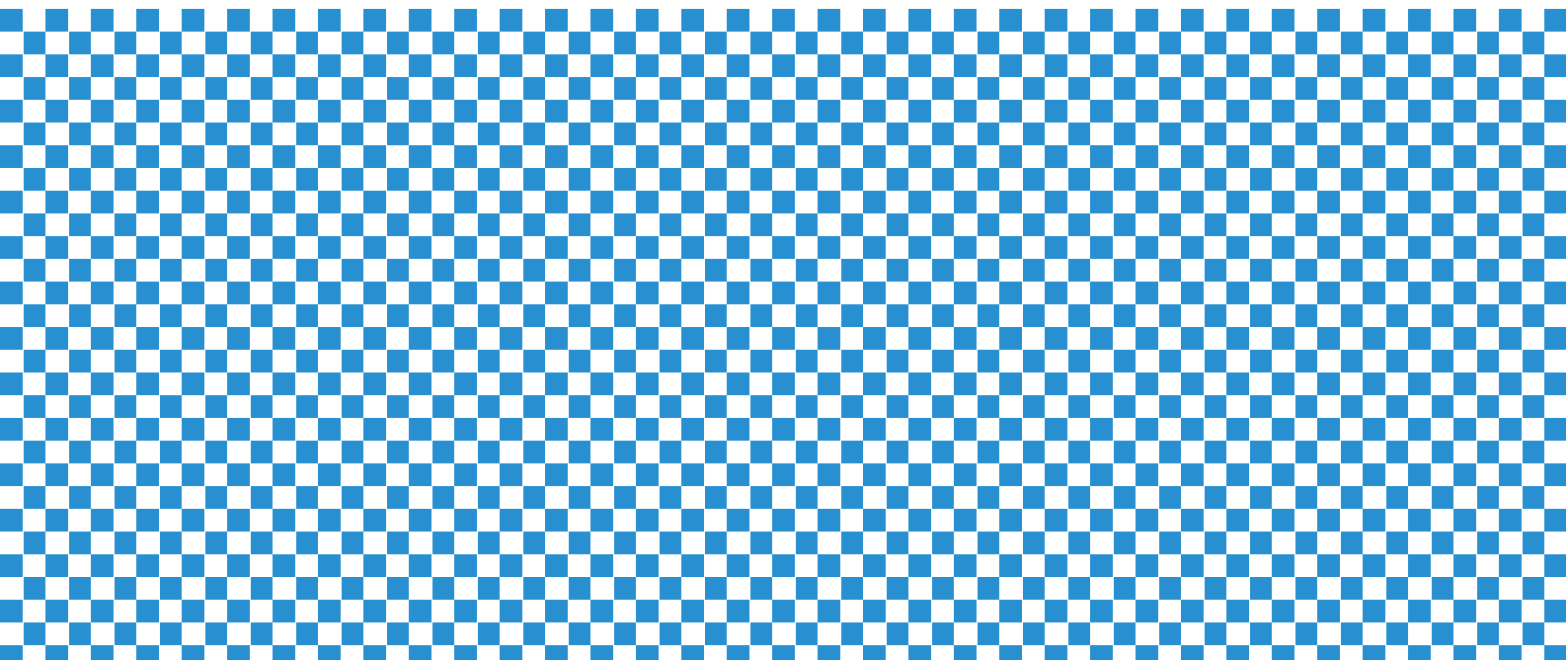


理科教育学を構築し、 分かる授業を展開する

Ishii Toshiyuki

石井 俊行

奈良教育大学 理科教育講座



理科教育学を構築し、分かる授業を展開する

奈良教育大学 理科教育講座 石井 俊行

1. はじめに

本学の理科教育講座では、物理・化学・生物・地学の自然科学と理科教育学の2つの領域から、子どもの発達と教育を総合的に捉え、小学校、中学校、高等学校の教育内容を編成する視点を養うことを目的に教育を行っています。

2. 授業内容

私は、この中の「理科教育学」を担当し、以下の1～6を習得させることを目的に、理科教育に関する講義に加え、小学校・中学校・高等学校で行う実験・観察の検証、教材研究を行っています。

- 1) 小学校・中学校・高等学校における理科教育のための知識
- 2) 学習指導要領を踏まえた指導案の作成の方法や教材開発の方法および評価の方法
- 3) 実験・観察の重要性とその効果的な取り扱い、ICTやモデル教材などの有効な活用法
- 4) 理科の学習内容における子ども達の概念獲得に至るまでの学びの過程
- 5) 安全な理科実験・観察の方法
- 6) 具体的な教材を用いた模擬授業

一方で、私の研究室では、この「理科教育学」の中の、理科をどのように教えれば生徒たちの理解が深まるのかについての授業の進め方について研究をしています。

具体的には、理解しにくい単元について、理解を困難にしている要因を明らかにし、それを克服するための教え方の工夫について研究をしています。

3. 今までの研究内容

今まで行ってきた主な研究テーマについて以下にまとめてみます。

- ① 中学理科の圧力の理解を深めさせる指導に関する一考察：数学の反比例の学習を活かして
- ② 学習の共通性を見いだす能力を高めさせる指導に関する一考察：濃度と湿度の飽和の概念を通して
- ③ 教科間における学習の転移を促す条件に関する考察とその提言：理科「光の反射」と数学「最短距離」の作図を通して
- ④ 理科と数学の教科間における問題解決に関する一考察：フックの法則、オームの法則の事例を通して
- ⑤ 実験結果と作図とを乖離させない理科指導の必要性：光の反射を事例にして
- ⑥ 理科における物質の性質を活用したものづくりの工夫：クリップモータの制作を通して
- ⑦ 中学生に“フェルマーの原理”を学習させることの有効性に関する研究
- ⑧ 分解と化合における子どものわかりやすさからみた学習の順序性とその指導法に関する提言
- ⑨ 中学生に複雑な回路になってもオームの法則が適用できる能力を高めさせるための指導に関する一考察
- ⑩ 生徒たちに理科を学ぶ意味を見出させる授業の工夫：興味・関心を高めさせる教材開発を通して
- ⑪ 唾液がデンプンを麦芽糖に変える”実験に関する研究：フィルムケースを使用する個別化を通して

- ⑫ 水流モデルと電位測定回路を用いた中学校電気単元の指導法
- ⑬ 凸レンズを通過した光が作る像の理解に関する基礎的研究：作図を完成する能力の影響について
- ⑭ 数学と理科との関連を図った指導に関する研究：文脈依存性を克服した指導への提言
- ⑮ 化学反応式を書く能力向上に関する研究：化学反応式の完成を阻害する要因の究明

4. 研究の内容の概略

以下に、『教科間における学習の転移を促す条件に関する考察とその提言：理科光の反射と数学最短距離の作図を通して』（科学教育学会：科学教育研究 Vol. 37(4), 283-294, 2013）の論文から抜粋したものを掲載いたします。

4-1. はじめに

理科と数学の内容は相互依存の関係にあり、自然の事象を対象とした理科の学習を数学の学習と関連させながら進めていくことは、生徒の科学に対する理解を深めるためにもとても重要である。

空气中を光が鏡によって反射して進む場合、媒質は同じであるため光の速さは変化せず、光が鏡によって反射して進む経路は最短距離の経路と一致する。このため、中学校理科における「物体からの光が鏡で反射して目に届くまでの経路を求める問題」と中学校数学における「最短距離を作図して求める問題」は解決方法の点で共通している。両者は、一見違うものに見えるが、共通の原理や構造がある。このような「作図」における理科と数学に関連する共通した題材をもとに、「学習の転移」を促す条件について考察した報告は見られない。

そこで、両者の問題を事象に取り上げて分析することで、「統合」の概念が萌芽するとともに、「学習の転移」を促す条件について解明できるものと考え、問題解決の際の「学習の転移」を促す条件について明らかにし、教科の独自性と理科と数学の相互補完のあり方について考察することを目的に行った。

4-2. 方法

1) 調査対象と実施時期

被験者は公立中学校1年生の4クラス113人で、2011年2月中旬の3日間を
かけ、以下の「理科テスト」と「数学テスト」の2種類のテスト、「意識調査」、
及び「反射に関する知識テスト」を実施した。

2) 調査問題

(a) 理科テスト

「理科テスト」は、第1学年の第1分野の「光の反射と像」の小単元で作成
した。火のついたろうそくからの光は四方八方に放たれる。その中の光が鏡で
反射して目に届くため、ろうそくの炎を鏡越しに確認することができる。この
ことを矢印を使って光がどのような経路を通り目に到達するのかを、上から見
た図に作図をさせて答えさせる問題である。その問題を図1に示す。

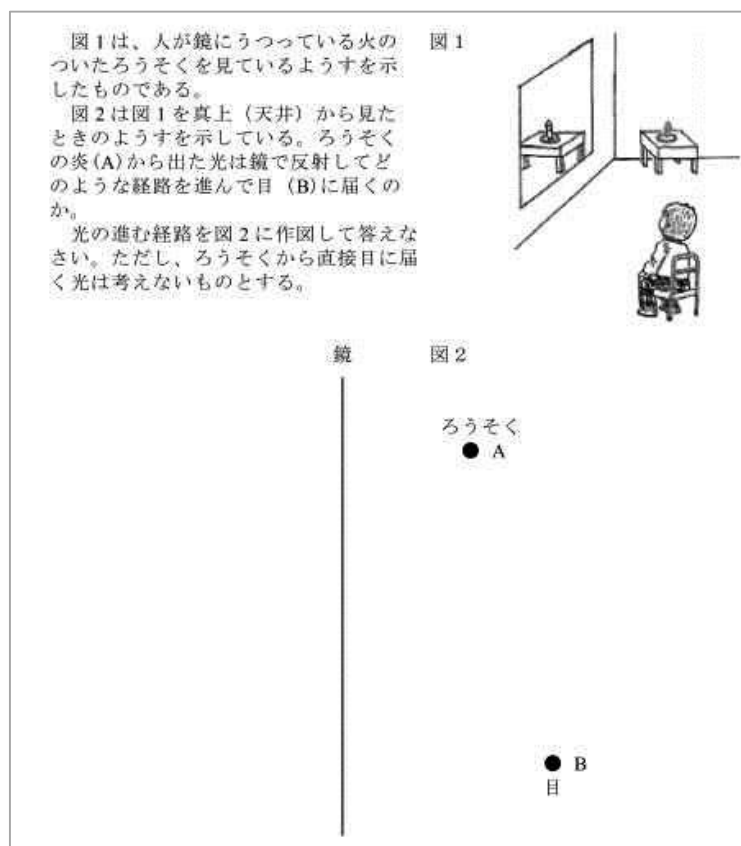


図1 理科テスト

(b) 数学テスト

「数学テスト」は、第1学年の「平面図形」の「作図の利用」の中の「水汲みの最短コースは？」（一松, 2006）を参考にして作成した。それは、“A地点から川の水を採取してB地点まで向かう際に、どの地点で水を採取してB地点まで進むと最短距離となるのかを求める問題”であり、「理科テスト」に対応して作成した。なお、被験者はこれらの内容を2010年の12月に履修している。その問題を図2に示す。

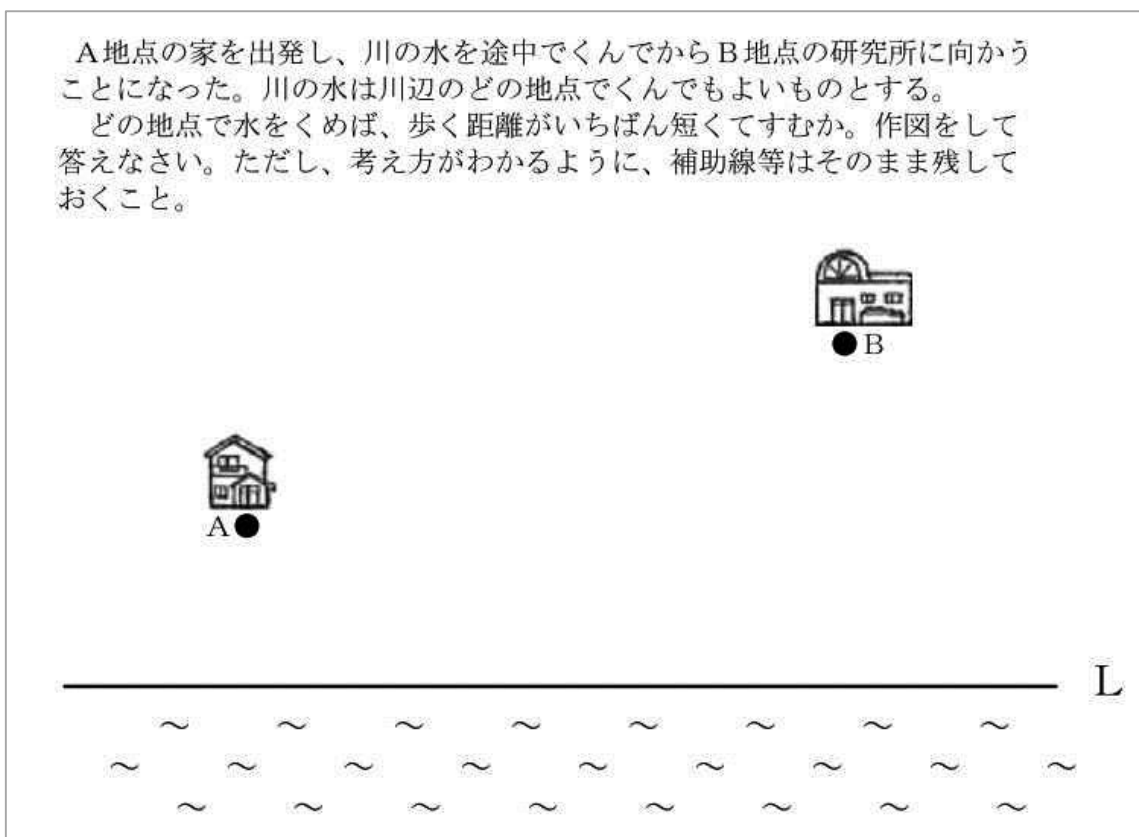


図2 数学テスト

(c) 意識調査

「理科テスト」と「数学テスト」に関する意識調査を行った。その意識調査を図3に示す。

問) 次の (1) ~ (6) の項目についてあてはまるものの記号を○でかこみ答えなさい。

(1) あなたは、数学と理科で同じような問題を行いました。それに気がつきましたか。

(ア) 気がついた。 (イ) 気がつかなかった。

(2) 数学と理科では、どちらのテストの方が解きやすかったですか。

(ア) 数学 (イ) 理科 (ウ) どちらともいえない。

(3) 数学の「もっとも短い距離を求める問題」と理科の「光の反射の問題」とは同じような方法で解くことができることに、前から気がついていましたか。

(ア) 気がついていました。 (イ) 気がつかなかった。

(4) 数学のテストは、数学と理科のどちらで学習した方法でときましたか。

(ア) 数学で学習した方法でといた。 (イ) 理科で学習した方法でといた。

(5) 理科のテストは、理科と数学のどちらで学習した方法でときましたか。

(ア) 理科で学習した方法でといた。 (イ) 数学で学習した方法でといた。

(6) 数学と理科で同じような方法でとけるような問題があるときは、そのことを先生が授業中に説明してくれるとよいとあなたは思いますか。

(ア) そう思う。 (イ) どちらともいえない。 (ウ) そう思わない。

図3 意識調査

(d) 反射に関する知識テスト

「反射に関する知識テスト」は、「理科テスト」の作図として完成された図を生徒に示し、以下のことについて解答を求めた。「反射の法則での入射角（ \angle ウ）と反射角（ \angle エ）が等しいことを説明せよ」そのテストを図4に示す。

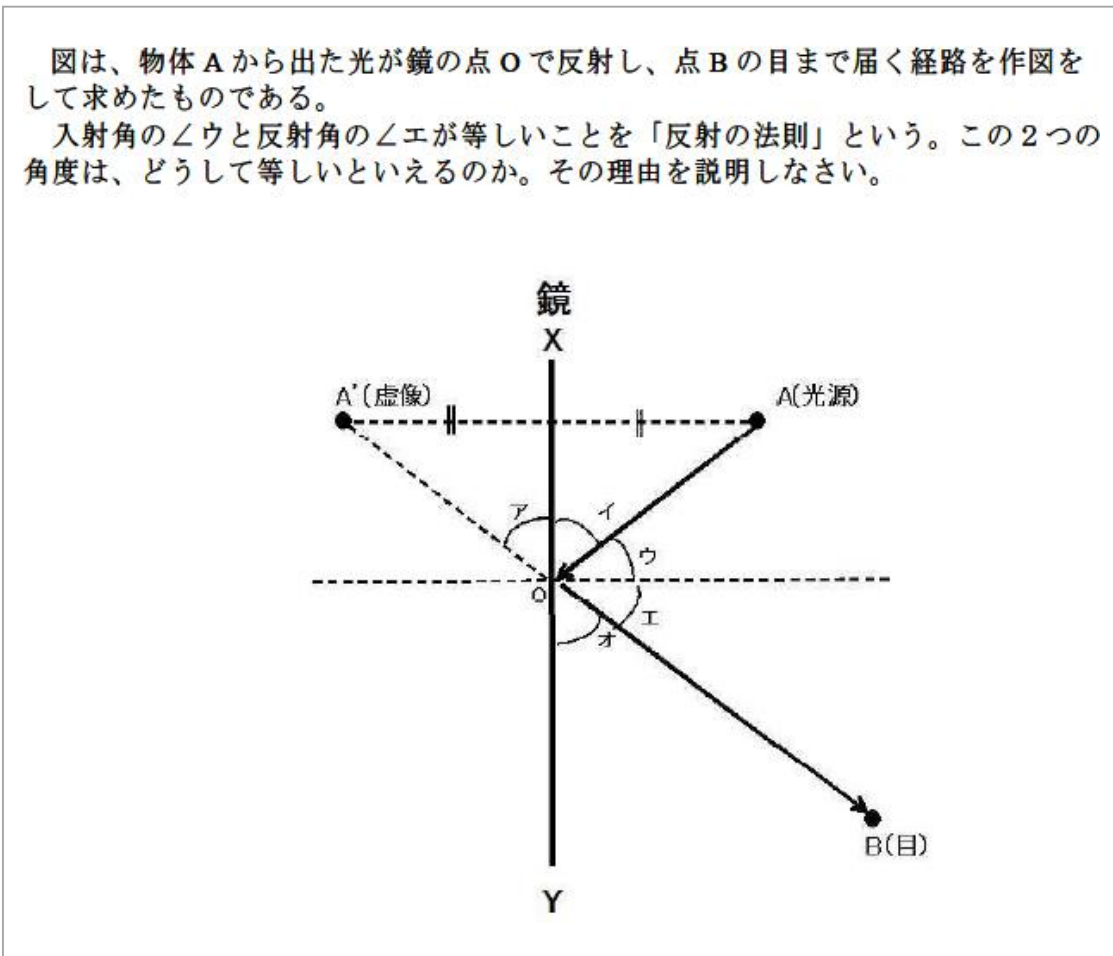


図4 反射に関する知識テスト

4-3. 結果

1) 気づきの段階と理科・数学の学力

両テスト実施前から両問題は似ていると気づいていた生徒（A段階）は、109人中46人（42.2%）であった。また、実施中、似たような問題を行っていることに気づいた生徒（B段階）は、44人（40.4%）であった。さらに、似たような問題を行っても気づけなかった生徒（C段階）は、19人（17.4%）であった。また、A・B・C段階の生徒の理科と数学のそれぞれの学力を比較した。それは、事前に行った理科と数学の定期テストそれぞれ2回の合計点で行った。その結果を表1に示す。分散分析によってA段階の生徒とC段階の生徒の数学学力に1%水準の有意差が見られた。A段階の生徒の方がC段階のそれより数学学力が有意に高いことが分かる。理科学力では、各段階の生徒の学力に有意な差は見られなかった。しかし、学習内容の共通性に気づけなかったC段階の生徒の理科や数学の学力が、A・B段階の生徒よりも少なからず低いことが分かる。

	数学学力		理科学力	
	m	SD	m	SD
A段階(n=46)	119.7	50.9	119.8	38.6
B段階(n=44)	105.8	49.2	110.2	37.1
C段階(n=19)	85.3	36.7	95.8	35.9

多重比較 ** 1%水準で有意差有り

表1 気づきの段階ごとの数学と理科の学力比較（分散分析）

4-4. 考察

1) 学習の転移を促す条件

① 気づきの必要性

生徒は理科の「光の反射の問題」を6月に学習した。その6か月後（同年12月）に数学の「最も短い距離を求める問題」を学習した。意識調査で実施前から両問題は似ていると気づいていた生徒（A段階）は、109人中46人（42.2%）であった。

これらの生徒は、12月に数学の「最も短い距離を求める問題」を学習した時に理科と数学の問題が同様の内容だと気づいたと思われる。理科・数学両テストの正答数は、テスト実施の以前から気づいていた生徒（A段階）46人中32人（69.6%）、テスト中に気づいた生徒（B段階）44人中17人（38.6%）、気づけなかった生徒（C段階）19人中5人（26.3%）であった。これらA段階、B段階、C段階の3グループを比較しても、いろいろな教科を学習しながら、その内容の共通性に気づけるという能力は、問題解決にとって必要な能力であると思われる。学習が転移するには、まずいろいろな教科を学習しながら、その学習内容の共通性に対しての「気づき(notice)」が必要である。「以前から共通性に気づいていた」A段階の生徒と「最後まで気づけなかった」C段階の生徒間の数学学力に1%水準の有意差が見られたことから、数学の不得手な生徒は、学習内容の共通性に気づくことができない可能性が高いと考えられる。鹿毛らは、先行の課題と後続の課題の間に、共通の原理・構造があったとしても、学習者がそれに気づかなければ正の転移は生じないと述べている(鹿毛・奈須, 1997)。

したがって、多くの生徒に「学習の転移」を起こさせるためには、各教科担任が他教科の学習内容の共通性ととともに、解法の共通性に気づかせることが重要である。「学習の転移」を起こさせることは、問題解決能力を高めさせる手だての1つと考えられる。

② 関連づけの必要性

数学の得意な生徒は、数学の問題を数学の解法で解くであろう。本研究の理科から数学への「学習の転移」には、数学の解法に自信のない生徒が、共通性のある理科の解法で解いてみようという「関連づけ

(interdisciplinary attitude)」があったと思われる。理科の解法で数学の問題を解こうとした生徒は 31 人おり、そのうち正答した生徒は 18 人(58.1%)であった。すなわち、「学習の転移」を起こした半数以上の生徒が、「数学テスト」を正答していた。「学習の転移」を起こした生徒の半数以上の生徒が正答している状況から、「数学テスト」を数学の解法で解こうとし誤答した 32 人の生徒の半数程度は理科の解法で正答できた可能性があると考えられる。鹿毛らは、ある特定の単元の学習指導を行う際にも、常に子どもたちが他の単元や他の教科で学んだ知識と関連づけるように指導することの重要性にも言及している(鹿毛・奈須, 1997)。

したがって、多くの生徒に「学習の転移」を起こさせるためには、解法に自信のない教科の問題を共通性のある他教科の解法で解こうと試みる「関連づけ」が必要なことが分かる。

2) 教科の独自の指導と相互補完の授業の必要性

① 教科独自の指導の必要性

意識調査から理科→数学グループで、どちらのテストもそれぞれの教科の解法で解こうとした生徒は 55 人中 31 人おり、その中で難解な数学テストを数学の解法で解こうとして誤答した生徒は 29 人いた。このように難解な問題を文脈依存性に陥り誤答した生徒が非常に多いことが分かる。通常の授業では、両テストの共通性については一切触れないため、生徒に「数学テスト」は数学で学習した解き方、「理科テスト」は理科で学習した解き方で解こうとする意識がはたらくことは当然である。

意識調査から同じ解法で解決できる場合には、授業でふれて欲しいと回答した生徒は、109 人中 86 人(78.9%)で、どちらとも言えない生徒 19 人を含めると計 105 人(96.3%)に達していた。

② 相互補完の授業の必要性

光の単元では、光が反射するとき、入射角と反射角が等しいことを実験を通して見出させる。「理科テスト」終了後、生徒の 1 人が「入射角＝反射角」(反射の法則)をもとに作図を試みたがうまくいかなかったことを告げた。実験に

よって見出した「反射の法則」が、この作図には全く生かされない。実験結果と作図とが乖離したような構造となっている。

本研究における「反射に関する知識テスト」の結果からも、物体の虚像を対称軸としての鏡に対して対称に点を取って行う「光の反射」の作図で、どうして反射の法則が成り立つのかを中学1年生に説明を求めることは非常に難しいことが分かった。これらを説明するには、中学2年生で履修する、三角形の合同条件、対頂角が等しいことなどの数学的な知識が必要である。しかしながら、本研究のように、生徒自らが入射角と反射角とが等しいことを説明することができなくても、教師側から、「光の反射」の実験後に、対称軸の鏡に対して光源の虚像を書いて鏡との交点を見出して、光源→鏡（交点）→目、の順に矢印で結ぶ作図を行った後に、中学2年生での履修内容である、「三角形の合同」や「対頂角が等しい」ことに軽く触れ、「入射角＝反射角」となることを説明しさえすれば、この乖離は解消するのではないだろうか。この振り返りを行わないと、実験で得られた内容と作図とは別物であるという印象を生徒に与えかねない。このことを払拭するためにも、時には未履修な数学の内容にも、理科の授業で触れる必要があると考える。理科の学習に必要な数学の学習内容が未履修なため、どうしても理科の授業で数学の知識を生徒に教えなくてはならない場面が多いことを、理科の学習事項と学習時期を縦軸に、数学の学習事項と学習時期を横軸にとったマトリックスを以前に示した（石井・箕輪・橋本, 1996）。

一方で、「光は最短時間の経路を進む（フェルマーの原理）」のうち、反射の現象は、同じ媒質の行き来で、光の速度が変化しないので、「最短時間＝最短距離」となるために、光の反射の問題の解法と数学の最短距離を求める問題の解法とが関連することについても中学生に触れておくことは重要である（石井・橋本, 2012）。

理科と数学の教師は、教科間の連携を深めるとともに、理科と数学での共通点と相違点を共有し、生徒の誤概念を生じさせないように、意識して授業を行う必要がある。

数学教科書の中には、単元の導入等の部分で、理科に関わる事象を取り上げたもの（岡本ら, 2012）も見受けられるが、さらに、理科と数学が相互に補完し

て学習ができるように、理科教科書と数学教科書で、関連した内容を互いに例示していく必要がある。この手だては、子どもたちに「気づき」と「関連づけ」の2つの能力を身につけさせ、「学習の転移」を起こし易くするものとする。

3) 抽象化能力を高める手だて

今回の「理科テスト」、「数学テスト」は、それぞれの教科の文脈（教科独自の解決方法）で解答をしていけば必ず解に辿りつくことができる。

生徒たちが学校から社会に巣立ったとき、一筋縄で解決できない問題が山積している。しかも、その解決によって得られた解が正答なのかどうかもすぐには判定できない場合もあり、正答には辿りつけないことさえある。どうしても柔軟な発想力と応用力（知恵）が必要になる。知識を知恵に変え、柔軟な発想力で、問題を解決できる力を生徒に身につけさせていく教育が今後はなお一層必要となる。そのためにも、基礎的知識をしっかりと習得し、それらを総動員して逞しく問題を解決していける人間を育てていかなければならない。しかも、教科独自の手法のみならず、他教科等で習得した方略も取り入れて解決していくことのできる応用力も持ち合わせたい。「数学テスト」を数学の手法で解決できないからとすぐにあきらめてしまう生徒であってはならない。本実験で「理科テスト」を数学の解法で正答した11人の生徒と「数学テスト」を理科の解法で正答した18人の生徒は、柔軟な対応力のある生徒だとも言えよう。

本研究では、数学的統合のみならず、理科と数学とを統合していく力を子ども達に身につけさせていけば、多様な問題に対応する能力が高まり（学習の転移も起こり）、共通性を見出す能力も高まっていくものとする。そのためには、知識とともにいろいろなことを俯瞰して見ることができる力も同時に育成していかなければならない。福島原発事故で汚染水が漏れ出ていることが問題となった際、原発の専門家が集まっても解決策が見つからなかった。最終的に、水ガラスを使った漏れを防ぐ技術を用いたが、この方法は建築業界では一般的なことである。瀧本はこの例を取り上げ、日本の教育は、学問の縦穴を掘ることばかりに注力していて、複数の学問をつなぐ横穴の掘り方は教えていないと述べている（瀧本, 2011）。正に「生きる力」に直結した考え方であるとも言えよう。

抽象化とは、表面が違って見えるものの、中身の共通性を見いだすことで、教育の成功のカギは、どれだけ学習者の抽象化能力を高められるかにある(富田, 2012)。抽象化能力を高める1つの方法として、一見違った問題と捉えがちな本実験の「理科テスト」と「数学テスト」の共通性に着目したい。この両テストを対比させた授業を生徒に行うことにより、生徒の抽象化能力が高められると考える。したがって、両テストを対比させた授業は、生徒の問題解決に対処していく能力を高めさせる手だての1つとして有効なのではないだろうか。

4-5. まとめ

現代社会における多くの企業が求めているのは、問題解決能力の高い人材である(岸本・渡辺, 2010)。問題点を把握し、それと対峙して逞しく問題を解決していくことのできる有能な人材の育成こそが教育の喫緊の課題である。

理科の「物体からの光が鏡で反射して目に届くまでの経路を求める」問題と数学の「最短距離を作図して求める」問題は、解決方法に共通性がある。本研究では、この点に着目し、教科間の「学習の転移」についての検証を行った。

その結果、「学習の転移」を促す条件として、「気づき(notice)」と「関連づけ(interdisciplinary attitude)」の両者が必要なことが明らかになった。本研究の意識調査でも、同じ解法で解決できる場合には、「授業でふれて欲しい」と回答した生徒が多数いたことから気づかせる手だての必要性が実証された。

理科と数学の教師は、生徒に「気づき」を起こさせる指導として、教材の共通点と相違点を共有し、誤概念を生じさせぬよう意識して授業を行い、生徒の抽象化能力を高めていく必要がある。また、同教科の解法につまずいても、他教科で学んだ知識を活用して解いてみようとする「関連づけ」を促す指導が必要である。

本研究で明らかにしたように、両教科の問題を対比させて学習させることは、両教科の共通性を見出す能力を高め、生徒に問題解決のための「学習の転移」を起こさせる手だての1つとして期待される。

このような学習指導上の工夫が、生徒の学習内容の理解を深め、さらに学習を転移させる力を高めさせることにより、発見や発明を促す能力や創造性を広

げる柔軟な思考力を育てるであろう。

問題解決に際し、教師は、生徒に教科独自の解法に固執させず、教科間に共通な原理・構造があることに気づかせ、それらに関連づける指導を行う必要がある。

[引用文献]

- 1) 石井俊行・橋本美彦『中学生に“フェルマーの原理”を学習させることの有効性に関する研究』『理科教育学研究』 Vol. 52, No. 3, pp. 1-10 (2012年)
- 2) 石井俊行・箕輪明寛・橋本美彦『数学と理科との関連を図った指導に関する研究 -文脈依存性を克服した指導への提言-』 Vol. 20, No. 4, pp. 213-220 (科学教育研究、1996年)
- 3) 一松信ほか『中学校数学1』 p. 139 (学校図書、2006年)
- 4) 鹿毛雅治・奈須正裕『学ぶこと教えること』 pp31-37 (金子書房、1997年)
- 5) 岸本光永・渡辺三枝子『考える力を伸ばす教科書 -ダイアログと論理で思考力を高める-』 pp. 38-41 (日本経済新聞、2010年)
- 6) 岡本和夫・小関熙純・森杉馨・佐々木武ほか『未来へひろがる数学3』 pp. 82-84 (新興出版社啓林館、2012年)
- 7) 瀧本哲史『武器としての決断思考』 pp35-39 (星海社、2011年)
- 8) 富田一彦『試験勉強という名の知的冒険』 P. 145 (大和書房、2012年)

石井 俊行 (Ishii Toshiyuki)

1988年 兵庫教育大学 大学院 学校教育研究科 修士課程修了。

1988年 栃木県宇都宮市中学校 教諭。

2002年 兵庫教育大学 大学院 連合学校教育学研究科 博士 (学校教育学)。

2002年 宇都宮大学 非常勤講師。

2012年 奈良教育大学 准教授。

【研究テーマ】

子ども達の科学概念の構築を阻害する要因の究明とそれを克服する教授法

【著者の自己紹介】

私自身が学校現場で直接子ども達に教えておりましたので、子ども達がどのような部分でつまずくのが分かります。これを活かして、どうして子ども達がつまずいてしまうのかを学術的に研究し、その解決策を見いだして、そのことを論文にしています。論文を発表することで、子どもたちに対して分かる授業が全国で展開されていくものと考えています。

石井研究室では、学部生・院生が学校現場の教員になってからも、自分自身で論文が書けるように指導を行っています。

—座右の銘 『有言実行』

理科教育学を構築し、分かる授業を展開する

著者 いしい としゆき
石井 俊行

2015年3月31日 第1版

奈良教育大学出版会

〒630-8528

奈良市高畑町

TEL: 0742 (27) 9135 FAX: 0742 (27) 9147

E-mail: g-kenkyu@nara-edu.ac.jp

URL: <http://www.nara-edu.ac.jp/PRESS/>