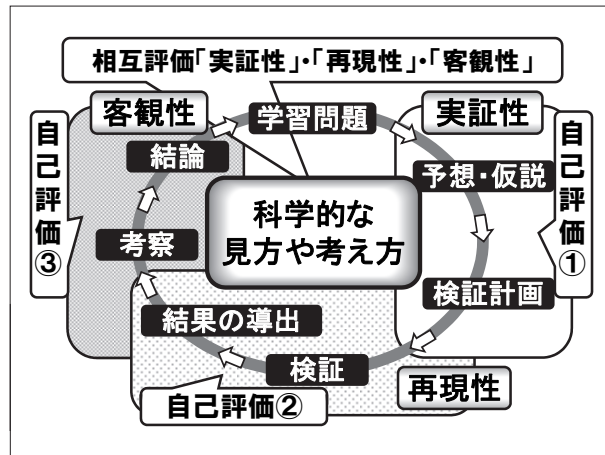


図5 自己評価と相互評価を機能させた問題解決型の指導システム

科学的な見方や考え方を育成できると考えた（図5）。

5 検証授業

平成 26 年 4 月から現任校において、12 時間分の授業を 6 回に分けて実施し、問題解決型の指導システムの有効性を検証した。検証授業の全てで問題解決型の授業を行い、科学的な見方や考え方の三要素において、指導者の評価とアドバイスをワークシートに記入し、次時に生徒へのフィードバックを行った。各時間における主な活動は表1のとおりである。次頁から「光はガラスをどのように進むのか」を調べる第1～4時の検証授業と、「水溶液の屈折率には規則性があるのか」を調べる第5～12時の授業について、実際の問題解決型の授業展開を示した。

表1 各時間における主な活動

時間	学習問題	具体的な活動
第1・2時	光はガラスの中をどのように進むのだろうか。	台形ガラス、待ち針、分度器等を使い、ガラスの表面で光が屈折することを確認した。そして、作図の方法を学んだ。
第3・4時		第1・2時間目の実験方法等を見直し、入射角、屈折角を測定しながらガラスの屈折率を求めた。実験は丁寧に、都合の良い記録だけを残すのではなく、全ての記録を残していくことや、平均値を求めることで理論値に近づくこと等を確認した。
第5・6時 第7・8時	水溶液の屈折率にはどのような規則性があるのだろうか。	実験方針の似ている者同士で実験班を再編成した。各自、ジュースや塩、砂糖、容器等を用意し、実験方法を検討し、光の道筋を調べ、屈折率を求めた。糖度計の仕組みについて学習し、濃度の違いによる屈折率の変化について考察した。
第9・10時 第11・12時 (最終回)		水溶液の濃度の違いによる屈折率の変化を調べた。実験で使用する針の太さや、レーザー光の幅等による読み取り誤差、容器による屈折率の影響、水溶液の濃度が均一になっているか、気温による変化はあるかなど、結果に影響を及ぼす様々な要素について条件を制御した。その上で、実験方法や実験器具の組み立て方を含め、実験方法について再検討した。そして、繰り返し実験を行い、その全ての記録を実験結果としてまとめた。最後に一般性を見出し、光の屈折に関する結論を導いた。

「自己評価と相互評価を機能させた問題解決型の指導システムを活用した検証授業
(第1～4時)」の生徒Aの記録

光はガラスの中をどのように進むのだろうか。

学習問題

生徒の記述(I)

私の予想: 屈折して進み、ガラスの中を出てくるときには始めに入ってきた角度と同じ角度で出ていく。そして、中学校で習った全反射という現象も起こると考える。

予想・仮説

自己評価・相互評価①

科学的な見方や考え方		相互評価 A・B・C	自己評価 A・B・C	授業者の 評価
実証性	○仮説を確かめられる実験なのかどうか。			
	1 学習問題に正対した予想や仮説を立てることができたか。	▲	▲	▲
	2 これまでに学んだ知識などをもとに予想や仮説を立てることができたか。	▲	▲	▲
	3 仮説は観察や実験等によって確かめることができるか。	▲	▲	▲

授業者よりアドバイス 前回の授業時よりも一層具体的になってきています。ガラスの屈折や作図等、様々な手段を使って考えられています。

実証性

【グループワーク(伝え合い・相互評価)】

検証実験の立案

解説図をかきながらまとめる。

ガラスの一つの面に針を一本固定し、それを重ねるように見る。そして、見えた位置に二本目を置く。これが光の通った道筋(直線)となる。

手順① 光を進ませる方向の直線上に針を二本置く。(一本はガラスに接触させ、もう一本はガラスから離す。)

手順② 向かい側から見て、四本重なるように針を置く。

手順①で入射光の角度が決まり、手順②で出てくる光の角度も決まる。そして、面についている二つの点を結ぶことで屈折している角度も決まる。

再現性

全反射の場合も四本の待ち針が全て重なるように置いた。そこからガラスの中の屈折と反射の角度を考えた。その際に、屈折角はその場では求められないため、ガラス内部の三か所の角度が全て同じになるように進む光線を考えた。そして、全ての線をつないで全反射の場合の光線の道筋を作図によって完成させた。

入射角が30度、45度、60度の場合で繰り返し屈折角、出てくる光の角度を測定した結果、出てくる光と入射光はほぼ平行になっていた。ただし、少し誤差が生まれていた。

自己評価・相互評価②

科学的な見方や考え方		相互評価 A・B・C	自己評価 A・B・C	授業者の 評価
再現性	○何度も実験して得られた間違いない結果と言えるかどうか。			
	1 検証方法や手順、条件等は、いつ、だれが行っても同じ結果を得られるか。	▲	▲	▲
	2 検証の方法や手順、条件等は、何度も再現できるか。	▲	▲	▲
	3 検証の結果は、一定程度の回数の検証を通して得られたものか。	▲	▲	▲

授業者よりアドバイス 検証方法について、それぞれの角度で3回ずつ繰り返し実験を行いデータを集めることができました。次は、平均までまとめていけると良いですね。

考察

生徒の記述(II)

結果から、平行になっているガラスの側面から入射した光と、出る光の通り道は互いに平行になることがわかる。屈折率には多少誤差はあるが、ほぼ同じ数値になった。このことから屈折率は同じ物質ではどこでも値は等しくなると考えられる。

生徒の記述(III)【グループワーク(伝え合い・相互評価)】

入射角が30度、45度、60度と増加すると、屈折角も増加する。その増加量は比例するとほばいえる。

学習指導上の配慮について 指導者は生徒の既習事項や学習段階を十分把握した上で学習指導及び評価をする必要がある。本検証授業は1年生を対象とし4月に実施したため、評価の際にはそのことを十分考慮し、その後の授業等において継続して学習指導を行っている。

客観性

生徒の記述(IV)

光は空気中からガラスへと直進する場合入射角 > 屈折角の関係が分かる。屈折率は物質によって決まっている。全反射という現象も現れる。

自己評価・相互評価③

科学的な見方や考え方		相互評価 A・B・C	自己評価 A・B・C	授業者の 評価
客観性	○得られた結論は常に正しい結論と言えるのかどうか。			
	1 考察から導き出した結論は、予想や仮説を確かめられるものか。	▲	B	▲
	2 実験結果を事実として整理しまとめることができたか。	▲	B	▲
	3 実験結果を、科学的な見方や考え方、知識等に照らして考察できたか。	▲	B	▲

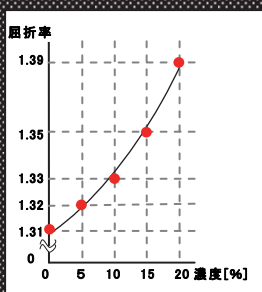
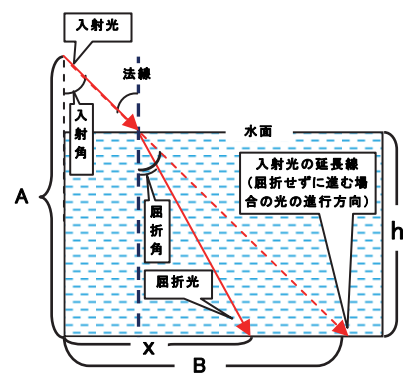
授業者よりアドバイス グラフを作り、データをまとめられました。今回は厚ガラスの平行面に限定していますが、角度の違う面に対しても調べられると良いでしょう。紙面に収まらない場合はレポートを用意するなど工夫をし、ぜひ良いものを作っていきましょう。

結論から見出した新たな問題 ガラス以外の物質の屈折率はどのようにになっているのだろうか。

指導者は授業後に「評価」と「授業者よりアドバイス」を記入し、次時以降に生徒へフィードバックをする。

「自己評価と相互評価を機能させた問題解決型の指導システムを活用した検証授業
(第5～12時)」の生徒Bの記録

学習問題	水溶液の屈折率にはどのような規則性があるのだろうか。	
	生徒の記述 (I)	自己評価・相互評価①
予想・仮説	私の予想：光の屈折という現象は2つの物質の光の通りやすさの違いによって生じる。また、水溶液中に均一に存在する溶質に光がぶつかることで水分子の振動に影響することも考えられる。その効果は溶質の量が多くなればなるほど大きくなると考えられるので水溶液は濃度が高くなるほど屈折率が大きくなると予想する。	科学的な見方や考え方 ○仮説を確かめられる実験なのかどうか。 1 学習問題に正対した予想や仮説を立てることができたか。 2 これまでに学んだ知識などをとらえて予想や仮説を立てることができたか。 3 仮説は観察や実験等によって確かめることができるか。 <small>授業者よりアドバイス 文献にあたりながら、班の独自性を打ち出した実験計画を立てることができた。粒子の動きに着目した内容についてはさらに文献等に当たって調べていく必要があります。</small>
	実証性	科学的な見方や考え方 相互評価 A・B・C 自己評価 A・B・C 授業者の評価 ○仮説を確かめられる実験なのかどうか。 1 学習問題に正対した予想や仮説を立てることができたか。 2 これまでに学んだ知識などをとらえて予想や仮説を立てることができたか。 3 仮説は観察や実験等によって確かめることができるか。 <small>授業者よりアドバイス 文献にあたりながら、班の独自性を打ち出した実験計画を立てることができた。粒子の動きに着目した内容についてはさらに文献等に当たって調べていく必要があります。</small>
検証計画	【グループワーク(伝え合い・相互評価)】	検証実験の立案 解説図をかきながらまとめる。
	使用する食塩水は濃度0%(水道水)、5.0%、10%、15%、20%とする。各濃度における水溶液の屈折率を以下の手順で測定する。 手順 ① 黒色の容器の底に距離xを測定できるように直定規を固定し、濃度を調整した水溶液を注ぐ。 ② レーザーポインターを固定する。 ③ 左図より、距離xを読み取ることで、予め導出した数式に代入し、水溶液の屈折率を求める。 導出した式：水溶液の屈折率をnとして、 $n = \sin \tan^{-1}(B/A) / (\sin \tan^{-1}(B/A + ((x+0.2) - B)/h))$ (A、B、h、xは実測値)	科学的な見方や考え方 相互評価 A・B・C 自己評価 A・B・C 授業者の評価 ○仮説を確かめられる実験なのかどうか。 1 学習問題に正対した予想や仮説を立てることができたか。 2 これまでに学んだ知識などをとらえて予想や仮説を立てることができたか。 3 仮説は観察や実験等によって確かめることができるか。 <small>授業者よりアドバイス 文献にあたりながら、班の独自性を打ち出した実験計画を立てることができた。粒子の動きに着目した内容についてはさらに文献等に当たって調べていく必要があります。</small>
再現性	検証	自己評価・相互評価②
	図折率 	科学的な見方や考え方 相互評価 A・B・C 自己評価 A・B・C 授業者の評価 ○何度も実験して得られた間違いのない結果と言えるかどうか。 1 検証方法や手順、条件等は、いつ、だれが行っても同じ結果を得られるか。 2 検証の方法や手順、条件等は、何度も再現できるか。 3 検証の結果は、一定程度の回数で検証を通して得られたものか。 <small>授業者よりアドバイス 実験方法については文献等にあたりながら入念に計画をし、実験道具をそろえるなど班の独自性を打ち出しながら進められました。その一方で、実験にかけた時間が少し不足してしまいましたね。繰り返し実験を行いながら実験データそのもの見極め方等も含めて検討していきましょう。</small>
客観性	考察	自己評価・相互評価③
	生徒の記述 (II) 【グループワーク(伝え合い・相互評価)】 本実験の精度は、理科年表の値と0.01以上ずれている事から、あまり良いものといえない。原因として、 ① 計測の際、目盛の10分の1まで読み取らなかったため、有効数字が1桁上になってしまったこと。 ② レーザー光の幅による読み取りの誤差が生じたこと。 ③ 直定規とレーザーが完全に同軸になっていなかったこと等があげられる。 写真で判定したり、位置を固定することが必要だった。測定回数を増やしていくことが必要である。実験の精度の問題を考えると測定値をそのまま信じるのは困難である。 データをグラフに表すと、屈折率が濃度の上昇に関連していることが読み取れる。	科学的な見方や考え方 相互評価 A・B・C 自己評価 A・B・C 授業者の評価 ○得られた結論は常に正しい結論と言えるかどうか。 1 考察から導き出した結論は、予想や仮説を確かめられるものか。 2 実験結果を事実として整理しまとめることができたか。 3 実験結果を、科学的な見方や考え方、知識等に照らして考察できたか。 <small>授業者よりアドバイス 予想や仮説に照らして考察をする中で、今回は実験データの精度の面で不安が残りましたが、全体的にはおおむね満足できる内容に仕上がっていると判断しました。予想や仮説について、粒子の動きに関する記述がありましたので、引き続き文献等にあたりながら考えていきましょう。</small>
結論	生徒の記述 (III)	自己評価・相互評価③
	水溶液の濃度が高くなると屈折率も高くなる。	科学的な見方や考え方 相互評価 A・B・C 自己評価 A・B・C 授業者の評価 ○得られた結論は常に正しい結論と言えるかどうか。 1 考察から導き出した結論は、予想や仮説を確かめられるものか。 2 実験結果を事実として整理しまとめることができたか。 3 実験結果を、科学的な見方や考え方、知識等に照らして考察できたか。 <small>授業者よりアドバイス 予想や仮説に照らして考察をする中で、今回は実験データの精度の面で不安が残りましたが、全体的にはおおむね満足できる内容に仕上がっていると判断しました。予想や仮説について、粒子の動きに関する記述がありましたので、引き続き文献等にあたりながら考えていきましょう。</small>
指導者は授業後に「評価」と「授業者よりアドバイス」を記入し、次時以降に生徒へフィードバックをする。		



7 検証授業を通じた生徒への学習効果

(1) 問題解決型の学習の効果

「自己評価と相互評価を機能させた問題解決型の指導システムを活用した検証授業（第1～4時）」と、「自己評価と相互評価を機能させた問題解決型の指導システムを活用した検証授業（第5～12時）」における「予想・仮説」、「考察」、「結論」の「生徒の記述（I）～（IV）」において、既習事項としてそれまでに身に付いていた知識が、より具体的かつ論理的なものへと思考が発展していく変容が読み取れる。このことから問題解決型の学習の効果として、生徒の「思考」の深まりを検証できた。

(2) 「実証性」、「再現性」、「客観性」の三つの観点で自己評価・相互評価を行うことの有効性と指導者によるフィードバックの効果

第1～4時までと、第5～12時に分けて検証授業における生徒の自己評価、相互評価、指導者の評価の平均値の推移を分析すると、自己評価、相互評価、指導者の評価はそれぞれ上昇した（図6）。

また、第1～4時までと、第5～12時に分けて生徒の自己評価の妥当性を指導者の評価に照らして比較し分析すると、双方の評価が一致する割合が高まるとともに平均値も上昇した（図7）。その一方で双方の評価がCとA、CとBの組合せの割合が下降した。このことから生徒は、授業経験が増えるにつれ、客観的かつ適正に自己の問題解決の学習の在り方や問題解決の能力を見つめられるようになった。

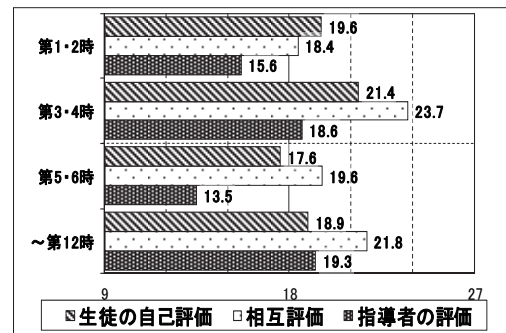


図6 実証性、再現性、客観性の全評価項目における平均値の推移 (A:3点,B:2点,C:1点 全9項目)

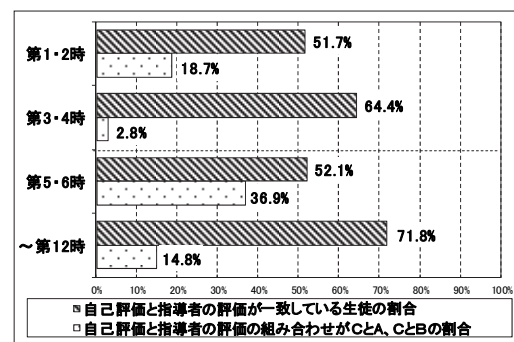


図7 生徒による自己評価と指導者による評価の妥当性

8 研究の成果

検証授業前後における生徒の問題解決的な学習に対する意識を比較すると「予想や仮説を立てること」を問う項目について「得意である」と回答した生徒は検証授業前の51.8%から検証授業後には72.0%に上昇した（図8，図9）。そして、「話し合いを通じ表現をすること」、「検証計画を立てること」、「疑問に思うことを解決すること」、「結果から自分の考えを導くこと」について「得意である」と回答した生徒の割合はいずれも約10%増加した。また、「科学的な見方や考え方が自分に身に付いた」と回答した生徒の割合は検証授業前の40.7%から検証授業後には64.0%に上昇した（図10）。以上より次の成果が明らかとなった。

・従前の高い数値が検証授業を通じて更に高まったことから、自分の考えに基づき予

想や計画を立て、話し合い等を通じて結論を導き出す問題解決型の授業の有効性が検証できた。

- ・問題解決型の学習を通じ理論と実験を両輪とした科学の本質を追究する活動につながった。
- ・生徒が問題解決の過程に沿って学習活動を行い、学習内容と自己の学習状況を「実証性」, 「再現性」, 「客観性」の要素で適切に把握することが、科学的な思考の促進につながった。
- ・問題解決型の学習において、各要素を生徒に常に意識させながら授業を進めるとともに指導者によるフィードバックを加えることで、科学的な見方や考え方の育成が図れた。

9 おわりに

昨年度から引き続き問題解決型の学習に一定の成果が得られた。今後も継続して生徒の科学的な見方や考え方の向上を図るため問題解決型の授業を行う。

10 謝辞

実態調査に協力して頂いた都立高等学校の校長先生方、理科担当の先生方、生徒の皆様をはじめ、本研究に協力して下さった多くの皆様に感謝申し上げます。本研究が理科教育の在り方を見つめ直す契機として役立てられましたら幸いです。

11 引用文献

- (1) 文部科学省：小学校学習指導要領解説理科編，平成 20 年 8 月 31 日
- (2) 文部科学省：高等学校学習指導要領解説理科編，平成 21 年 12 月 15 日
- (3) 平成 24 年度東京都教育研究員高等学校・理科 研究報告書，平成 25 年 3 月
- (4) 石川真理代：平成 25 年度東京都教員研究生カリキュラム開発研究報告書，pp. (12)-①-(12)-④，平成 26 年 2 月

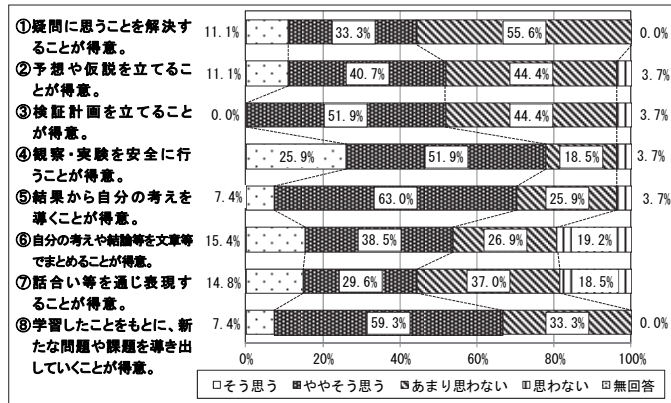


図 8 生徒の問題解決的な学習に対する意識調査 (検証授業前)

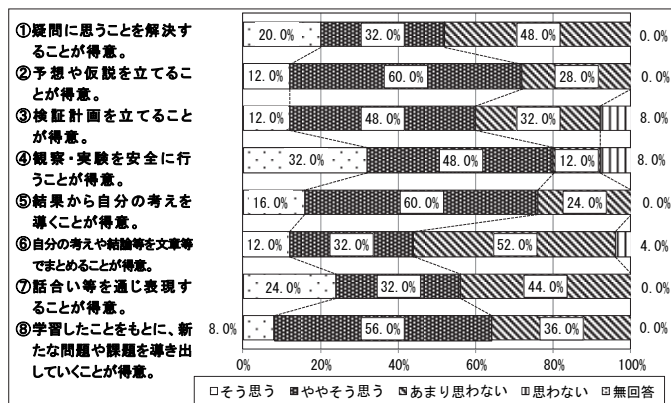


図 9 生徒の問題解決的な学習に対する意識調査 (検証授業後)

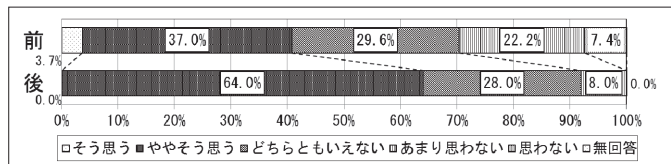


図 10 科学的なものの見方や考え方が自分に身に付いていると思いますか。(検証授業前後)