

理科教育に科学古典を利用 する一つの新しい試み

渡 辺 正 雄
菅 原 香 代 子

1

理科教育における教科内容は、言うまでもなく、確立された科学上の知識や諸概念にもとづいて立てられている。すでに廃棄された過去の科学理論は、そこでは殆んど何らの地位も占めていない。これは、自然科学の性質上、当然のことであり、また必要なことである。しかしながら、また、まさにこの故に、理科教育の実際があまくだりの詰込みになり、受動的な暗記に終る危険がある。しばしば、生徒たちは、自然の諸現象について、自分で疑問をいだく前に先ずその答えを教えられ、自分で驚きを感じる前に、もろもろの驚きや不思議について、驚くことも感動することもなしに多くのことを知らされることになるからである。こうして、「理科」は、受動的で無味乾燥な一種の暗記ものとなるばかりでなく、自然科学の本質に関しても全く見当違いな印象を植えつける結果になり易い。そこで、当然主張されるのが、実験と観察および視聴覚教育の必要性である。実際、これらは理科教育のために不可欠であり、その重要性はいくら強調しても足りないほどである。しかし、これらを用いてもなお、生徒の自発性を十分に発揮させることが困難な場合も少なくない。彼らを真に探究的な態度で自然に向かわせることは必ずしも容易ではない。

この困難を打開するためのきわめて有効な手段としてここに提示するのが、科学史上の古典を理科教育に利用する筆者らの新方法である。科学史上の古典は、今日では科学上の基本的知識となっているような事項がまだ確立されていなかった時代に書かれたものである。したがってその中に

は、この種の事項に関して、各種の立場からなされた、いわばなまの考察と討議があらわれている。このようなものを科学古典の中から見つけ出して実際の理科教育に活用するならば、教師は、ある問題について、これをあたまから自明的なこととして生徒に教え込む代わりに、生きた科学上の新鮮な疑問として、彼らに提示することができるであろう。すると、それはたちまち生徒自身の問題となり、彼らは、自らの問題として、自らの五感と思考力を働かせてこの問題を調べ考えるであろう。こうして、理科の教科内容は、平板的なあまくだりの知識ないしは十分な理解を伴なわぬ暗記の対象となることを免れて、生徒自身の積極的な探究によって自発的に発見される新鮮な知識の対象となるのである。この方法が理科教育に資するところは少なくないと思われる。

筆者らは、最近邦訳されたガリレイの『天文対話』(上)⁽¹⁾について予め研究し、その内容の一部を、上述の方式に従って、中学2年(女子)の「理科」における「慣性」の学習に適用することを実地に試みて好結果を得た。もとよりこれは最初の試みにおける一結果に過ぎず、予め報告書を作成する意図をもって行なわれたものでないため、調査としての形態を整えてはいないが、他に前例のない試みであり、且つ今後この方向に理科教育の研究が進められることは大いに意義があると思われるので、ここにとりあえずその内容を報告する次第である。

2

ガリレオ・ガリレイの『天文対話』(1632年)⁽²⁾は、まだ中世以来の地球中心の宇宙観が支配的であった時代に書かれたものであり、伝統的な自然学の立場を代表する「シムプリチオ」と、新しい太陽中心説(地動説)および近代的力学の立場すなわち著者ガリレイ自身の立場を代表する「サルヴィアチ」、および進歩的な市民「サグレド」の3人の間の4日間にわたる対話という形で、宇宙体系や物体の運動などに関する諸問題を論じている。邦訳『天文対話』(上)は対話の「第1日」と「第2日」に当る。そ

の内容は、大きく分けて、望遠鏡による天体の観測結果にもとづく地動説の主張、これに対する天動説の側からの反論、この反論に対するガリレイ側の答えなどであるが、とくに、もし地球が回転するなら地上の物体や空中の物体がその影響を受けない筈はないという疑問に対しては、例を豊富に挙げて説明を行なっている。もしも地球の運動や力学の諸法則が自明的でないならば、これらはいずれも、もっともな疑問であり、当然問題にしなければならないことがらである。

そこで、筆者の一人が受持っている中学2年生（女子）に単元「力と運動」の中の「慣性」を教えるに際し、生徒たちの興味を誘起するための導入の教材として、『天文対話』（上）に挙げられている例の幾つかを利用することを試みた。もちろん、ガリレイの時代にはまだ慣性の概念は確立しておらず、ガリレイ自身の考えにも不完全な点が少なくないが、しかし彼が引用している例はいずれも、彼の説明とともに、わかり易くて興味深いものである。これらの例をもととして、筆者は問題9題を作成し、40分間に、これに対する生徒各自の考えを紙上に自由に答えさせることとした。問題は下記のとおりである。ただし、それらは『天文対話』の中の例に多少の変形を加えたものである。また、慣性と関係のない問題も中に含まれているが、これらも、生徒の知識と考察の程度を見るために出題したものである。

問題1. 地球が1日に1回転しているのを知っていますね。どんなことからそれがわかりますか。なぜ、天が回転しているのではないと言えるのでしょうか。（理由はいくつあげてもよい。）

問題2. 地球がまわっていることを体で感じたことがありますか。なぜでしょう。（理由はいくつあげてもよい。）

問題3. 空の鳥は、空に上っているうちに地球が回転してしまうので、地上のもとの場所をめざして一生けんめいに追いかける必要はないのでしょうか。なぜでしょう。

問題4. 地球が西→東の回転をしているなら、西向きに投げたボールは

うまく目的の地点に着きますか。なぜでしょう。

問題5. 走っている船のマストの上からボールを落としたら、ボールはマストの根もとに落ちますか、それとも、その間に船が前進して、少し後へ落ちるでしょうか。根もとに落ちると思う人は、なぜでしょう。

問題6. 毎秒10mで前進している馬の上から後向きに毎秒10mの速さでボールを投げたときのボールの速さは、この馬が止まっているときに同じように投げたときのボールの速さとくらべて、外から見ている人にとって同じに見えるでしょうか。

問題7. 走っている電車の中でとび上ると、その間に車は前進して、人は後の方へ落ちるでしょうか。

問題8. 電車が走っているときは何も感じないのに、急にとまると前へ倒れるのはなぜでしょう。

問題9. 私達が地上から振り落とされないのはなぜでしょう。

3

試みの対象となったのは、中学2年(女子)のA組(56名)およびB組(57名)の2クラスで、A組は教科書に従って一応「慣性」というものを学んだクラスであり、B組は次の時間から「慣性」に入るクラスである。したがって、B組については、この質問が目的どおり導入としての役割をもつが、A組については、一通り教えられた慣性の本質を生徒たちがどの程度に理解し、具体的な現象にどれだけ間違いなく当てはめて考えることができるかということを見るためのものとなる。さらにこれら両組の結果を比較してみることも有意義であろう。

結果は次のとおりである。

問 題	答 の 内 容	人 数	
		A 組 (56名)	B 組 (57名)
1	夜と昼とがあるから。	51	51
	北極星は動かないから。	7	7

	月日食があるから。	4	5
	四季があるから。	2	4
	船出のとき帆が下から見えなくなる。	2	0
	潮の干満がある。	2	4
	長い振子の示す方向が変わる。	1	0
	天が回転するとしたら遠い星は非常に速く動かなければならないから。	0	1
	マジェランの航海のとき1日のづれができてはやく着いた。	0	1
	星の位置が一定でない。	1	2
	時差ができる。	0	1
	解答なし。	4	1
2	感じたことはない。 〔理由〕 まわり中のものがいっしょに動くので感じない。	56	53
	引力があるから。	21	9
	地球があまりに大きく回転が遅いから。	5	8
	慣性をすべてのものがもつから。	4	15
	理由はわからない。	4	1
	理由はわからない。	22	20
	感じたことがある。	0	3
	〔理由〕 四季や雲の動きから。	0	3
	解答なし。	0	1
3	追いかけていない。 〔理由〕 地球といっしょに動く。	56	57
	慣性による。	15	3
	空気も地球といっしょに回転する。	11	4
	引力でもとの所へひっぱられる。	7	8
	地球の回転が遅いので。	4	6
	地球があまり大きいので関係がなくなる。	1	8
	わからない。	1	2
		17	26
4	西へ遠くとぶはずだが、実際は目的の地点に着く。 〔理由〕 ボールのもっている慣性によって。	22	15
		10	1

	地球の回転が遅いから。	1	4
	空気もいっしょに動いているから。	1	2
	理由はわからない。	10	8
	東へ行くはずだが実際は目的の地点に着く。	8	10
	〔理由〕		
	ボールの持っている慣性によって。	4	0
	引力によって。	1	2
	地球の回転が遅いから。	1	0
	理由はわからない。	2	8
	目的の地点につく。	13	24
	〔理由〕		
	慣性によって。	5	1
	電車の中でボールを投げるのと同じ。	0	3
	引力によって。	0	2
	地球の回転が遅いから。	0	4
	本能的に考慮に入れて投げるから。	0	1
	理由はわからない。	8	13
	目的の地点より西へ着く。	2	4
	目的の地点より東へ着く。	0	4
	〔理由〕		
	地球の回転が遅いから。	0	2
	引力によって。	0	2
	解答なし。	7	0
	その他。	4	0
5	根もとに落ちる。	51	31
	〔理由〕		
	慣性があるから。	15	5
	理由はわからない。	36	19
	引力があるから。	0	7
	後へ落ちる。	4	23
	〔理由〕		
	船がその間に前進するから。	1	16
	理由はわからない。	3	6
	その他。	0	1
	解答なし。	1	3
6	変わらない。	35	46
	変わる。(単に「変わる」と書いた者。)	0	6

	速くなる。	5	1
	遅くなる。	6	2
	解答なし。	9	2
	その他。	1	0
7	もとの所に落ちる。 〔理由〕 慣性による。	51	32
	理由はわからない。	50	10
	その他。	0	20
	後の方へ落ちる。 〔理由〕 車が前進してしまう。	1	2
	その他。	3	25
	解答なし。	3	8
		0	17
		2	0
8	慣性による。(慣性ということばを使っている者。)	38	19
	体が前へ行こうとするのに足が止まるので。	16	17
	その他。	1	14
	解答なし。	1	7
9	引力による。	54	55
	その他。	2	2

以上の結果に関して次のことが認められる。まず、問題1において、「夜と昼があるから」という答をした者の殆んどが「太陽は動かないのだから地球が動かない限り夜と昼があるということとはあり得ない」と記しているが、これによって、太陽の不動がはじめから生徒たちの考え方を根本的に規定しているということが見られる。また、「遠くにある星は、もし天が回転するとすれば大変な速さで回転しなければならないから」と答えている者があるが、これは『天文対話』の中でガリレイ自身が挙げている理由の一つと同じである。

次に、問題2において、A組の生徒は、すでに慣性について学んでいるのでその影響が認められる。しかし、中には円運動には慣性の法則が適用できると考えた者もあるように見受けられる。また、次の時間に、地球の

赤道上その他における回転の速さを計算させてみれば、生徒たちはそれが意外に大きいことを知るであろう。

問題3, 4は、A組B組ともに正解者が多いが、解答の根拠は必ずしも十分ではない。なお、この両問題は、生徒たちの関心を誘起するために最も効果があったと思われる。

問題5に対しては、慣性を学んだA組の生徒たちが正解を多く出している。しかし、問題6でボールの慣性を考えるのは相当に困難なことであると認められる。そこで、問題7, 8において「慣性」という言葉を用いて一応正解を出しているA組の生徒たちの場合にも、慣性に関してどの程度の本質的な理解がなされているかは問題である。また、問題7に対するB組の生徒たちの解答をみると、彼らの答えが経験と結びついていないこと、ないしは経験的に慣性の概念を習得することの困難さというものがあらわれている。

全体として、ここに試みた方法は、導入の教材としてひじょうに効果的であったと思われる。問題を黒板に書き始めると生徒たちは忽ち笑い出した。そして、「おかしな問題だが、本当にどうしてだろう」という疑問を一人残らず覚えたようである。彼らは40分の間、実に楽しそうに考えたり書いたりしていた。終ると、忽ち質問の矢が放たれた。「答えは次の時間に」と言って授業を終ると、直ちにお互の間でディスカッションが始まった。このようにして、「慣性」の問題は完全に生徒自身の問題となった。とくにB組の場合、生徒たちが、予めこの問題についてこれだけの興味を覚え、問題意識をもち、時間をかけて考えたことは、慣性の本質を説明して理解させる上にきわめて有効であったと認められる。また教科書に従ってすでに慣性の法則を学んでいたA組の場合、法則を唱えることはできても実際の事象の中にそれを見出すことはやや困難であったということがこの試みの結果から明らかにされた。ここには、教科書の作成に関しても、また実際の授業の進め方に関しても、十分考慮すべき問題が残されていると見なければならぬ。

なお、今回は、最初の試みとして、『天文対話』（上）の中から「慣性」の学習に適用できるものを取り上げたが、運動に関する他の諸問題についても同書の利用価値は大きいと考えられる。例えば、

〔項 目〕	〔邦訳書頁数〕
直線運動	33, 35, 36, 38, 49, 51, 53, 64, 75.
円運動	33, 54, 55, 62, 63, 67, 77.
落体の運動	
どこへ向うか	56, 58, 59.
加速度について	332—338, 370, 342.
描く線（軌跡）	193, 247—248, 251—254.
東西または南北 への大砲の射撃	194, 254, 255, 273, 275, 276.
投射体の運動	236—239.
回転運動	239—246.
振子の運動	340, 344—345, 353.

などである。このほか、他の科学古典を理科教育に利用する可能性も十分に研究に値する問題であると言えよう。

（渡辺 本学非常勤講師）
（菅原 本学大学院学生）

注

- (1) ガリレオ・ガリレイ，青木靖三訳『天文対話』（上），岩波文庫，1959.
- (2) Galileo Galilei, *Dialogo dei due Massimi Sistemi del Mondo*, 1632. なおその英訳は，*Dialogue concerning the Two World Systems—Ptolemaic and Copernican*, translated by Stillman Drake, 1953, および *Dialogue on the Great World Systems*, in Salusbury translation, revised by Giorgio de Santillana, 1953 がある。

An Attempt to Utilize Scientific Classics in Science Teaching

(English Résumé)

Masao Watanabe and Kayoko Sugawara

When teaching science, teachers often present the subject matter in a sort of authoritative way according to the textbook without being able to give much stimulus to students. Students have to follow the book and passively learn what is written there. It is partly in relation to this point that student-experiments and the use of audio-visual aids are of great importance. However, these methods are not always enough to produce satisfactory results. This difficulty, the present authors presume, may be solved to some extent by making proper use of classics in science.

At the time when the classical treatises were written, their authors, as scientists, were facing new problems or trying to see familiar problems from an entirely new point of view. In other words, they were still groping their way towards a grasp of unknown scientific knowledge or laws which seem quite evident nowadays. This freshness of thought and attitude revealed in their writings is very valuable and may be effectively utilized in science teaching as a source of incentive and challenge to the students' attitude toward the subject matter.

The present authors carefully studied Galileo's *Dialogue on the Great World Systems* and tried to use the material to introduce the concept of "inertia" to two second-year classes of a girls' junior high school. Nine questions were prepared, derived from the original discussions of the *Dialogue*, and the students were asked to write their answers to these questions on a sheet of paper in forty minutes. When the time was over, all of the students were very much interested in the subject and began actively to raise questions to the teacher or to discuss the matter among themselves. Thus, the result seems to have been very satisfactory. Although this is only a first trial, the present authors should like to report this result, as they think that the method described here may have some significance to the further development of science teaching.