

# 1 自然と科学

渡 辺 武 志・山 田 孝  
竹 内 史 央

【抄録】 2005年度の新教科群「自然と科学」においては科学リテラシーの育成を目標とし、「近代科学の成立を探る」をテーマとして実践した。デカルトを出発点としてケプラーやニュートンなど近代科学の成立に貢献した科学者たちについて、自然科学、数学、科学思想と歴史の三つの観点から授業を行い、科学的な思考方法を身につける方法を探った。

【キーワード】 科学リテラシー 近代科学 デカルト ケプラー ニュートン

## 1. はじめに

新教科「自然と科学」のねらいは2つある。1つは、社会に責任ある態度で参画するための基礎的な能力の一つとして、科学的なものの見方や考え方を身につけることである。2つめは、知的好奇心が喚起され、既存教科の学びに対する意欲が向上することである。

はじめのねらいを言い換えると、科学リテラシーを身につけるといことである。理性的な判断ができることは民主主義社会の構成員に要求される大切な能力であるが、科学リテラシーは理性的判断のために是非とも必要なものである。

我々は、「科学的知識」と「科学的思考力」が科学リテラシーを構成すると考える。この2つはどちらを欠くこともできない車の両輪である。ベースとなる知識がなくては思考することはできないし、思考のない知識をいくら蓄えても単なる「科学オタク」にしかなりえない。この事情を人間の体とその活動に例えれば、「知識」は物理的身体であり活動のベースとなるもの、「思考力」は身体を操る技能と言えらる。

したがって、「知識」と「思考力」のどちらもが大切なのであるが、今年度の「自然と科学」においては「思考力」の養成に重点を置いた。その理由のひとつは、知識の習得に関しては既存教科での長い蓄積があり、授業時数も少ないこの教科で重視するのは限界があると考えたからである。また、この教科が発足して以来、知的好奇心を喚起することに重点を置いて実践してきた蓄積があり、既存教科へ学びをつなぐことに関しては一定の成果をあげているため、「知識」は既存教科が中心、新教科は「思考能力」が中心という棲み分けをすることでバランスよく科学リテラシーを身につけることができると考えたことも理由である。

さて、「科学的思考力」を生徒自身が具体化するためにはどうしたらよいのだろうか。事実に基づいて考える能力、論理的に推論する能力、数理的な分析能力など「科学的思考力」の要素と考えられるものは多い。これらは、

一見難しいことのようにとらえられがちであるが、人間が日常的に行っている思考のある側面を取り上げているに過ぎないはずである。そこで、われわれは昨年度から「近代科学の出発点を探る」というテーマを設定し、デカルトからニュートン辺りまでの科学者たちの思考の跡を具体的に追っていくことをやり始めた。難しそうに見える科学の成果も、一歩ずつ「あたりまえ」の思考を積み重ねてきた結果であり、人間的な営みから得られたものであることを理解することで科学的思考に親しみ、能力を育てることができないのではないかと考えている。この点で社会科からの視点は非常に重要であり、科学者たちの生き生きとした人物像を提示することで、科学的思考を身近なものにすることができると考えている。そして、今年度のポイントはこのような思考に対して「帰納」と「演繹」という二つの「型」を与えたことである。これについては、以下で詳述する。

## 2. 授業形態

対象生徒は高校1年生3クラス、後期の開講である。今年度も社会・数学・理科の3グループに分け、少人数と選択制のメリットを生かす形態とした。数学は渡辺、社会は山田、理科は竹内が担当である。ただし、選択制のデメリットを減らすために、第2週から4週まで全員が3人の教員の導入授業をすべて受けた後、生徒の希望によってグループを選択させた。若干の人数調整を行った結果が次の表である。

## 3. 授業の概要

	渡辺グループ (数学)	山田グループ (社会)	竹内グループ (理科)
A組	14名	13名	13名
B組	13名	16名	10名
C組	11名	16名	11名

(1)渡辺グループ

デカルトのオリジナルに近い形式で座標幾何を扱ったり、実験から数学的題材を見つけたりしながらニュートンの微積分の発見に至る道筋を追った。

(2)山田グループ

テキストを読み込むことを中心に科学者たちの思考と人物像に迫った。具体的には、米沢富美子著『人物で語

る物理入門』を中心に読み、デカルトやニュートンたちの思考を追った。

(3)竹内グループ

実験から法則を導くこと、得られた法則から新たな結論を導くことを中心にデカルトからニュートンまでの科学の流れを追った。

4. 活動内容

	渡邊 数学から見た 科学の発展	山田 数学・理科を出発点 とした科学の発展	竹内 歴史を追いながら科学の 考え方を学ぶ
1回目	オリエンテーション 担当教員よりグループの活動内容の説明 希望調査		
次の3回はクラスを出席番号順に3グループに分け、数学・社会・理科編を順番に学習			
2回目	デカルトの数学	デカルトの生涯	デカルトの自然法則
3回目	デカルトの数学	デカルトの生涯	デカルトの自然法則
4回目	デカルトの数学	デカルトの生涯	デカルトの自然法則
以後は希望のグループを選択してグループ別学習			
5回目	デカルトの数学 軌 跡	デカルトの思想について	デカルトの科学 惑星の運動と重力
6回目	ケプラーの科学 火星軌道の作図 (数学・理科 合同)	物理学と神 その1	ケプラーの科学 火星軌道の作図 (数学・理科 合同)
7回目	ケプラーの科学 楕円の性質 (数学・理科 合同)	物理学と神 その2	ケプラーの科学 楕円の性質 (数学・理科 合同)
8回目	ケプラー 惑星軌道と離心率	ガリレオの科学 アリストテレスの落体論 (理科・社会 合同)	
9回目	ネピア 大きな数の計算 対数	ガリレオの科学 ガリレオの落体論 (理科・社会 合同)	
10回目	中間まとめ 科学的な思考と数学	中間まとめ	中間まとめ 帰納と演繹
11回目	面積 (その1) さまざまな図形の面積 (数学・社会 合同)		ニュートンの科学 運動の法則の検証実験
12回目	面積 (その2) アルキメデスの方法 (数学・社会 合同)		ニュートンの科学 実験データ解析と考察
13回目	ニュートンの科学 微分	ニュートンの科学思想	ニュートンの科学 運動の法則の応用1
14回目	面積 (その3) ニュートンとライプニッツ	ニュートンとフック	ニュートンの科学 運動の法則の応用2
15回目	まとめと発表準備	まとめと発表準備	まとめと発表準備
16回目	発 表 会		
17回目	科学と似非科学		
18回目	全体のまとめ		

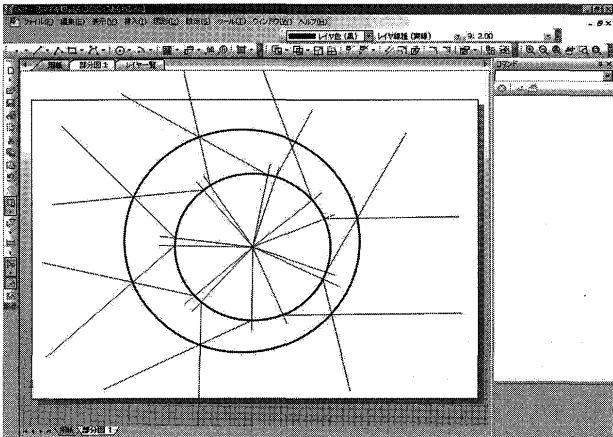
## 5. 生徒の取り組みの様子

### (1) 渡辺グループの取り組み

渡辺グループでは数学的思考が中心となった。デカルトからニュートンまでの業績から数学的部分にスポットをあてて思考の流れを学んだ。その過程では数学だけでなく、自然科学や歴史との関わりも扱っている。教員側にとっては自明なことに感じている数学と自然科学の関連についても、生徒は「数学は数学、理科は理科」と別個にとらえていることが多いため、同じ人物を数学者と科学者の両面で取り上げたことは非常に意味があった。

第6回と第7回の授業（数学・理科合同）の様子を紹介する。

まず、第6回では理科の立場から、ケプラーによる惑星の軌道が楕円であることの発見を学習した。ケプラーの計算手法に沿った形で作図を行い、軌道の中心が太陽の位置からずれていることを確かめた。この作図は昨年度は分度器を使用して手書きで行ったため、時間ががかり、誤差も大きかった。しかし、今年度はコンピュータの製図用ソフトを利用したため、1時間の授業で全員が作図を完了し、精度の高い作図ができたため、楕円軌道であることが容易に理解できたようである。



第7回では前回、惑星の軌道として現れた楕円の数学的性質について学んだ。特に取り上げたのは、一方の焦点から発した波は必ずもう一方の焦点に集まるという性質である。授業ではまず、楕円形の枠に水をはり、焦点のところを指先で振動させるともう一方の焦点に集まることを実験した。生徒にはこの性質を予め知らせず、発見させるようにしたのだが、こちらが期待した以上に発見が相次ぎ導入としてはうまくいった。その後、数学的な証明の話に移ったのだが、証明の詳細は実行せず、アウトラインの説明にとどめた。これは、帰納法である実験的手法と、演繹法である数学的証明の対比をより明確にするために、理解しづらくなる部分を省いたのである。しかし、それでも普段の数学の授業では扱わない題

材のため、理解が十分であったとはいえない。証明の詳細も重要であることは当然なので、関心を高め自主的な学習や数学の授業へのつながりを提示しておいた。

### (2) 山田グループの取り組み

前掲の『人物で語る物理入門』はやさしい語り口で読みやすく、また、そのねらいがわれわれの意図するところに非常に近いため、とてもよい教材となった。まず、第8回と第9回の授業（社会・理科合同）の様子を紹介する。

まず、第8回ではこの本からアリストテレスの考えを紹介しているところを取り上げた。地上と天界では全く異なる法則が支配していると考えたことや、物体が落下するのは「本来あるべき場所」に戻っていかうとするためであるとする目的論的な考え方について学んだ。さらに、山田がアリストテレスの人物像に迫るよう、逍遙学派についての話題や、ギリシャ時代の地中海世界全体にわたる話題を提供した。かなり広範な事項を扱ったのだが、物体の落下とギリシャの歴史の話に関連させたことで、生徒は意外なつながりを感じて関心を高めたようであった。

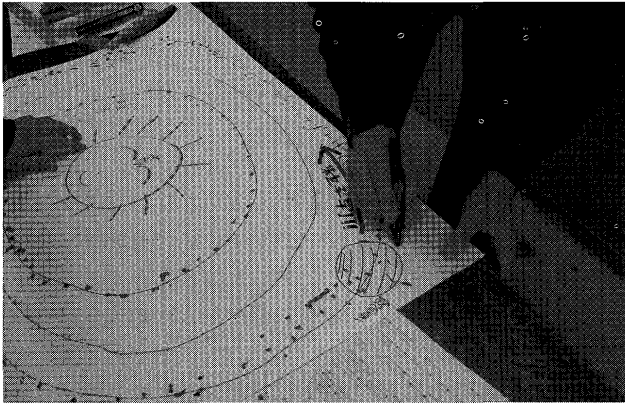
次の第9回では、前回のアリストテレスを基礎として、それを否定したガリレオの思考に迫った。ガリレオの『新科学対話』から、重い物体と軽い物体を結んで落下させる有名な思考実験の部分を取り出し、実際に役割をあてて対話形式で読みながら考えた。ガリレオは科学の手法として実験による検証を確立したこと、特にピサの斜塔から物体を落下させる実験をした（という伝説がある）ことはかなりの生徒が知っていたが、この授業では実験家としてのガリレオだけでなく、思考実験に代表される演繹的な思考にも優れていたことを理解した。

山田グループではこうした取り組みに加え、科学的なものの方の見方の重要性を実感する題材として「超能力」（手品であるが）の実演に取り組んだ。手品ならばどれだけ不思議に見えても「たね」があり、それを解き明かせば合理的に理解できることは誰しも知っている。ところが、手品を「超能力」と称して見せられてしまうとそこで思考停止におちいってしまうような風潮がある。このような問題を考える題材として実演に取り組み、他グループに発表して喝采をあげた。

### (3) 竹内グループの取り組み

竹内グループでは自然科学のなかでも特に物理的な立場から近代科学の成立を考えた。実験に支えられた帰納法により基本法則を導き、基本法則から演繹でさらに知識を広げていく過程を体験していった。ここでは第12回以降、6回に渡るのニュートンに関する授業を紹介する。

ニュートンを学習する際の目標は、運動の法則と万有



引力の法則を学び、アリストテレスの落体論に対するニュートン流の反論を考えられるようになることとした。

まず、1回目は運動の法則を検証する実験を行った。手法としては、長いゴムひもで力学台車を引き、記録タイマーで運動の記録をとる。ゴムひもの本数や台車の質量を変えたとき、加速度がどのように変化するかを測定した。2回目は、前回の実験データを整理し、運動の法則を導いた。次の3回目では万有引力の法則を学び、運動の法則とあわせて、地上で物体が落下する運動と月が地球の周りを回る運動の共通性についてコンピュータシミュレーションも交えて学習した。第4回ではいよいよアリストテレスに対する反論を考え、第5回は合同発表会の準備、第6回で発表会を行った。学習の仕上げとしての反論を考える際には、これまで学んだ実験からの帰納と法則からの演繹を組み合わせた形になるようにした。生徒にとってはこれまでの授業で理解が不十分であった部分を徹底的に考え直すいい機会になっていた。

#### (4)科学と似非科学について

活動の内容の第17回には科学と似非科学の問題について取り上げているが、これは本稿執筆時点で完了していないため、予定も含む形で述べる。

「超能力」、「心霊現象」や「占い」などオカルト的な事を信じる生徒の割合は増えていると感じる教育関係者は多い（このような言い方自体がオカルト信奉者的ではあるが、お許し願いたい）。また、食に関する不安をいわずらに煽るような報道も少なくない。これらに共通していると考えられるのが科学リテラシーの欠如である。山田グループの項で報告した「超能力」の実演はその仕組みを科学的に考えることがこの授業につながる予定になっている。また、竹内は対象となっている高校1年の学年担当でもあるため、似非科学に対する警鐘的な内容を総合人間科のまとめに取り入れてみた。これは、水についてその物質名を「Dihydrogen Monoxide (DHMO)」としてわざとわかりにくく表現し、危険な側面や、事実を述べているのだが危険と誤認させるような表現ばかりを並べ立てて「DHMOは規制すべきか否か」と問うものである(次ページの図)。結果は120名中70~80%の者が「規制すべき」と答え、この物質が水であることに気づいて「規制は不要」と答えたものはわずかに4~5名であった。そこで、種を明かすと「だまされた」「意地悪だ」等々の声が一斉にあがった。しかし、我々の判断がいかに印象に左右されやすいかを示すためと、確かな知識と思考力の必要性を示すためにしたことであると説明すると、大半の生徒はこちらの意図を理解してくれた。感想にも「とても印象に残る話だった」「物事はいろいろな角度から考えることが重要だと実感できた。」等のコメントが多く、科学リテラシーの必要性を十分に印象付けることができたと考えている。

DHMOの危険は至る所に

- DHMOの汚染は地球全域で、南極の水床からも検出されている。
- 自然中にあるDHMOは、洪水や津波、干ばつなどの天災の主な要因となっている。
- 犯罪者の血中、尿から大量に検出される。暴力的犯罪のほぼ100%が、摂取から24時間以内に発生している。

全世界に広がるDHMOの危険

- DHMOは依存症を発症させやすい。発症すると毎日少なくとも2リットルは摂取しなければならなくなる。代表的な発症症状として、猛烈な喉の渇きを訴える例が多く、放置するとはほぼ100%の者が死亡する。WHO(世界保健機構)の推計によれば潜在的な患者数は約65億人になり、今後とも増加傾向にある。

DHMOは野放し状態!

あなたはどう思いますか?

- 今すぐDHMOを規制すべきである。
- 現状以上の対策は必要ない。

たねあかし: DHMOは水です。  
DHMO = 一酸化二水素 = H<sub>2</sub>O

- 何事にも、良い面、悪い面がある。
- 「天然物は安全」「自然は良い物」などは幻想にすぎない。
- 一面的な取り上げ方で、印象を全く変えてしまうことができる。
- 知識を持ち、批判的に考えることが必要。

## 6. 成果と課題

前述したように、本稿執筆時点でこの授業はまだ進行中であり、まとめのアンケート調査は行われていない。したがって、ねらい・目標とした点が達成されたかどうかの定量的検証は不可能であるので、授業者のコメントと生徒の感想をいくつかあげることしかできないが、それでまとめとしたい。

### 渡辺のコメント：

今年度は十分に手ごたえを感じている。ねらいのひとつである既存教科（数学）の学びへの接続について、これからの学習事項に本質的につながる事例をしっかりと扱うことができた。生徒の反応もおおむね良好で、グループ内でのアンケートではこの教科を学習した意義について9割程度が肯定的な意見であった。特に、数学についてのとらえかたが「公式を覚えて計算するだけのもの」から、「科学的な考え方を進めたり、表現したりするための大切な道具」へと転換できたことが大きな成果である。一方、否定的な意見には「難しくてよくわからない」「やる意味が理解できない」などがあった。このような意見は同様の内容で行った昨年度にもあったが、割合としては5割ほどから1割ほどに大きく減少している。

### 山田のコメント：

テキストを読み込むことを中心に据えたので、読書習慣のない生徒にとっては非常にづらい授業になった。日常の読書習慣の有無が読むスピードに如実に現れていた。しかし、書物から知識を吸収する体験ができたことは、読書の習慣がない生徒にとってこそ大きな意味があったと思う。読書好きを増やすよりは読書嫌いを増やす結果になったのかもしれないが、授業の中で新書を半分ほど読み進むことができ、関連図書を探すにも苦勞するほどであったのは教員側にとっても良い経験になった。

### 竹内のコメント：

科学的思考方法に力点を置き「帰納と演繹」をキーワードに授業を進めてきたが、掘り下げ不足の点が多かったのは否定できない。昨年度の反省から内容を絞り込み、思考する時間を多くとる事を意識していたのではあるが、1時間の内容をつい欲張ってしまった。しかし、今年度は中間まとめを設けたり、合同発表会を行ったりすることで学習内容の振り返りができたため、改善はされていると思う。前述の「DHMO」の感想にも、「先生が新教科で話していた内容と重なっていることがわかり、多面的に考えることが重要なのだと感じた」との趣旨の感想が少なからずあり、我々が目指した「思考力」に重きを置いて科学リテラシーを身につけるというねらいの

達成に近づいていると感じている。

次年度への課題としては、昨年度からの継続的課題である「昔の科学者を扱うことが生徒の感覚と遊離しやすいこと」が最大のもので認識している。今年度は終わりの数回に現代的な似非科学に関するテーマを仕上げとして設定することで、昔の科学を学んだ事によって身についた思考力を試す機会になるようにしたつもりである。これが有効にはたらいたかどうかをしっかりと検証し、次年度の改善に結び付けていかなければならない。

(文責 竹内 2006年1月執筆)