

子どもと理科教師の有する科学観

—量的・質的アプローチを併用して—

Students' and Teachers' Conceptions of the Nature of Science :
Using Quantitative and Qualitative Research Method

丹 沢 哲 郎

Tetsuro TANZAWA

(平成11年10月4日受理)

Abstract

It goes without saying that science education is based on science as a discipline. Therefore, the development of “an adequate understanding of the nature of science” or “an understanding of what is science” continues to be a desired outcome of science instruction.

Although students' and teachers' conceptions of the nature of science, development of curricula designed to improve student conceptions of the nature of science, and relationship among teachers' conceptions, classroom practice, and students' conceptions have been investigated in several Western Europe countries for about a century, even students' conceptions of the nature of science are not assessed sufficiently in Japanese science education communities.

Then, students' and teachers' conceptions of the nature of science are dealt with in this article, reviewing the quantitative data which were gained from the investigation made prior to this study.

Although very similar results were obtained between quantitative and qualitative research, several interesting information was also gained, that is, co-existence of contradictory conceptions in his/her mind, existence of ambiguous conceptions which were not categorized in quantitative research, selection of one answer based on several different reasons, and so on.

In this article, strategies for improving students' conceptions are also discussed.

1. はじめに

とかく教授「内容」に重点が置かれがちな日本の理科教育においても、理科が学問としての科学にその基礎を置く以上、「科学とは何か」「科学は何を目的としているのか」等、科学の本質についての理解 (understanding) あるいは感得 (appreciation) を目標として掲げることに異論を挟む人はいないであろう。

Lederman(1992)によると、西欧諸国においては、この目標はおよそ一世紀にも及ぶ長い間、

形を変えながら追求されてきたという¹⁾。その間科学の本質に関する子どもと教師の捉え方の特色の解明、科学の本質に関する生徒の捉え方の変容を意図したカリキュラムの開発と使用そしてその評価、さらには教師の捉え方と日常の授業実践そして生徒の捉え方の間の相互関連の解明へと、研究は進展してきている。

一方学校理科における理解内容として、科学の本質のいかなる内容と側面を押さえるべきかについては、現代科学論の世界における論争状況を反映し、今もなおその議論は続いている²⁾。しかしながら科学の本質についての理解を目指す理科教育を構想する以上、そこには特定の教授内容が存在せねばならず、かと言って Abd-El-Khalick ら (1998) の言うように「K-12 学年の生徒は科学哲学者や科学史家のミニチュアでは決してないし、そうであってはならない」³⁾。

このような論争が研究のレベルにおいて行われつつも、アメリカにおいてはすでにこういった科学の本質についての教育が全米レベルの報告書の中で具体的に提言されている⁴⁾。ここではその具体的内容について言及しないが、学校教育の実践レベルでは、前述したコンセンサスがすでに存在することの裏づけとなる出来事であると言えるのかもしれない。

さてそこで、振り返って我が国の研究の現状を見てみると、西欧諸国で20世紀初頭以来続けられてきた子どもたちの科学の本質理解の現状さえも、いまだ日本では明らかにされていない。少なくとも組織的、体系的な取り組みは皆無といってよい。筆者もそのメンバーの一人として加わった、日本学術振興会の「日韓科学協力事業」において行われた、日本と韓国の中学生・高校生の有する科学観と技術観の解明は、その数少ない試みの一つである⁵⁾。

2. 研究の目的と方法

本研究においては、前述した「日韓科学協力事業」において行われた研究をベースにしながらか、以下の2点を解明することを目的とする。

- 1) 「日韓科学協力事業」研究が対象としなかった、大学生、中学校・高等学校理科教師の有する科学の本質理解の現状をアンケート調査を用いて明らかにし、それらを相互比較することによってその変容のプロセスを吟味する。
- 2) アンケート調査のみでは明らかにできない子どもたちの科学の本質理解の現状を、質的調査方法であるインタビューを用いて詳細に検討し、アンケート調査の持つ課題について検討する。

なお研究方法については、上記2つの目的それぞれについての結果を報告する中で、以下詳細に述べることにする。

3. 量的調査方法によって明らかにされた科学の本質理解の現状

1) 研究方法

本調査では、「日韓科学協力事業」研究で用いたアンケート項目とまったく同一のものを用いた。その理由は、中学生と高校生のデータを大学生と理科教師に対するアンケート結果と同一の枠組みで比較できることである。なおアンケート用紙は本稿末に資料として載せてあるので適宜参照されたい。調査対象と人数は以下の通りである。

中学生：山形、茨城、埼玉、千葉、静岡、愛媛の各県の公立中学校2年生402名

高校生：中学生と同じ6県の公立普通高校2年生540名

大学生：愛媛大学教育学部3年生152名

教師：愛媛県松山市内の中学校理科教師46名（90名郵送、回収率51.1%）

愛媛県内の県立高等学校理科教師52名（81名郵送、回収率64.2%）

大学生のサンプルとして教育学部の学生を選んだのは、理科系・文科系の学生が混在していることを考慮してのことである。なお調査時期は、中学生と高校生が平成10年2月、大学生と理科教師が平成10年10月であった。

2) 結果の概要

本研究が明らかにしようとした科学の本質理解の柱、すなわち調査問題の枠組みは、Aikenheadら（1989）によって開発された科学観調査問題バッテリー“VOSTS Form CDN. Mc. 5”の枠組みを基にして作成された⁶⁾。その大枠は「科学と技術」「科学、技術、社会間の相互作用」「科学的知識の本質（認識論）」「科学的営為」の4本からなり、これらの各項目はさらに細分化され、それぞれに対応する調査問題を作成した。調査問題は、いくつかの先行研究⁷⁾で使用された調査問題を上記の枠組みに従って分類し、それをベースにしなが独自に作成したものである。問題の妥当性は3度にわたる試行テストを通して高めた。

さて、Abd-El-Khalickら（1998）は、初等・中等学校の生徒にも理解でき、彼らの日常生活にも関わりの深い科学の本質に関する内容として、以下の7項目を上げている⁸⁾。

- (1) 科学知識は暫定的なものであること（変化にさらされていること）
- (2) 科学知識は経験に基礎を置くこと（観察結果に基づき引き出されてくること）
- (3) 科学知識は主観的なものであること（理論負荷的であること）
- (4) 科学知識は一部人間の推論や想像力、創造性の生産物であること
- (5) 科学知識は社会的・文化的な文脈の中に置かれていること
- (6) 観察と推論の区別
- (7) 科学理論と法則の間の関連性と、それぞれの働き

同様の議論はMcComas（1998）も展開しており、彼は西欧諸国の8つの科学教育スタンダードから抽出した14項目を提言している⁹⁾。彼の提言はAbd-El-Khalickらのものより詳細な記述となっているが、両者の間に基本的な違いはない。そこでここでは、本研究が使用した調査問題とこれらの提言との重複部分、ならびに現代科学論の明らかにしてきた中心的成果として、以下の5項目を分析の視点として議論を進める。なお本稿末の資料に示す問題9)と10)については、ここでの分析視点と直接関わりがないため特に言及しない。

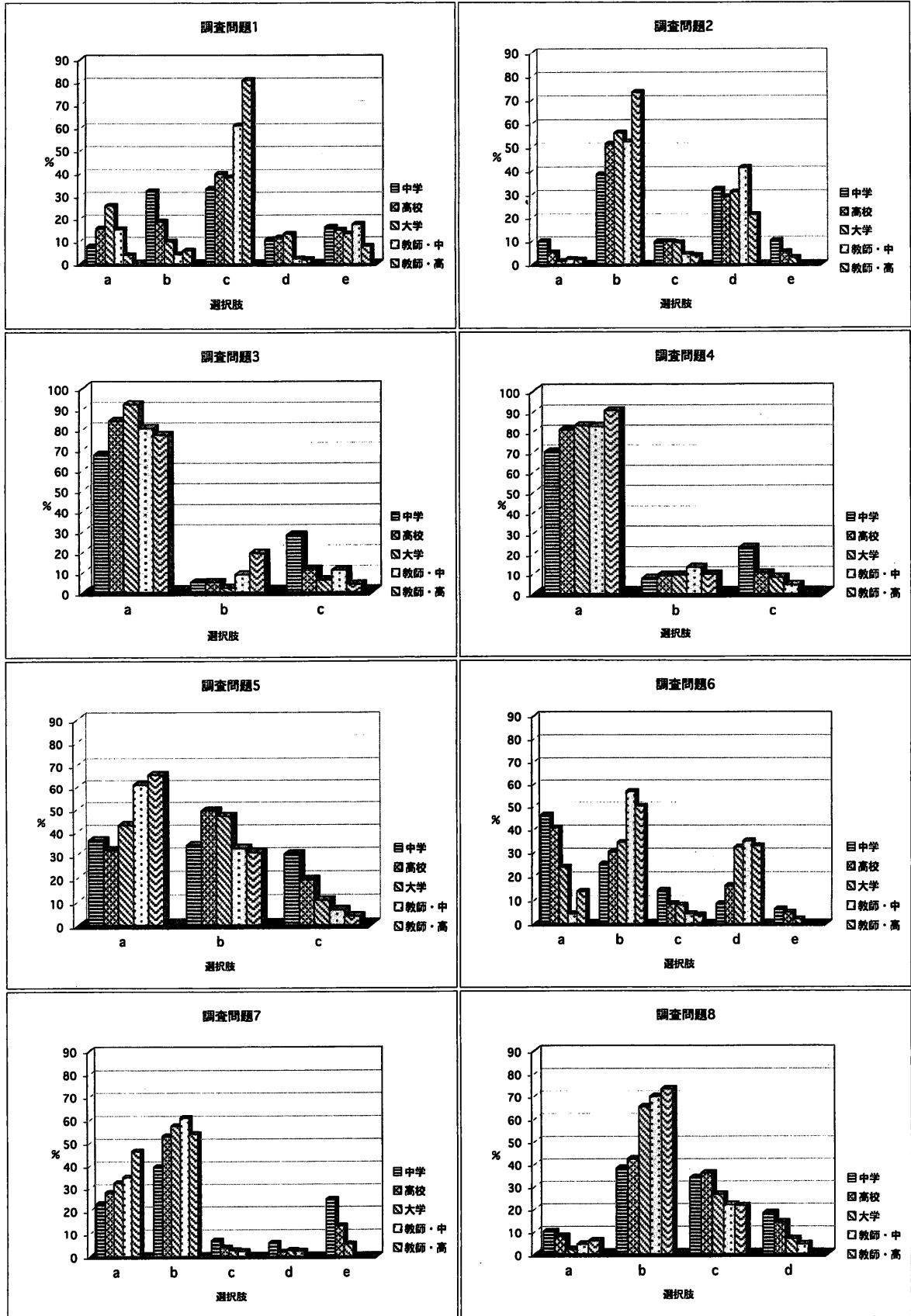
- (1) 科学の目的（実利的・功利的科学観、説明・解釈としての科学）
- (2) 観察の理論負荷性
- (3) 科学の方法（特に帰納・演繹的方法）
- (4) 科学理論とは何か
- (5) 科学・技術・社会間の相互関連

(1)科学の目的

科学の目的は、直接的か間接的かを問わなければ複数存在するであろう。しかしながら、究極的には自然界に見られる現象のしくみを、これまでに築き上げられてきた科学知識の体系に照らして「解釈・説明」する学問であると言える。この点を直接聞いたのが調査問題1)と2)である。その結果はグラフに示してある。

これを見ると、全体として科学の目的を「説明」「解釈」と答えた者の割合が最も高くなって

グラフ：科学観アンケート調査結果（問題番号1～8）



いるが、実利的・功利的観点から科学の目的を捉えている者がかなり存在することがうかがえる。たとえば調査問題1では、選択肢a、b、dがそれに該当するが、その合計の割合は4割から5割に達する。同じ内容を表現を変えて聞いた問題2においても同様の傾向が見られ、実利的・功利的科学観に該当する選択肢dを選んだ者は3割から4割という結果であった。ここで注目すべきは、特に中学校の理科教師の約4割が実利的・功利的科学観を有していたことである。なお科学の目的を自然界の「説明」「解釈」と捉える者の割合は、学校段階があがるにつれて増大する傾向にあった。

また、科学の目的とは直接的な関連はないが、科学における実験の目的を聞いた調査問題6の結果を見ると、実利的・功利的な目的を表した選択肢cを選んだ者の割合は低くなり、全体としての科学的営為の目的を聞く場合と異なる結果が得られた。おそらく科学の最終的に目指すものは実利的なものとして捉え、そのための実験は実利性につながっていないと考えているのであろう。

さらに、もし科学が「説明」「解釈」をしているのであれば、理論的には他にも異なる説明や解釈の仕方はあり得るはずで、自然科学以外にも自然理解の方法はあってよいはずである。この点を聞いたのが問題3であるが、大部分の者が「あってよい」と答えている。この結果は問題1と2の結果と矛盾するようにも思えるが、回答者が他にあるはずの「自然理解の方法」を具体的にどうイメージしたかがここでは問題となる。つまり他の学問体系の存在を肯定したのか、単に人間の感覚や直感のようなものを通した自然理解の方法をイメージしたのかは、この問題から計り知れないからである。

(2)観察の理論負荷性

続いて調査問題4)と5)において、観察が観察者の持つ知識、体験、見方等、いわゆる広義の「理論」によって影響を受けているかどうかを聞いた。この「理論」の中にはもちろん誤った先入観や偏見も含まれ、問題4)と5)ではこの用語を使い分ける形で質問を行った。

問題4)の結果を見ると、回答者の大部分の者が先入観や偏見にとらわれてはいけなるとするaを選択した。確かにこの問い方は、常識的に考えればそうであると考えやすい問題であった。おそらくそこに、観察の理論負荷的要素を想定する者は少なかったと思われる。むしろこの点を的確に描き出せたのは問題5)の方である。結果を見ると、理論負荷性を肯定する者と否定する者が、見事に2つに別れた(選択肢aとb)。すなわちこの点に関しては両方の捉え方がほぼ半数ずつ存在することが結論される。しかしながら教師においては肯定する者の割合の方が高いという結果になった。

(3)科学の方法

調査問題6)は、直接的には科学の実験の目的を聞くものとなっているが、同時に科学の方法として帰納的な方法を重視しているかをも聞いている。観察に限らず、広く科学的営為一般に理論負荷性を認めるとすると、実験の目的は科学者の頭の中に先行する考え方を検証することにあると言える。したがって調査者側としては、選択肢bを選ぶことを期待しているのであるが、結果を見ると、生徒の場合その割合は3割程度、教師で約半数となっている。生徒の場合その他は「発見」を行うこと(a)と、帰納的方法を用いた法則の導き(d)を選択した。ただし前者は学校段階が進むにつれて減少し、逆に後者は増大する。また教師の場合、後者が圧倒的に多いことから、学校教育における影響がここには推測される。

(4)科学理論とは何か

日本の理科教育においては、事実あるいは法則については「～の法則」という形で頻繁に取り扱いがなされているが、理論に関してはその扱いは少ない。「～の理論」という表現はなくとも、自然事象についての説明・考え方として教科書に掲載されることは多いが、それはまだ十分に証明されていない説明として提示される程度である。さらに教科書中には自然界に見られるさまざまな科学的事実が埋め込まれている。したがってこれらの間の区別ならびに科学研究におけるその役割については、理解がきわめて不足していることが予想される。

本稿では「理論は説明（解釈）であり、…法則は一般的な記述である」¹⁰⁾ (Ryan and Aikenhead, 1992)、あるいは「法則は観察可能な事象の中に区別できるパターンを記述したり述べたりすることであり、理論はこれらの事象のための推論された説明である」¹¹⁾ (Abd-El-Khalick, 1998)とする立場をとる。本調査においてこの点を取り上げたのは、「科学においては証拠の蓄積によって理論が事実へと転換することはない。むしろ理論は科学の到達地点なのである。理論は広範な観察や実験、そして批判的な思考を通して発展する理解なのである。それは膨大な科学的事実や法則、検証された仮説、そして理論的な推論の本体を取り込む」¹²⁾ (National Academy of Science, 1998) という認識に立つからである。

さて以上の認識に立ち、科学理論とは何かを聞いた調査問題として8)を、また事実・理論・法則等を含めた総体としての科学知識の性質を聞いた調査問題として7)を設定した。まず8)の結果から見ると、回答者のかなりの者が調査者の期待したbを選択したが、2割から3割の者がcを選択し、理論を事実と混同している実態が明らかになった。特に約2割の中・高理科教師がこのcを選択したことは興味深い。

一方科学知識の性質について聞いた問題7)の結果であるが、全体として約半数が過去の科学的見方や考え方、解釈に基づいているとするbを選択したが、科学知識を事実の集まりとするaを選択した者も約25%から50%にのぼった。特に理科教師にこの割合が高く、高校の理科教師の場合その値は46%にも達した。ところが表2に示す調査問題12)の結果(意味のよく分からない用語を聞いた問題の結果)を見ると、選択肢のaすなわち「科学知識」という用語がよく分からないとする教師はきわめて少数であることから、理解していると思いきこんでいる教師の存在が推測される。しかしながらまた一方で、gの「科学的事実」についてよく分からないとする者の割合はまた高く(約3割)、科学的事実と知識との関係については混沌とした理解の現状があることがうかがい知れる。生徒についてはこのような矛盾した状況は基本的になく、問題7)と問題12)の結果は一致している。

これらの結果から科学における事実とは何か、理論とは何か、さらには科学知識とは何かについては、生徒も教師もきわめて曖昧な理解をしている実態を知ることができる。

(5)科学・技術・社会間の相互関連

科学や技術の社会との関連(科学や技術の社会的文脈、STS)について述べた文章について、同意するか同意しないかを聞いた問題が11)である。その結果をまとめた表1から第一に指摘できることは、全体的に、科学と技術の社会に対するネガティブな影響を指摘した文章c、gに対して同意する意見が多く、逆に肯定的な影響を指摘したd、fに対しては同意しないとする意見が多かったことである。特にfの文章「科学と技術が私たちの生活に対して害をもたらすことはほとんどない」という意見に同意する者はほとんど見られなかった。つまり科学と技術が必ずしも我々の生活の向上に貢献するものではなく、副次的な害をもたらすこともあり得

表1. 調査問題11)の結果(表中の数値は回答者の%)

	a	b	c	d	e	f	g	h	i
中 学	10.5	22.4	62.9	39.8	36.6	7.0	61.0	6.5	46.3
高 校	7.6	16.1	65.6	35.7	59.6	3.0	70.6	2.6	56.3
大 学	1.3	18.4	67.1	33.6	78.9	2.6	78.3	3.9	77.6
教師・中	4.3	17.4	39.1	39.1	58.7	0	82.6	0	84.8
教師・高	9.6	19.2	57.7	55.8	67.3	0	73.1	0	80.8

表2. 調査問題12)の結果(表中の数値は回答者の%)

	a	b	c	d	e	f	g
中 学	38.3	54.7	83.1	42.8	39.8	27.4	47.5
高 校	32.8	52.8	78.0	36.9	32.6	23.3	39.1
大 学	24.3	53.3	65.1	27.0	30.3	17.1	34.2
教師・中	10.9	23.9	39.1	13.0	13.0	0	23.9
教師・高	9.6	11.5	25.0	15.4	7.7	1.9	30.8

ることはほとんどの回答者が理解しており、むしろ否定的な影響を強く認識している傾向が見られる。

第二に、科学の独立性、客観性、没社会性について述べた a、b、h についても同意する意見は少なく、むしろ科学と技術、社会間の相互に影響し合う関係について述べた i を肯定する意見が多かった。つまり科学的営為の社会性についてはかなりの回答者が認識しているという結果が得られた。これは近年科学や技術に関連する社会問題が顕在化し、それを取り扱うメディアも増え、多くの情報に触れる機会が多いことの反映であるかもしれない。

学校段階間の変化であるが、特に顕著な変化が見られるのは、選択肢 e と i である。つまり日本の繁栄が科学と技術に非常に依存している現状と、かつそれらの間の複雑な影響関係については、学校段階があがるにつれ、認識の度合いが高まっている。これは科学に対する捉え方というよりも社会認識の発達と大きな関係があるものと思われる。なお中学と高校の教師間には、このような大きな差異は見られなかった。

3) まとめ

以上の結果を振り返ってみると、現代科学論が明らかにしてきた諸点に関しては、本研究が対象とした内容について見る限り、生徒であると教師であるとを問わずその理解の実態はきわめて不安定なものであると言える。たとえば、科学の目的に関する実利的・功利的科学観を有する者の高い割合(約4割前後)、観察における理論負荷性を認めない者の多さ(約半数)、実験の目的として「発見」を指摘し、そこにおける帰納的方法の重要性を指摘した者の高い割合(合計で半数以上)、科学理論と事実、科学知識の間の識別の困難さ等である。

しかしながら、科学的営為の社会性については回答者のかなりの割合が認識しており、特に科学や技術が社会に対して与える副次的な影響について、肯定する者が相当の割合いることが明らかになった。

また学校段階間の移り変わりであるが、科学の目的ならびに科学理論を「自然界の解釈、説明」と捉える者、科学の方法として「帰納的方法による法則の導き」を選択する者、さらには

科学と技術、社会間の複雑な影響関係を認識している者等は、学校段階があがるにつれて増大する傾向にある。今回の調査問題については、ほぼ全体にわたってこのような増大、あるいは減少傾向が見られた。このことは学校教育における理科の役割の大きさを想起させるし、また科学・技術・社会間の相互関連の認識については、子どもの社会認識の発達の影響を思い起こさせる。

最後の点は、理科教師の科学の捉え方の特色である。子どもも含めて見た場合の全体的傾向はほぼ類似した状況であった。しかしながら中学校理科教師に見られる実利的・功利的科学観、科学の方法として帰納的方法を重視する教師、理論と事実の混同、科学知識と事実を混同する高校理科教師等、理科教師に特徴的な問題点が数多く指摘された。このことは、高等学校までの学校教育のあり方のみならず、大学における教員養成カリキュラムのあり方までもが問われていることを示している。日々教師が自分の授業実践を通して科学の本質理解について間接的に子どもたちに影響を与えていることが想像される以上、この点は改善が強く求められるべき事項として指摘できる。

4. 質的調査方法によって明らかにされた子どもたちの科学の本質理解の現状

1) 研究方法

これまでに述べてきた調査の結果は、子どもたちや理科教師の科学についての捉え方を一定程度明らかにしてきたが、いくつかの課題もそこに見られた。たとえば、アンケート調査の質問内容についてどの程度理解をして回答しているのか、また、いかなる理由を根拠として選択肢を選んだのかなどが、量的調査方法では明らかにならない。

そこでこれらの問題点を克服し、かつ「生徒が抱えている多様で複雑な認識を同定」¹³⁾すべくインタビュー方式を用いた質的調査を行った。調査対象は愛媛大学教育学部附属中学校2年生、計20名であり、調査期間は平成10年9月25日より10月26日までの約1ヶ月間であった。調査の概要は以下の通りである。

- (1)「日韓科学協力事業」研究で用いたアンケート調査問題に最初に答えてもらい、各問題の選択肢を選んだ理由、ならびにそこで用いられている用語理解の状況について一人30分程度インタビューを行った。インタビューは長時間にわたることを避け、問題の前半と後半に分け、それぞれ5名ずつ、計10名にインタビューを行った。
- (2)同じ調査問題の中から、その意味を十分に理解していないと想定される用語を抽出し、その意味するところを新たな調査問題に答えてもらう中でインタビューする。これもインタビュー内容を2つに分け、それぞれ5名に対してインタビューを行った。

インタビューの結果はテープに録音し、それをすべて原稿におこし、3.で分析した5つの視点それぞれについて分析を行った。なおインタビューにあたり、回答者間の回答内容にずれが生じないように、尋ねる内容の基本的事項は同一のものとし統一を図った。

2) 結果の概要

以下においては、上記2種類の調査を別々に論ずるのではなく、3.で述べた分析の枠組みに従って両者を適宜参照しながら、科学に対する子どもの捉え方の実態を明らかにする。

(1)科学の目的

前述したアンケート調査の結果では、科学の目的について実利的・功利的な観点を有する者が3割から4割いた。インタビューでもほぼ同様の結果が得られ、5名中2名がたとえば以下

のように答えて、この捉え方を肯定した。

「科学者は最初、収穫を多くする方法を考えたと思うのですが、そこからよりよい薬をつくることに発展させて調べていると思います」

彼は科学の実利的側面を肯定するのみならず、その実利性にもさらに順序性があることを指摘しているのである。また他の1名は、直接的に科学の実利性を肯定しないものの、以下のよう

に答えて、結果としてそうなることもあるとする考え方を表明した。
「植物がどのように成長するかを調べることによって、収穫をのばす方法や薬をつくる方法につながってくると思います」

彼は、科学の目的が直接的にはその応用にはないとするものの、結果としての科学のあり方を指摘しているのであり、回答者による問題の捉え方の違いが浮き彫りになった。

そして、科学に対するこの見解を完全に否定したのは1名だけであったが、最後の一人は選択肢のすべてが自分の考え方にあてはまると答えている。つまり選択肢を1つ選ぶというアンケート調査の限界がここには存在する。

一方「説明」「解釈」としての科学という捉え方も、5名中2名がこれを肯定した。しかしながらそのうちの1名は、理由がよく分からず（あるいは説明できず）感覚的にそうだと答えている。また技術は「発見」の学問であり科学は「発見」の学問であると一般的にはよく言われるが、この「発見としての科学」という捉え方を明確に述べた子どももいる。

「集め分類することや、説明し解釈を行うことも科学者の目指しているものだと思うのですが、そのために何か事実の発見がいると思います」

この子どもは、ある自然事象理解のための説明理論の先行よりも、科学はまず事実の発見から始まるとする、発見の先行性を強く主張するのである。

さらに、上述の問題とも関係するが「自然理解の他の方法があり得るか」という問題について、アンケート調査の結果ではほとんどの子どもたちが「あってよい」と答えている。しかしながら調査者がここで明らかにしたかったことは、「科学の目的が説明・解釈にあるとしたら、別の方法で解釈を行う学問の可能性もあるに違いない」ということであった。そこで彼らがこのような意味合いにおいて答えているかどうか聞いたところ、中学生ということもあるのかも知れないが、ほとんどの者が人間の感覚による自然理解をイメージしていることが分かった。つまりアンケートの結果だけからは、このような認識論的な理解ができているとは決して言えないことが明らかになった。

最後に非常に独特な考え方として、「自然や植物の持つ素晴らしさを発見していくことも(科学の目的として)あると思う」といった、科学の美的・鑑賞的側面を強調する者がいた。

このように、科学の目的に関するインタビューの結果、選択肢にもないきわめて多様な考え方の存在、複数の考え方の同時的・共存的状況、質問の文章に対する多様な理解の方法などが明らかになった。

(2) 観察の理論的負荷性

インタビューでは、観察における理論的負荷性を認める者と認めない者はほぼ同数であった。しかしながら以下の回答に明らかなように、実際の観察においてはありのままに対象を観察することが重要とする、いわば「べき」論として客観的観察の重要性をすべての子どもたちが肯定した。つまり理論的負荷性を認める者も、現実としてそうならざるを得ないと感じているに過ぎず、理想的にはそうであってはならないと考えているのである。アンケート調査の結果では

ほぼ半数がこの理論負荷性を認めていたが、現実の問題と理想の問題とは異なるという新たな視点がここでは得られた。

「やっぱり決めつけてはいけないと思います。もし何かを決めつけて実験や観察をしたら、気づけない部分が生じてくると思います」

「知っていることがすべてだと思わずに、姿をありのままに記録して理解していくことが必要だと思います」

(3)科学の方法

学校段階の上昇に伴い増大し、また理科教師の多くにも見られる帰納演繹的な科学の方法の捉え方は、「データを取って、そのことから考えられることを見つけて、またデータを取っていくというふうになると思います」という答えに典型的に見られるように、今回インタビューしたすべての子どもたちが何らかの形でそれを承認した。ただ、以下の答えに現れているように、先行する理論に基づく検証のプロセスをも同時に認める子どもも見られた。

「最初に理論とかあって、科学者の側に考えとしてあって、それで探しているのか、それともデータが先にたくさんあってそれを分析する中で出てくるのかな。全部入ると思います」

もちろん科学の方法にこれといった確定的な方法が存在するはずはなく、文脈に依存したさまざまなプロセスがあり得るであろう。したがって両方のプロセスの存在を認める彼らの考え方は、妥当なものと思われるが、いずれにせよ大多数の回答者がこの帰納演繹的な方法を承認したというのは、インタビュー調査の成果の一つである。

(4)科学理論とは何か

科学理論とは何かについては、インタビューに先立ってこちらで作成した問題にあらかじめ答えてもらい、その内容についてインタビューするという形態をとった。具体的には科学理論・法則・事実等を項目として並べておき、それを分類してもらうという問題である。その回答結果は各項目についてばらつきがあり、きわめて混沌とした理解の現状をうかがい知ることができた。しかしながら、科学理論とは「今持つ知識が変わる可能性を持ったもの」「予想を立てて結果まで導き出すまでに論じたこと」「ある現象に対して予想をし、分かりやすくしたもの」「何かを証明する感じ」等のインタビュー結果に見られるように、科学理論をある自然事象に対する説明理論あるいは仮説と捉える傾向があり、これは科学理論の定義として受け入れられるものである。つまり明確な形での理解は形成されていないが、イメージとして科学理論をかなり正確な形で捉えている可能性はある。この結果は、西欧諸国での調査結果をもとに従来言われていた事柄と異なる結論を示唆する。

しかしながらなぜそのような考えるか理由を尋ねたところ、ほとんど回答不能か、あるいは通常我々が日常生活の中で使用するような意味合い（仮説としての理論の捉え方）において答えていることが明らかとなった。したがって、全体的に安定性の高い知識を法則と答え、低いものを理論と答える傾向が見られ、科学における理論の役割や理論と法則の本質的な区別等、科学理論の本質については理解が不十分であると言えよう。

(5)科学・技術・社会間の相互関連

科学観アンケート調査の結果から、科学と技術が社会に対して副次的な悪影響を与えることもあると認識している者がかなりの割合を占めることが指摘された。この結果はインタビューにおいても裏づけられ、回答者のほとんどがこれを承認している。

「科学、たとえばアインシュタインが核融合を説明したために原子爆弾なんかが出来てしまったし、へたしたら人類、地球自体が減んでいたかもしれない」

「自分たちが生活していくには快適になったと思います。だけどその生活が健康的だとは言えないと思います。さっきも出たんだけど、酸性雨とか排気ガスとかをイメージしたんで」

しかしながら「科学と技術だけで問題を解決することができる。環境汚染とかも電気自動車をつくるとか、フロンガスを使わなくても同じ働きをするものがつくれたりするからです」といった回答に見られるように、科学への全面的な信頼感を寄せている子どももいた。

一方科学観アンケート調査では、社会的活動から切り離された科学のあり方に同意しないとするものがほとんどであったが、インタビュー調査によると、「科学は客観的な知識になると思うので、揺らぐことなく研究されなければいけない」「自分のイメージとしては、科学者は自分が調べたいことを調べるというイメージがあります」といった回答に見られるように、科学の社会からの独立性を強く主張する意見がかなり見られた。つまり一般論として科学が社会的価値やニーズとは無縁であると聞く場合と、科学者の仕事という具体的な文脈の中で科学のあり方を聞く場合とでは、かなり異なった結論が得られる可能性がある。

3) まとめ

以上の結果を見てみると、科学観アンケートで明らかにされた子どもたちの科学の捉え方は、基本的にインタビュー調査でも確認されたと言ってよい。ただ、アンケート調査のような量的調査方法のみでは明らかにできなかった、考えの複雑さと曖昧さが指摘できた。

第一に、科学の実利性の中にも順序性があったり、審美的・鑑賞的価値としての科学の捉え方など、選択肢の中にはない子どもたちの多様な考えかたの存在が明らかになったことである。第二に、特定の選択肢を選びつつも複数の選択肢に対して同意をするという、複数の考えかたの同時的・共存的状況があることである。しかしながら大高（1991）が指摘するように、「自然科学をどんな文脈から観るか、またこの科学のどの側面に主として着目するか、…等々によって、現実に見られる科学観は多種多様である」¹⁴⁾のであるから、この結果はむしろ当然のことと考えられる。第三に、調査問題の意図に対して子どもたちは多様な解釈を行うことである。たとえば科学の実利性について結果としてそうなるとする解釈、あるいは観察の理論負荷性について現実の問題としてそうであるが、「べき」論としてはそうあってはならないとするなどである。そして最後に、選択肢を選んだ理由の曖昧さである。たとえば、前述した「説明」「解釈」としての科学という捉え方をしているある子どもにその理由を尋ねても、その理由がよく分からず感覚的にそうであると答えている事例はそれに当たる。アンケート調査ではこのような結果はすべて同一選択肢を選んだものの中にくくり込まれてしまう危険性がある。この問題に限らず、日常生活の中で培われてきたイメージや感覚を用いて答えている例が多数見られ、質的調査方法の必要性が改めて認識される。

5. おわりに

今回の調査は、サンプルの問題として大学生、教師が愛媛県内に限定されていた点は批判をのがれない。またインタビュー調査の対象も附属中学校の生徒という限定された集団であった。しかしながら、全国にわたり均質化された教育が行われている現在の日本にあって、県単位の特殊性がこのような調査によって顕在化するとは考えにくいし、本調査に先行して行われた複

数県でのパイロットテストの結果もきわめて類似していたため、一定程度の妥当性は保証されるものと考えられる。さらには、これまで先進諸国で行われてきたこの種の研究結果と基本的に一致していることも、信頼性を高めるものと解釈できる。もちろん、発達段階の推移による科学の捉え方の変化や、中学校と高等学校の教師間の相違など、これまでほとんど報告のなかった点に関して新しい知見を得ることができたことは付記しておきたい。

さてそこで、以下においては、今後の理科教育における科学の本質の取り扱い、ならびに子どもの科学観の変容を目指した授業のあり方について、課題を何点か指摘しておきたい。まずは理科を教える教師の有する科学観と子どもの科学観との関係の問題である。Solomon (1996)¹⁵⁾や Hodson (1985)¹⁶⁾が指摘するように、理科の教師が科学の本質についての子どもの理解に、何らかの形で影響を与えていることはまず異論のないところである。ところが教師がある科学観を有していても、必ずしも彼らの授業実践に直接影響を与えないことも明らかになってきている。つまりここで言う科学観が、信念にまで高められていないと教師の教授行動をよりよく理解できないことが指摘されている (Hashweh, 1996)¹⁷⁾。

確かに我々は、子どもたちに何らかの内容を教えるとき、教授内容に対する一定の自信や信頼を有していないと授業での取り扱いや態度に不安を覚える。しかしながら Hashweh の議論に欠けているのは「教える価値がある、必要がある」ということに対する教師の信念、すなわち教育に関する信念である。つまり伝統的科学観よりも現代的科学観の方がより適切であると考えただけでなく、それを教えることが意味があるとする信念がなければ、おそらく彼らの教授実践は変わることがないであろう。この点は未だ仮説の域を出ないが、今後検討する価値のあるテーマである¹⁸⁾。

では科学の本質について教える価値があるという同意が得られたとして、理科教育はいかなる方策を立てられるか。科学のある側面について「～である」と断定的な教え込みをすれば、子どもたちはおうむ返しにそう答えるであろう。しかしこの事実によってその子どもが、より熟考された科学観を有するに至ったとは結論できないはずであり、そこには教え込みではない何らかの「教育」活動が必要である。そもそも科学知識以上に科学観は暫定的・仮説的であり、このような押しつけは避けなければならない。同様の議論の中で、Matthews (1998) は「教育とは単に正しい信念を持てるようにすることでなく、これらの信念のための適切な理由を持つるようにすることである」¹⁹⁾と述べている。同じ議論は Bybee (1980)²⁰⁾を初めとする多くの科学教育研究者たちによっても展開されており、より適切な科学観を持たせるための根拠、経験、理由こそが今授業の中で求められていると言える。

一方「科学とは何であるかについて知るには、科学を体験させればよい」とする経験主義的な議論も可能である。確かに科学についての理解にとって、科学の体験は必要条件であるかもしれないが、人間は自分の行動や振る舞いをメタ的、反省的に認識する行為がなければ、その意味や位置づけを相対的に見ることができない。したがって、科学の体験の中に、科学とはいかなるものかを認識させるような活動をいかに組み込むかが課題となろう。

では具体的にいかなる点に留意して授業を展開するか。この点について Lederman (1992) は、「支援的でリスクフリーな環境の中での問題解決、探究を志向した教授、そして頻繁になされる高い次元の問いかけ等の継続的強調が、少なくとも生徒の(科学についての)捉え方の変化に関連している」²¹⁾ことを指摘している。つまり前述した問題解決や探究活動を単に行うだけでなく、そこに支援的な環境と高次の問いかけが必要であると言うのである。これは批判的、反

省的思考を促す問いかけと言い換えてもよい。「いかにしてそれを知ることができるのか」「その結論は事実に基づいたものか、推論か」といった問いかけの使用によって、関連する経験的、概念的課題についてしっかりとした感得が可能になるであろう。

今後残された課題は、現在の子どもたちの科学観を、より望ましい方向に転換するための教材づくり、あるいはカリキュラム開発、指導法の工夫をいかに進め、学習の成果を検証するかにある。そして教師のいかなる教授上の変数が子どもたちの科学の捉え方に影響を与えるか、さらに前述した教師の教育に対する信念が子どもの科学観といかに関連しているか等、課題は多い。また現在、科学教育の中に積極的にその内容が包含されつつある技術についても研究の視野におさめ、技術の特色、技術とは何かを、量的・質的研究方法を併用する形で、科学との対比の中で明らかにしていく必要があるであろう。

謝辞：本研究で行われた調査においては、愛媛大学教育学部4年生（当時）の熊井崇、瀬戸えり奈、金塚郁子の3名の多大な協力をいただいた。この場を借りて感謝の意を表する。

注・引用文献

- 1) Norman G. Lederman (1992) Students' and Teachers' Conceptions of the Nature of Science: A Review of the Research. *Journal of Research in Science Teaching* 29 (4) pp. 331-359
- 2) 近年行われた代表的なディベートには以下のものがある。
 - ・ Brian J. Alters (1997) Nature of Science: A Diversity or Uniformity of Ideas? *Journal of Research in Science Teaching* 34 (10) pp. 1105-1108
 - ・ Mike U. Smith et al. (1997) How Great Is the Disagreement about the Nature of Science: A Response to Alters. *Journal of Research in Science Teaching* 34 (10) pp. 1101-1103
 後者は現代科学論における議論の現在がどうであれ、学校教育のレベルにおいては合理的なコンセンサスが存在するとの立場をとり、それに対して前者は、コンセンサスの存在よりも科学の本質に関する特定の見解を教えることを指示するデータが存在しないと言う。
- 3) Fouad Abd-El-Khalick, Randy L. Bell and Norman G. Lederman (1998) The Nature of Science and Instructional Practice: Making the Unnatural Natural. *Science Education* 82 (4) p. 418
- 4) 近年科学の本質の教授について具体的に提言した報告書には、以下のものがある。
 - ・ American Association for the Advancement of Science (1989) SCIENCE FOR ALL AMERICANS. Oxford University Press, Inc., NY
 - ・ Biological Sciences Curriculum Study (BSCS) and Social Science Education Consortium (SSEC)(1992) TEACHING ABOUT THE HISTORY AND NATURE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY: A CURRICULUM FRAMEWORK, BSCS, Colorado Springs, CO
 - ・ National Research Council (1996) NATIONAL SCIENCE EDUCATION STANDARDS. National Research Council, Washington, DC
- 5) その成果は以下に報告されている。

- 長洲南海男, 熊野善介, 片平克弘, 今村哲史, 丹沢哲郎 (1998) 日本の青少年の科学／技術／社会観の実態に関する研究, 日本理科教育学会第48回全国大会要項, pp. 284-289
- 6) Glen S. Aikenhead, Alan G. Ryan and Reg W. Fleming (1989) VIEWS ON SCIENCE-TECHNOLOGY-SOCIETY. University of Saskatchewan, Canada
 - 7) 使用した先行研究については, 前掲論文5) を参照のこと
 - 8) Fouad Abd-El-Khalick (1998) Op. Cit. 3). p. 418
 - 9) William F. McComas (1998) THE NATURE OF SCIENCE IN SCIENCE EDUCATION, Kluwer Academic Publishers, Norwell, MA, pp. 6-7
 - 10) Alan G. Ryan and Glen S. Aikenhead (1992) Students' Preconceptions about the Epistemology of Science. *Science Education* 76 (6), p. 571
 - 11) Fouad Abd-El-Khalick (1998) Op. Cit. 3), p. 425
 - 12) National Academy of Science (1998) TEACHING ABOUT EVOLUTION AND THE NATURE OF SCIENCE. National Academy Press, Washington, DC
 - 13) Norman G. Lederman (1992) Op. Cit. 1), p. 351
 - 14) 大高泉 (1991) 理科教育の目的的分析視点に関する一考察—科学観との関連を中心に. 日本理科教育学会研究紀要 32(2), p. 37
 - 15) Joan Solomon, Linda Scott, and Jon Duveen (1996) Large-Scale Exploration of Pupils' Understanding of the Nature of Science. *Science Education* 80 (5), p. 507
 - 16) Derek Hodson (1985) Philosophy of Science, Science and Science Education. *Studies in Science Education* 12, p. 27
 - 17) Maher Hashweh (1996) Effects of Science Teachers' Epistemological Beliefs in Teaching. *Journal of Research in Science Teaching* 33 (1), p. 47
 - 18) Pomeroy は以下の論文の中で, クーンの言う「通常科学」の伝統の中で生きてきた理科教師の伝統的科学観の根強さを指摘し, 教師に新しい科学観を構築することと, それを教える必要があるという信念にまで高める必要性を指摘している.
Deborah Pomeroy (1993) Implications of Teachers' Beliefs about the Nature of Science: Comparison of the Beliefs of Scientists, Secondary Science Teachers, and Elementary Teachers. *Science Education* 77 (3) pp. 261-278
 - 19) Michael Matthews (1998) In Defense of Modest Goals When Teaching about the Nature of Science. *Journal of Research in Science Teaching* 35 (2), p. 168
 - 20) Rodger Bybee (1980) Science, Society, and Science Education. *Science Education* 64 (3), p. 394
 - 21) Norman G. Lederman (1992) Op. Cit. 1), p. 350

資料：科学の捉え方に関する調査問題

- 1) 科学者が植物について調べる理由は何だと思えますか。
 - a. 農家の人々にもっと収穫を多くさせる方法を教えるため
 - b. 植物からよりよい薬を作る方法を学ぶため
 - c. 植物がどのように成長するかを説明できるようにするため
 - d. 植物にとって最もよい土壌とは何かを説明するため
 - e. わからない
- 2) 科学の目指しているものは何だと思えますか。
 - a. 人間の身の回りの世界について発見してきたことが、正しいことを確認すること
 - b. 自然の中で絶え間なく起こっている変化や性質を理解し、説明し、解釈を行うこと
 - c. 自然に関して事実を発見し、集め、分類すること
 - d. 人々の生活をより良くする方法を発見すること
 - e. わからない
- 3) 「科学は自然を理解するための唯一の正しい方法ではなくて、一つの見方にすぎない。他にも自然を理解する方法はあってもよい」。この文章について、あなたはどのように思えますか。
 - a. そう思う
 - b. そう思わない
 - c. わからない
- 4) 「科学における観察では、先入観や偏見、すでに知っていることにとらわれず、ありのままに物事や現象を見ることが大切である」。この文章について、あなたはどのように思えますか。
 - a. そう思う
 - b. そう思わない
 - c. わからない
- 5) 「観察する人の自然についての見方、捉え方、そしてすでに知っていることに基づいて、観察は行われる」。この文章について、あなたはどのように思えますか。
 - a. そう思う
 - b. そう思わない
 - c. わからない
- 6) なぜ科学者が実験を行うとあなたは考えますか。
 - a. 新しい発見を行うため
 - b. なぜその現象が起こるかについて、自分の考えを確かめるため
 - c. 人々の役に立つものを作るため
 - d. データをできるだけ集めて分析し、そこから法則を導き出すため
 - e. わからない
- 7) 科学知識について最も正しいとあなたが考えるものは、以下のどれですか。
 - a. 科学知識とは、互いに関係づけられた事実の集まりのことである
 - b. 今日の科学知識は、過去から引き継がれた科学的見方や考え方、解釈に基づいている
 - c. 今日の科学知識は、今の科学者によって生み出されたものである
 - d. 科学知識には、100%正しい内容だけが含まれている
 - e. わからない

- 8) 科学理論とは何だと思いますか。
- 将来起こるであろうことについての考え方のことである
 - 科学者たちによって認められた、自然現象についての最も適切な解釈や説明のことである
 - 多くの実験によって証明された事実のことである
 - わからない
- 9) 技術の力を借りてある橋を設計するとき、以下のどの考えにあなたは賛成しますか。
- 渡るという目的にかなっていることが大切である
 - その場所の景観および自然環境を損なわないものがよい
 - 最も安く造れる方法がよい
 - 橋の安全性を考えることが大切である
 - いろいろな設計のあらゆる側面を考えることが大切である。
 - わからない
- 10) テレビの設計とは、以下のどの領域の問題だと思いますか。
- 科学の領域の問題である。なぜなら電気に関することだから
 - 科学の領域の問題である。なぜなら実験が必要になるから
 - 技術の領域の問題である。なぜなら、より便利な手段を工夫することだから
 - 技術の領域の問題である。なぜなら電気に関することだから
 - わからない
- 11) 以下の選択肢の中から、あなたの考えと一致するものすべてに○をつけて下さい。
- 「科学は科学者の興味や関心に従って行われるので、その応用について考える必要はない」
 - 「科学は客観的な知識を求めることが目標なので、社会の人々が何を望んでいるかによって影響されることはない」
 - 「環境汚染や酸性雨といった今日の環境問題は、これまでなかった技術革新や科学の進歩によって生じる」
 - 「科学と技術は私たちの生活をより健康的で過ごしやすく、快適なものにすることが多い」
 - 「私たちの国の繁栄は、科学と技術に非常に依存している」
 - 「科学と技術が私たちの生活に対して害をもたらすことはほとんどない」
 - 「科学と技術だけでは、今日のあらゆる問題を解決することはできない」
 - 「科学、技術、社会のそれぞれは、違った営みなので、互いに影響し合うことはない」
 - 「科学と技術は社会に対して影響を与える一方、社会も科学と技術に影響を与える」
- 12) 以下の用語の中で、その意味がよくわからないものに○をつけて下さい。
- 科学知識
 - 科学理論
 - 科学の概念
 - 科学の法則
 - 科学と技術の違い
 - 科学における観察と実験
 - 科学的事実