

An Attempt at Scientific Literacy Education(2): Results and Discussion

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2014-01-31 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: SUEHIRO, Shoji メールアドレス: 所属:
URL	https://osaka-shoin.repo.nii.ac.jp/records/3889

BY-NC-ND

科学リテラシー教育のひとつの試み(2) —実施結果と考察—

学芸学部 被服学科 末廣 祥二

要旨：本学被服学科の学生を対象とする基礎教育科目において科学リテラシー教育の実践を試みた。科学の概念の意味づけや成り立ちについて理解させることを目標として、化学を中心とした自然科学の主要なポイントを説明し、理論の枠組みの中での意味づけを説明し、その根拠はどのようにして与えられるかという、説明のストーリーを用いた教育を実施した。講義を補完するものとして、質問と答、科学のクイズ、小テストの三つの道具立てを用いた。最初の2つは説明のストーリーをより深く、より詳細に示すために有効である。質問と答に関しては、質問に沿って深く掘り下げた解説をおこなうだけでなく、質問から意図的に飛躍して関連事項を説明する場合もある。それによって、学生の興味や理解に沿った補足的説明が可能となり、また学生の質問に触発されて講義を組み立てる際には気づかなかったポイントを見つけたり、別の視点での説明を思いつくことができるというメリットもある。毎回の授業で出題する科学のクイズは、学生に科学的考え方を実践する機会を与えることができ、その解説の中で、問題の把握の仕方と科学的考え方の実例を具体的に示すために役立つことができる。授業期間中に何回かおこなう小テストの問題は与えられた語句に関して理解していることをまとめるという内容で、科学的概念を復習させるために効果的である。授業期間の前後においておこなった、科学観等についての調査によると、科学に関する関心が向上したことが示された。

キーワード：自然科学、科学リテラシー、教育、説明のストーリー

はじめに

昨今はいわゆる理科離れが進行していることが指摘されている。2012年度全国学力テストの際の意識調査についての報告で、理科離れは学習の動機付けにその一因があるという可能性も示唆されている。これまで若者の理科離れについて、科学立国日本を支える理科教育という文脈で語られることが多かった。しかしながら前報¹⁾において述べたように、2011年に起こった東日本大震災とそれに付随して発生した原子力発電所の事故は、むしろ一般市民における科学的リテラシーの必要性を痛感させられる出来事であった。そのみならず、昨今の異常気象によって地球環境問題の重要性に気づかされるなど、現在ほどすべての人々にとって科学についての関心を要求されている時代はないと考えられる。

生物学者の岡田節人は著書²⁾の中で、私論であると断りつつ、次世代への科学／技術教育に関して論じている。その中で、理科離れについて、「今日の危機の最大なるものは学校教育における若者の理科離れではなく、成人・大人たちの完全な科学離れ、科学への

完全な無関心(ときには嫌悪)である」³⁾と述べている。岡田は、この科学への無関心あるいは嫌悪について、立花隆⁴⁾、C. P. スノー⁵⁾、ロビン・ダンバー⁶⁾の著書を引用しつつ、「知と智の乖離」(科学・技術の智からの乖離)の問題として捉え、学校の制度化された教育でこの乖離を埋めるのは無理であると述べている。なぜなら、制度としての理科教育は実学指向、つまり科学／技術職業人を育てるための職業教育であり、味気ない階段・階梯が不可避のものであるからであるとし、「身動きならぬ階梯的システムからフリーであり得る局面の多い、よりソフトな科学である生物学の如きを教育システムのより中心的なものとして位置づけたらどうか」⁷⁾と提案し、さらに、科学を演奏する、すなわち、科学の営みを直感と心によって伝達することを提案している⁸⁾。つまり、一般市民にとっては無味乾燥なものに過ぎない楽譜を音楽として享受できるのは、異例な才能を持ち、特別な訓練を受けた演奏家存在のおかげであるが、科学にはそのような演奏家は存在しない。科学においてこれを実現しようということである。科学を演奏するための条件とは何か。岡田に

よると、「科学の伝達の方法として言語（および数理）にのみ頼らない様式を創案すること」であり、「このような伝達によって、科学の感性による直感的把握が万人に可能となるはずである」としている⁸⁾。岡田は、1993年の科学技術白書¹⁰⁾において、若者たちの科学離れの原因の一つとして、科学技術活動の大組織化によって、その背後にある個々の科学者や技術者という生身の人間の活動が見えてこないという指摘があったことを引用し⁹⁾、「ここに若者の科学離れの原因だけでなく、二つの文化（知と智）の極端な乖離の原因があり、そして、その克服つまり生身の人間の見える科学への指向は、とりわけて成人の科学への関心をつなぎとめる方策の出発点になると私は思うのである」³⁾と述べているが、このことが、「科学の演奏」についての手がかりではないであろうか。

さらに岡田の著作には次のような一節もある。「現在日本のお母さまたちの中で、子供に教えるのが（あるいは子供と付き合うのが）最初に難しくなる教科目は理科だ、という話を耳にしたことはあるが、これはいかにもありそうである。科学離れを食い止める策を考えるには、この女性と理科の問題もかなり特別に意識においておかねばならない。」³⁾ 女子大学生の科学的リテラシー教育はこの観点においても重要である。

本学被服学科においては、平成22年度より服飾基礎科学という科目を開講し、筆者が担当している。配当は1年生前期である。この科目は高等学校において化学または物理学を学んでいない学生に対して、被服学科の自然科学系の専門科目を学ぶために化学および物理学の基礎を修得させることを主目的とした科目である。しかしながら、上述のように理科離れが進行する現在、大学は科学的リテラシー教育の最後の砦としての役割を果たさざるを得ない状況にあることを鑑みて、この科目に科学的リテラシー教育の役目を果たさせるという実験的試みをおこなって来た。岡田は「科学の演奏」に当たる教育は制度的教育外のものとして考えている。しかしながら高等学校までの理科教育とは違い、大学における科学的リテラシー教育には、その要素を盛り込む余地があるのではないかと考える。

前報¹⁾において、科学を専門としない学生に対する科学リテラシー教育の方法として、「説明のストーリー」¹¹⁾の可能性について述べた。「説明のストーリー」の目的はひとつには科学の世界の探検である。そこでは日常感覚を拡張することも重要である。しかし安易な拡張はかえって理解を妨げるので慎重におこなうべきである。また、やさしい言葉で説明したからといっ

て本質が理解できることにはならない。

説明のストーリーにおいてはストーリーの枠組みを示すことが最も重要である。科学を専門とする学生のための基礎教育は、必要とする基礎科目を積み上げていくものである。学問の枠組みは学んでいく学習者が自ら学び取るべきことである。しかしながら、非専門家のための科学的リテラシー教育においては、基礎を積み上げることなしにその分野の内容を理解させなければならない。すなわち枠組みの理解こそが科学的リテラシー教育の基盤となるべきであろう。そうは言っても科学の枠組みを網羅的に解説することは不可能である。科学の考え方を理解させるには主要な部分をケーススタディ的に取り上げることで十分であろう。ただし、なぜそういう考えが成立するのかということ、すなわちそれを支えるもう一段下の理論がその根拠を与えているものだということを保証することは、それを納得して受け入れるために必要なことである。また、不必要であっても、さらに掘り下げればどのような取り扱いがそこにあるのかということの説明することも一層の興味を喚起するためには有用である。専門家の教育が積み上げ式であるならば、非専門家の科学的リテラシー教育は「芋づる式」と言えるであろうか。

前報¹⁾においては科学的リテラシーとは何か、日本における理科教育、科学的リテラシー教育のあり方に関する諸国の取り組み等についてのまとめをおこない、大学における科学的リテラシー教育の試みとして、筆者が担当している服飾基礎科学の内容の紹介と科学への導入に関することがらについて述べた。本報告では、科学的リテラシーを教育するために考えた手法、問題点、アンケート調査結果などをもとに実施結果について考察してみたい。

1. 科学的リテラシー教育への導入

科学的リテラシー教育の歴史、その目的についての各国の考え方、およびそれを実現する方法等について、前報¹⁾において大まかなまとめをおこなった。‘リテラシー’のもともとの意味は‘識字’ということであり、何々に関するリテラシーというと、通常はそれに関する基礎知識と解されている。したがって、往々にして科学的リテラシー教育を科学の基礎的事項についてひととおりの解説をするものと捉えがちである。実際、わが国の理科教育カリキュラムは基礎となる事項・知識の教育であった。しかしながら、米国の、すべての人々のための科学的リテラシーという概念、すなわち、人間活動として科学をとらえ、社会生活で遭遇す

る科学および技術的問題に判断を下すための素養としての科学的リテラシーは、決してそのような知識の羅列的教育では得られない。そのような目的のための科学的リテラシーの定義をより厳密に記述するならば「科学の概念の意味づけや成り立ちについて理解し、科学の具体的な命題を考える際の共通な理解の基盤」¹²⁾となるであろう。

科学の概念の意味づけや成り立ちを理解させることが目的であるとするならば、最初にどのように始めるかということが極めて重要である。科学の概念についてほとんど白紙に近い学生に科学を導入するには、科学の非日常性を体験させることが効果的であると思われる。これについては前報で述べた通りである。まず宇宙および原子のサイズを「体感」させるために、サイズの世界の旅を紹介する。また宇宙、地殻、人体の元素組成を説明し、宇宙の中の人間というイメージを明らかにする。「自分がなぜここにいるのか、そしてどこから来たのか」の追求こそが科学の活動であるから、これは科学的リテラシー教育の出発点でもあろう。

なお、服飾基礎科学は新入生の最初の学期に配当されているため、必然的に大学教育への導入という要素も要求される。筆者がその中で最も重要と考えているのは、自己の存在についての省察と学習の意義の再確認という点である。突飛なようであるが、「自分がここにいる不思議」と題して、宇宙の起源から、太陽系の生成、地球の生成、生命の誕生とヒトにまでの進化、地球上の自分、という風に自己をとらえるということを講義第1回目のガイダンスの冒頭で述べている。次の学生の感想は筆者の意図を良く代弁している。

科学の世界はとても興味深く、とても惹きつけられる内容だった。特に人類がどのようにして誕生したのかを追究する場面では、自分が今ここにいることがどれだけの奇跡であるかを改めて考えさせられた。自分の命を大切に、充実した大学生活にしようと思った。

2. 科学的リテラシー教育の実践

2.1 三つの道具立て

服飾基礎科学の各回のテーマとトピックスは前報¹⁾の表2に示した通りである。講義はパワーポイントを用いて、なるべく図や画像を多用して視覚に訴えるようにおこなった。授業の際は、「講義メモ」と題する、講義の骨子を1ページ程度のA4用紙に印刷したものと、パワーポイントの縮小コピーを配布した。

服飾基礎科学の授業においては、講義以外に、三つの道具立てを用いた。それらは、「質問と答」、「クイ

ズ」および「小テスト」である。筆者は、科学的リテラシー教育において、これら三つは講義以上に重要な意味を持つものと感じている。科学的リテラシー教育の実践を報告するには、講義の内容とそれに対する学生の反応を述べるべきであるかもしれないが、「質問と答」や「クイズ」は学生の反応が直接的に表れているので、よりわかりやすいと考え、それらを中心に以下に説明することとする。

2.2 質問と答

過去の自分を振り返ってみてもそうであるが、一般に我が国の学生は質問をすることに慣れていない。学生に積極的に授業に参加させるような科学的リテラシー教育が理想ではあるが、授業の中で学生に討論させるためには、議論できるだけの基礎知識があることが前提であり、またそれだけのお膳立てが必要である。

したがって、甚だ後戻りの考えであるが、学生というものは大人数の授業において授業中に質問しにくいものであるという前提に立って、質問用の紙に記入させるという方法を採用することとした。筆者の場合は出席カードと質問用紙を兼ねるものを使用している。質問を紙に書かせてみると、学生はかなりの疑問・質問を持っていることがわかる。

質問された内容はどのようなものであれ、すべての質問とそれに対する答を印刷し、次回の授業前に配布する。この「質問と答」の見掛け上の目的は、学生が疑問に思ったこと、あるいは理解ができなかったこと、その他授業に関して気づいたこと等の情報を得、質問に答えてそれらの疑問を解消することと、それらを授業改善のための資料とすることである。これは手法としては、質問カード方式としてしばしば用いられる方法で、取り立てて議論するほどのことでもない。

これが科学的リテラシー教育において特別の意義を有し、必要な道具の一つとなると考えたのは以下の理由による。第一に講義に与えられた時間では基礎的事項を説明することで精一杯であり、事例を挙げながら科学に関する掘り下げた説明をおこなうにはその2~3倍の時間を要するということである。第二に、それらの詳しい説明は口頭でおこなうよりも文章による方が過不足なく、かつ正確に伝えられるからである。すなわちこれは単なる質問と答ではなく、授業内容の発展的説明を主とした副読本を意図したものである。単に講義の追加説明を記述した印刷物を配布してもほとんどの学生は目を通さない。すなわち「質問と答」という形式にしたのは読ませるためである。どんな学生

であれ、自分の質問に対してどのような答が返ってきたかということには興味があるはずである。そこで、質問は授業内容に関するものが原則であるが、プライベートな内容を除き何でも良いとして、まず質問を書きやすくした。また、自分が発した質問に対して回答がなければ失望して質問を書かなくなるおそれがあるので、すべての質問に答えることを原則とした。なお、同様の質問が複数あった場合は代表的なものを取り上げて「同様の質問あり」と表記した。どんな質問にも答えてくれるということは学生にも好印象を与えたようである。そのように学生の興味を喚起することで、他人の質問も読むように仕向けることに留意した。実際に、他人がどのような質問をしているかを知ることにも興味あるという感想もあった。質問をすることで、間接的ではあるが、授業への参加意識を持たせることができたのではないかと考える。また、授業内容に関する質問の数は成績評価にも反映させることをシラバスにも明記し、質問増加への誘因とした。

先にも述べたように「質問と答」の主目的は授業内容の発展的解説である。学生の質問を利用して、あえて脱線して関連事項の説明という形を取るとか、かなり踏み込んで深い内容を説明することもおこなった。このような記述の仕方は、あらかじめテーマを決めて解説を書く場合より、しばしば面白い記述を組み立てることができることがわかった。また質問からインスピレーションを得て、想像していなかったテーマあるいは説明の方法で解説を書くことができ、教師にとっても示唆に富むものであった。さらにそれらの質問が学生の理解しにくい点を示してくれるものでもあるので、副読本として学生の理解に寄り添ったものにしていくということでも好都合であった。以上の利点を考慮すると、この「質問と答」は当初の予想を超える効果をもつものであった。

以下に、質問を利用して、説明のストーリーをどう組み立てたかという事例として、「質問と答」から3つの典型例を示す。

(質) 科学のことあんまりよくわからないけど、科学ってすごいなあと思いました：とりあえずは「すごいなあ」と書いていただければ十分です。それだけでも科学についてお話したかいがあります。科学を本当に理解するには数学、物理、化学を基礎からきちんと学び、数式も理解する必要があります。しかしみなさんにはその時間がありません。放射能を例にとって科学を理解することはどういうことか説明しましょう。原発の事故があって放射能が怖いと

言うことはわかりました。原発から出た放射性物質から出る放射能がどれくらいしたら消えるのかみんな不安に思っています。ところがそれは放射性物質の種類によって数十日から何十万年とびっくりするくらい違います。科学の素人にとっては、「それは一体何なの？全然わからない！」というのが正直なところでしょう。でもこれは原子核の性質によるもので、核物理学という学問で正確にわかっていることです。みなさんはそれらの学問を信頼して、放射能がどれくらいで消えるかということには確かな根拠があるんだということを知っていただければ良いのです。

これは一見何ということもない感想に過ぎないが、それを利用して科学についての一つの説明を試みたものである。

(質) どうして全ての原子が安定にはならないのですか。不安定であることに何かメリットはあるんですか；原子に安定、不安定があるということを知った：不安定であることに何かメリットはあるかという質問は非常にポイントをついた良い質問です。もしすべての原子が安定だとしたらどうなりますか？原子と原子の間に結合が起こるはずはないので永久に何も変化が起こりません。化学反応も起きないので生物が発生するはずありません。現在多様な物質があって、生物が生まれたのは原子のほとんどが不安定だったからこそです。それが不安定のメリットです。メリットどころではありませんね。現在の世界を決定づけるものだったのです。

上の例は、学生の素朴な質問が、元素の性質、ひいてはこの世界の成り立ちに関わる、根本的なものであったということと、学生がこのような疑問を持つことを、講義の準備段階で想定することが困難であるという点で、教えられるものがある。

(質) 科学を発明したり、発見したり、どうやってやっているのか不思議でたまりません；科学はよく実験っていうのをよく聞くけど、どうやって実験をしているのですか？原子や分子はすごく小さくて見えないのに、水素原子を6千がい(著者註：埃、すなわち10の20乗) 個集めてやっと1gっていうのは、いつ、どんな風に発見したのか知りたいです：小さくて見えないものをどうして発見したかというのは深遠な話です。見えなくてもその存在を示す色々な証拠を見つけることはできます。科学の進歩は見えないものの存在を追求してきたことだということも言えるでしょう。現在では原子や分子の外形を見

ることのできる顕微鏡があります。透過電子顕微鏡や原子間力顕微鏡です。でもそれらの顕微鏡で原子が見えるようになるずっと前からもっと正確に原子の大きさは測定されてきました。原子の大きさというのは結局他の原子と結合するときの結合半径です。したがって分子の形と大きさがわかればそれを構成する原子の大きさがわかることになります。分子の大きさと形を正確に測定する方法の一つはX線回折です。結晶にX線を当てると、結晶から出てくる二次X線の干渉が起こり、干渉パターンが観察されます。これを解析すると原子と原子の距離がわかるのです。これは難しいことなのでそんなものかと思っておいていただければいいのですが、気になる人がいるかもしれませんのもっと説明しておきます。興味のない人は読み飛ばしても良いです。(以下省略)

岡田が「科学の演奏」という言葉によって説明したように⁸⁾、科学の営みを直感的に説明することは科学的リテラシー教育の根本である。この例は質問をネタに使う「科学の演奏」を試みたものである。もし質問の答としてではなく、ここに回答している内容を講義で述べる、もしくは補足資料として記述するとすれば、学生が疑問とすることがらに沿った説明をおこなうことは難しいであろうし、また学生も興味を持って受け入れてくれるとは思われない。

2.3 クイズ

科学に関するクイズを毎回出題することとした。クイズの解答は出題した次の回の出席カードの裏に記載するというルールとしている。これは考えたり調査したりする時間を最低限一週間与えるためである。2013年度におけるクイズの平均解答率は76%であった。学生からの質問がクイズの題材となり得る場合は、可能な限りそれを採用した。これには自分たちが疑問に思うことも自分で解決できることがたくさんあるのだということを実感させるという意味もある。提出されたクイズの答をできるだけ多く取り上げて評価と解説をおこなったものを次週に印刷して配布した。

クイズの目的の第一は、自分で考え、または調査するという機会を与えることである。科学的思考は実践によらなければ育むことはできない。毎回1回のクイズでは実践の機会として十分とは言えないが、解説の際に問題の把握の仕方と解答の仕方と科学的考え方の実例を具体的に示すことができたと考えた。註(1)に2つの例を示す。

毎年必ず出題しているクイズに、「海の中にスプーン1杯(5mL)の真水を入れたとする。長い時間が経って、この水が世界中の海の中に均一に混ざった後で5mLの海水を採取すると、この中にもとの水の分子はいくつくらいあるか。ただし、海水の総量は13億5000万km³とし、海水の蒸発は無視する。」というものがある。この答は約1個(より正確には0.6個)というものであるが、分子の数がいかに日常感覚からかけ離れたものであるかを実感させるものである。これはきちんと計算すれば必ず答が得られるが、正解者は毎年数名に過ぎない。

インターネットを検索して解答を得ようとする学生が毎回多くいたが、結果的に科学的誤りや不正確表現のサンプルを数多く収集してくれたこととなった。それらを取り上げて具体的に誤りを指摘することで、インターネット情報がいかに誤りに満ちているかを学生に実感させることができたことも一つの成果であると考える。

2.4 小テスト

本科目を開設した最初の年のみ学期末試験を実施したが、次の年度より授業期間中に3回の小テストを行うことに変更した。主な目的は授業の記憶が薄れないうちに試験を行って知識の定着を図ることである。なお、最初の小テスト後の「質問と答」に書かれた感想に、復習が不十分であったことを反省するものがいくつかあったことから、復習の重要性を早い時期から気づかせるためにも最初の小テストが役立ったと考えられる。

小テストの問題は、予告した試験範囲内の重要語句15個程度の中から4つを任意に選び、「次の語句について理解していることを、例を参考にして100~200字で論じよ。」というものである。「次の語句を説明せよ」ではなくて「次の語句について理解していることを論じよ」であることに注意されたい。註(2)に示すものは学生が書いた解答例である。

ノートおよび配布プリントは持ち込みを認めている。暗記させることが目的ではないからである。全く復習をしなかった場合でも、プリントを見て語句の説明を作成できれば、それはそれで将来社会人となったときに役に立つ能力を身につけていると評価できる。また、仮に自分で勉強せず、他の学生がまとめたノートをコピーさせてもらって自分のノートに貼り付けていたとしても、小テストの際にそれを読んで、書き写すことは最低限の「学習効果」となり得る。そのようにして

作成された解答は、厳密に言えば学習成果と認められるものではないかもしれないが、すべての学生に、学んだことと、それを評価されたという実感を持たせることこそが科学的リテラシー教育において重要なことではないかと考える。科学の学習に対する興味や意欲には学生間で大きな隔たりがあるからである。

3. 学生の質問から見た科学の受け止め方

何よりも印象的であるのは、「科学が苦手でも大丈夫でしょうか」、「中学生の頃から科学分野は苦手で高校の時も科学系の授業は取ってきませんでした」、「私は科学にとっても苦手意識を持っているので、“科学”と聞いて少し不安になっています」、など、科学に対する強い苦手意識を持つ学生が多いということである。「今まで、暗記すればテストは出来るものだと思っていたが、覚えるだけでも大変だ。一昨年にやったきりなので覚えられるかどうか不安である」、「必死に覚えたのに2年間化学から離れたらあつという間に忘れてびっくりした」などの感想から想像すると、苦手意識は、一つにはとくに化学において暗記することが多いからという理由があるようだ。折に触れて、暗記する必要はない、むしろ丸暗記することは有害であることを強調した。

また、「原子と分子」や「元素記号」の分野は、高校の時一番嫌いな授業でした。話が難しく理解することができなかつたからです。」など、難しいという感想も多い。難しいという声に対しては、学生には、科学の奥深さを知ってもらうためにはかなり難しい話も含まれるので、難しいと感じるのは当たり前と思っただけで、むしろ早く難しさに対する免疫をつけてもらいたいと話している。また、難しいという内容には「元素記号が暗号に見えて難しい」、「希ガス、ファンデルワールス力など、全く知らない言葉ばかりで小テストが心配です」などの感想のように、知らない言葉が出てくるからというものもある。学術用語というものは正確な定義があり、それを理解することが科学を学ぶ上で大切なことであり、耳慣れないから難しいという情緒的な考えは捨ててほしいと折に触れて伝えている。

さて、授業に接した後の質問や感想を見ると、科学に接した驚きや新しい視点に対する素直な感動などがあつた。宇宙や原子分子の世界の非日常的なサイズの世界に興味を示したものは多い。「宇宙の拡大していく話はとても面白かつた。自分が今見ているものはほんの少しなのだと思ひ不思議でしつた」、「原子とか分子

の世界って宇宙空間に凄く似ているな」と思ひます。宇宙の中の小さな小さな星のさらにマイクロな世界の話を、宇宙の中で星が出来るように原子から様々な分子が生まれることは小さなキセキだと思ひます。化合物なども含め、原子などの世界は宇宙のことを学んでいるようで楽しいです。電子が雲のようなところをぐるぐるまわっているところを初めて見ました。」科学を学ぶ上でこのような感覚をもつことは非常に重要であると思われる。それにしても原子や分子の世界が宇宙空間に似ているというのはユニークな視点である。

身近なものとの科学との関係を述べた感想は多かつた。「毎回この授業でおもうことですが、科学は私たちの身近にある物のたくさん使われていておもしろいです」身近なものに科学があるという視点は科学的リテラシー教育の根幹であろう。「人間もこういつた化学反応が起こつていないと生きていけないけど、体の中でいろんな反応が起こつていて考えるととてもおもしろいなと思つた」化学反応という、難しい学習項目が、自分自身の存在の中で意味を持ったものとして認識された瞬間である。「今までこの授業は“服飾”に関係あるのかな？って思つていたけどー今日なるほどな！と感じました。例えば‘ファンデルワールス力’。ポリエステルなど分子と分子の間に働いていて聞き、服にも大きく関係しているなとおもいました。」服飾とのつながりも、“分子間力”という深いレベルにおいて理解するというところに大きな意味がある。

一方で、直感や常識とは違うことへの驚きを指摘するものも多かつた。「光の仕組みが少しづつ分かつてきた中で、光合成が「赤」色だつたことに驚きました」緑の葉っぱを持ったものは光合成をする。だから緑という色が大切なのだというのが素朴な直感から多くの人が信じていることだが、実は光合成には赤の波長の光が使用され、目に見える緑はその残りの色なのだ、ということに対する感想である。質問と答の項で紹介した2番目の質問、つまり原子の安定不安定ということも、常識における安定不安定とは別の意味があるという点で、科学と常識のギャップを示すものでも言える。「天然のレモンのスペクトルとテレビ画面上のレモンのスペクトルは全然違うのに人間の目には同じ黄色に見えるというところがおもしろいなと思ひました」これも人間の目では区別できないことであるから、色の知覚に関する科学的事実を知らなければ、想像すらできないことである。「やっぱり科学は難しいです、イオンの電気を通す、通さない話がとても難しかったです。水は動いていなくてもイオンは動いて

いるとか…。言ってることはわかるけど実際水を見てイオンが動いてるとかわからないので不思議です。」水溶液の中でイオンが動くということは日常感覚では想像しにくい。講義では、水をコップに入れて静止させると、全く水が動いているようには見えないが、実は水の分子は激しく振動的に動いているのだということを説明する。電氣的に中性の粒子が水中にある場合は、水の分子運動の影響で全くデタラメに動く。しかしイオンのような荷電粒子は電氣的引力によって電極に引かれるため水中を移動する。これが電気を通すということの正体であるが、常識とのギャップがかなり大きいので理解させることは難しい。逆に言うと、これを理解させることは科学の理解への大きいステップになるということである。

「今日の授業を聞いて不思議に思ったことなのですが、 H_2 や O_2 は性質として気体の時に火を近づけたら爆発や燃焼が起きますが、液体の時に火をつけて水につけると消えます。 H_2O の時に H_2 や O_2 は気体の時の性質をもっているから火が消えるのですか？それとも別の物質だから火が消えるのですか」水素が燃焼すると水になるが、水をかけると火が消えることとは何か関係があるのだろうかという疑問である。このような疑問を持つことは科学の世界に自ら踏み込もうとする意欲を感じさせるもので貴重である。まず物質としての性質から解明できないかというアプローチから始めているのは科学的思考として極めて正統的である。しかしながら、水をかけると火が消えるという現象は、液体の水の熱容量と蒸発潜熱が大きいことによって燃焼箇所の温度を下げるということが最も大きい要素である。つまり化学反応にだけ着目していたのでは解決できず、熱理論という別の考え方を導入しなければならない。これも科学的アプローチの一側面である。

科学の営みに関する質問や感想もある。質問と答の項で紹介した3番目の質問がこの典型例である。他にも次のようなものがあった。「気体は目に見えないけど、固体・液体は見えるけど分子まで見えないのに、こんなことを見つけた人はとてもすごいと思った」、「夜に見える星も色で温度が高いのか低いのか、あんなに遠くにあるのにわかるのはすごいと思いました」

科学を通して見えてくるものや科学によって新たに獲得した自然観を述べたものもある。「地球上にある元素は星が爆発することによってより重い元素ができると知って爆発で元素ができるとは思わなかったからびっくりしました」、「炭素の結合によって、1番かたいダイヤモンドになったり、やわらかいものになった

りするのとはとてもおもしろいと思った」後のものは化学において最も重要な概念を述べてくれている。

以上は教師側が意図したことが伝わっているかどうかの確認と同時に、学生の声から科学的リテラシー教育のポイントを教えてくれるものでもある。

4. アンケートから見た科学観

服飾基礎科学を受講した学生の科学観がどのようなものであるか、またそれが本科目を受講することによって変化があったかどうか調査するために、2013年度の講義第1回目と講義最終日（その後に補講を1回おこなったため実際には講義14回目であった）に、同一内容の無記名アンケート調査を実施した。科学観に関する質問項目としては、川上ら^{13,14)}が現代大学生の科学観・自然観を調査するために作成したものを採用した。ただし実施の都合上項目数を制限せざるを得なかったため、第2報¹⁴⁾において追加された項目はあえて除外した。質問調査した各項目および回答数を表1および図1に示す。

回答数の多かった項目は上位より、(科学は)「便利なもの」、「生活を向上させるもの」、「危険を含んでいる」、「近代的なイメージ」、「夢を与える」、「固いイメージ」であり、順番において受講前後でほとんど変化はなかった。下位の項目を含めても、若干の例外を除き、受講後で回答数の増加が見られたというのが一般的傾向である。

表1 科学観に関する質問調査

項目	授業前	授業後
科学という概念は曖昧である	33	37
科学は人間が生きていくのに便利なものである	54	55
科学には近代的なイメージがある	47	44
科学は急速に発展するものである	34	35
科学には副作用がつきものである	26	31
人間が自然を利用するためには科学が必要である	33	34
科学は人間の生活を向上させるものである	51	48
科学の発展は人間を弱くする	26	24
科学は自然を壊すものである	24	29
あらゆる事象を分析し証明することが科学である	41	35
科学とは危険を含んでいる	49	51
科学とは人間に悪影響を及ぼすものである	14	15
科学は世の中を豊かにするものである	33	36
科学とは筋の通ったものである	22	23
科学は人間に夢を与えるものである	45	43
科学は閉鎖的である	4	9
科学は人間の理想を実現してくれる	29	23
科学は人間の欲望を駆り立てるものである	14	20
科学には固いイメージがある	45	42
ノーベル文学賞よりもノーベル科学賞の方が価値がある	18	18
出席者数	80	68

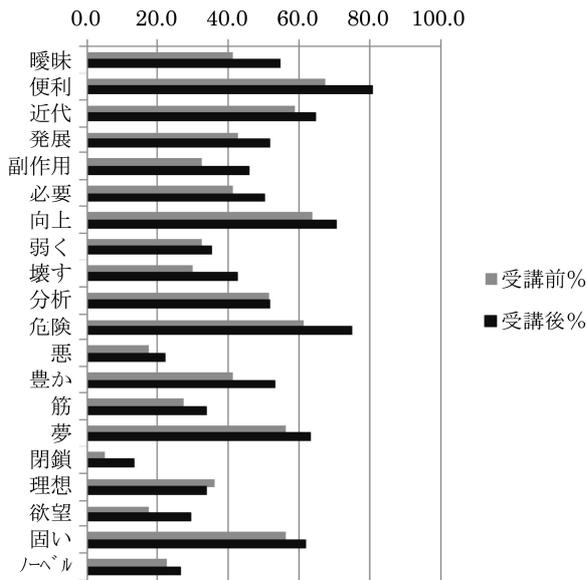


図1 科学観に関するアンケート(全項目)

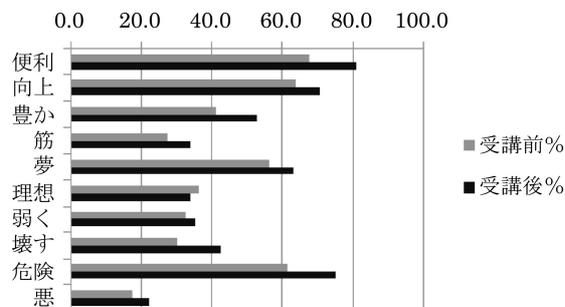


図2 科学観に関するアンケート(プラス、マイナスイメージ)

受講前後での変化をより細かく見るために、科学についてプラスイメージのものとマイナスイメージのものを抜き出してみた。図2の最初の6項目がプラスイメージ、後の4項目がマイナスイメージのものである。ここでも受講前後で傾向はほとんど変化していない。プラスイメージの項目について、受講前は平均値48.8%、標準偏差16.1%、受講後は平均値55.9%、標準偏差19.4%、マイナスイメージの項目について、受講前は平均値35.3%、標準偏差18.5%、受講後は平均値43.8%、標準偏差22.5%であった。これより受講前後の平均値の差の検定をおこなった。プラスイメージ項目の検定統計量 t_D は2.93、マイナスイメージ項目の t_D は2.64であり、 $P = \Pr\{|t| \geq t_D\}$ はプラスイメージ項目に関して0.0150、マイナスイメージ項目に関して0.0388となった。すなわちプラスイメージ項目は有意水準2%で、マイナスイメージ項目は有意水準5%で母平均値に差があるという結果となった。先に述べたように、受講後はすべての項目がほぼ一様に増加していることから、講義の受講によって科

学観の内容的な変化は生じなかったと考えられるが、上記の統計的検定の結果、プラスイメージ項目、マイナスイメージ項目とも平均値が大きくなっていることから、科学に関する関心が強まったことを示すものと解釈される。

なお、ここでは科学観の変化を知る目的として、科学に関するプラスイメージとマイナスイメージについて調査したが、授業および補足的説明の中では、科学の本質を捉えることを第一に考え、科学のプラス面、マイナス面の評論をできるだけ避けるように心がけた。

科学観に関する調査に加えて、迷信(と思われるもの)に関する意識、科学への苦手意識、興味等についての調査もおこなった。これに関する調査項目および回答数を表2、図3に示す。最も目を引くのは科学が苦手であるという学生が圧倒的であるということである。得意であるという学生はほとんどいない。受講前にわずかに3名いたのが受講後にゼロとなってしまったのは講義の担当者としてはショックである。科学の奥深さや面白さを感じさせるように努力を傾けたが、苦手意識を解消させるという観点が全く抜け落ちていたと気づかされた。これをどのようにおこなうか、今後の課題として残された。図3によれば、最初の5項目、すなわち迷信に関する項目は受講によってほとんど影響を受けていないように見られる。科学観に関する調査においても、全体に回答数が増加して、科学への関心の増加は確認できたものの、傾向についてはほとんど変化がない。自然科学の概念に関する知識という面では、学生はほとんど白紙状態であるはずであると述べたが、それらの知識が幾ばくとも増加したはずの受講後において、科学観の傾向や迷信に関する態度にほとんど変化がないことはどのように理解したらよいのだろうか。印象として植え付けられたものは学習によって容易に変化するものではないということか、それとも科学的リテラシー教育はこれらの態度には影響を与えなかったということだろうか。なお、血液型と性格の関連性を肯定する割合が増えたことはやや気になる。講義ではこれについて触れなかったが、なぜこのような結果となったか理解しがたいところである。科学が面白いと感じる学生が受講後やや増加しているのは講義の成果が少しなりとも現れたものである。科学については興味がないという学生が約35%いるが、生命や宇宙に興味があるという学生は40%位存在する。しかも科学に興味がないと回答した学生が生命や宇宙に興味あると回答した例もいくつかあった。科学全般には興味があっても生命や宇宙には興味

表2 迷信あるいは科学に関する興味

項目	授業前	授業後
幽霊はいると思う	50	42
心霊写真はあると思う	43	39
〇〇年に人類が滅亡するなどという話を聞くと信じる	15	10
UFOはあると思う	40	35
血液型と性格には関連があると思う	42	41
科学は得意	3	0
科学は苦手	69	60
科学は面白いと思う	31	32
科学に興味がない	27	25
生命に興味がある (IPS 細胞、生命の起源、DNA など)	27	22
太陽や宇宙に興味がある (ビッグバン、探査機はやぶさ、金環日食など)	35	32
素粒子に興味がある (ニュートリノの速度、ヒッグス粒子の発見など)	6	3
出席者数	80	68

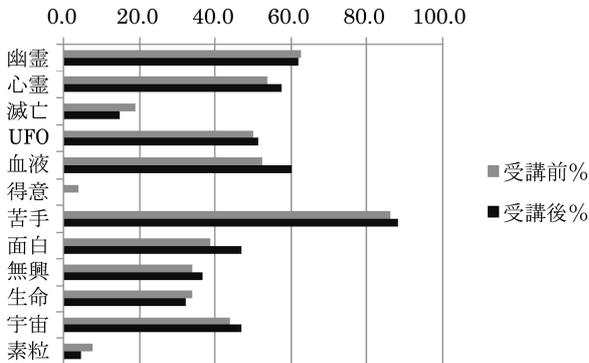


図3 迷信あるいは科学に関する興味

があるということであろう。科学に興味がないという学生を科学へと誘うための入り口として宇宙や生命に関するトピックスが有効であるというヒントとなる。

5. 授業に関するアンケート

授業最終回（前述のように実際には14回目）に授業と「質問と答」についての無記名アンケートを実施した。図4は授業そのものについてである。「易しい」より「難しい」が圧倒的に多いのは想定通りである。授業においては科学を易しいものと印象づける意図は全く持たなかった。むしろ科学の奥深さに触れることが重要であると考えた。難しいことを受け入れ、それに慣れることを学生に求めたことはすでに述べた通りである。しかしながら、「理解できた」より「理解できない」が多かったことは残念なことであり、今後の改善への反省材料である。ただし、一方通行の大人数講義では伝えることのできる内容の密度において限界があり、学生の理解度に大きなばらつきがあることか

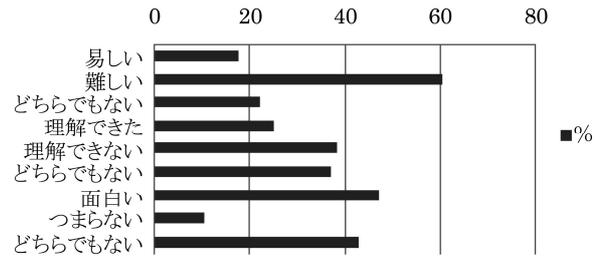


図4 授業について

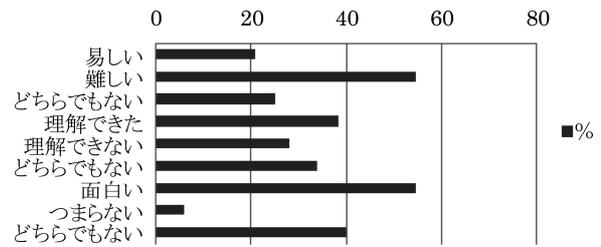


図5 「質問と答」について

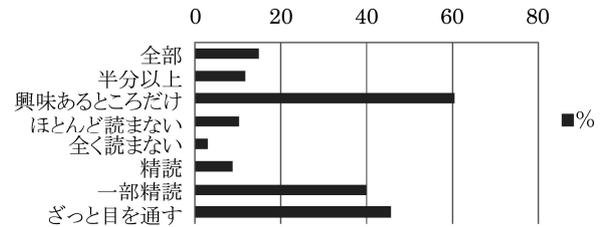


図6 「質問と答」をどの程度読んだか

ら、理解度の把握およびそれへの対応も困難である。科学的リテラシー教育にとって15回の授業では絶対的な時間が不足していると最初から認識していたので、「理解できない」が多いのはある程度やむを得ないことと考えている。

そのためにこそ、授業を補完する意味で「質問と答」という手法を用いたものである。図5は「質問と答」についてのアンケート結果である。ここではようやく「理解できた」が「理解できない」を上回っている。「面白い」の割合も授業よりもやや増えているので、「質問と答」はその目論見をある程度果たし得たのではないかと考える。内容については、科学を理解させるためには難しすぎる内容にも躊躇せず踏み込んでるので、難しいという感想が多いのは意図した通りである。

図6は「質問と答」をどの程度読むかという問への回答である。「全部読む」という回答は15%と少ない。「半分以上読む」という回答と合計しても26%ほどである。「興味あるところだけ読む」が60%と大半を占める。読み方について「全部精読」は9%、「一部精読」が40%、「ざっと目を通す」まで含めれば94%で

あるので、ほとんどの学生は一応目を通してきているようである。「全部」あるいは「半分以上読む」が少ないのは、分量が多いことが一因である。すべての質問に答えるということと、質問を題材にして補足的説明を長々とおこなうことがしばしばあるので、2013年度の場合、通常の様式でA4用紙に印刷して総計139ページとなり、初回を除き、14回の授業で配布するので1回当たり平均10ページである。これを1/2に縮小して印刷し、配布した。質問にすべて答、十分な補足的説明をするためにはこれだけの分量が必要である。ところが、分量の多さによって全部は読んでもらえないという、解決のしようがないジレンマが生じる。

最後に質問した頻度を答えてもらった。これが図7である。ほとんど毎回質問を書いた学生が24%あった。「かなり」を含めれば45%と、相当数の学生が熱心に質問してくれた。筆者の記録によると、各回の出席者の中で質問を記入した者の割合は平均81%である。

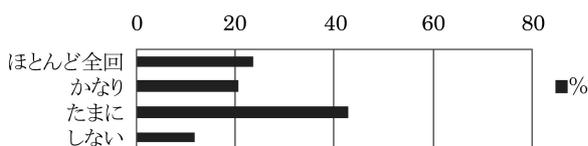


図7 質問した頻度

6. おわりに

科学的リテラシーを「科学の概念の意味づけや成り立ちについて理解し、科学の具体的な命題を考える際の共通な理解の基盤」として捉え、「説明のストーリー」すなわち化学を中心とした自然科学の主要なポイントを説明し、理論の枠組みの中での意味づけを説明し、その根拠はどのようにして与えられるかという説明を中心とした教育の実施を試みた。講義を補完するものとして、「質問と答」および科学のクイズ、授業期間中の小テストという3つの道具立てを用いた。質問の中には感想も含まれるが、それらを利用して、あえて脱線して関連事項の説明という形を取ることもあり、質問に沿ってかなり踏み込んで深い内容を説明することもしばしばおこなった。それによって、学生の興味や理解に沿った補足的説明が可能となり、また質問からインスピレーションを得て、想像していなかったテーマあるいは説明の方法で解説を書くことができ、教師にとっても示唆に富むものであった。またそれらの質問が学生の理解しにくい点を示してくれるものでもあるので、副読本として学生の理解に寄り添ったものに

できるということでも好都合であった。さらに学生に科学的考え方を実践する機会を与えるためのクイズの解説の中で問題の把握の仕方と科学的考え方の実例を具体的に示すことができたので、これも有効な補足資料になったと考える。

註

(1) クイズとその解答についての解説例

例1「地球はなぜ丸いのでしょうか」の解説

「まるい方がかわいいから」 おもしろいんですが、お笑いのクイズではないので……

「最初から丸かったから」 最初に丸くなった理由は？

「月も太陽も丸いので」 つきあいの良いこと！

「自然にできる形だから」 自然にできる理由をたずねているのです。

「宇宙からの負担を防ぐため。何の負担か分かりませんが…」 これもユニークですが…

「小さな惑星がぶつかり合ってけずれて丸くなった」 削れて丸くなったのではないことはわかっています。

「天体が形成される時、小さな星の固まりがぶつかり合ったり、引っ付いたりして大きくなっていきますが、その大きさが300kmを越えると自らの重力や形成された頃のぶつかりあう衝撃でドロドロに溶け、重たい金属が中心に沈み、軽い岩石質が表面に浮く。重力はその物体の中心に向くので、中心点から一定の距離のライン、すなわち球体になるのではないのでしょうか。地球の中心に金属質の核があり表面に地殻があるのはそのせいといわれております。直径が300km以下だとそのようにはならず小惑星帯にある小さな岩のようにいびつな形のままだということです」地球の内部構造まで説明できる説です。太陽系の惑星は微惑星がたくさん合体してできたと考えられていますが、地球が現在の大きさになった一番最後の合体は、小惑星というよりもっと大きな惑星が原始地球にぶつかって、その衝撃でドロドロに融け、ちぎれた一部が月になったというものです。小惑星帯にある小さな岩はいびつという重要な点も指摘されています。(中略)地球のように大きければ凸凹があっても重力のために崩れて球形に近くなります。地球上で約15000メートルより高い山は存在できません。崩れてしまうからです。もっとも、これは地球上にあるような山ならということで、もっと崩れにくいもので地球ができていればもっと高い山も存在し得ることになります。つまり、重力と崩れやすさの兼ね合いで、でこぼこ

の度合いは決まるということです。火星では重力が小さいため 25000 メートル位の高山があります。小惑星ではもっとも重力が小さいため、それ自体がでこぼこな形のままです。(後略)

例 2 「海が青いのは空の色が写っているから、と言いますが、沖縄など、エメラルドグリーンの海はどうして緑色なのでしょう」という質問がありました。これに答えてください。」の解説「どうして空は青いのか→海の青色が反射しているから」問題が違います！

「光のかけんで」 まあそういうことでしょうか、説明になっていません。

「海底に藻が多く、その色が海にも混合されているから」藻の多い海は本州にもたくさんあるのですが、その海はエメラルドグリーンには見えません。

「砂がきれいだから」、「海底の砂が白いから」、「沖縄などの海には海草が生えていなくて珊瑚礁なので海底からの反射光によってエメラルドグリーンに見える」なぜエメラルドグリーンなのかという説明がないので正しい答とは言えませんが、海がエメラルドグリーンに見える最も大きい要因はこれなので大まけにまけてこれらも正しい答の中に入れました。

「海は、太陽の光が海の中の浮遊物や水の分子、海底などに反射して青く見える。太陽の光は 7 色に分解できていてこのうちの青の光以外は海の中で吸収されて青い光だけが反射して目に届くので海は青く見える。沖縄などエメラルドグリーンに見える海は光が反射する海底が他の海と違ってサンゴ礁などで白いので緑っぽく見える」これにはほぼ正しいことが書いてありますが、科学的にもっと正確な表現だったらよかったですと思います。「厳密には水は無色透明ではない。水の中には水素イオンがわずかに電離しており、これが赤色光を吸収するので、水はわずかながら青緑色(エメラルドグリーン)になる」後で述べるように光の吸収は水素イオンが電離しているからではありません。これは科学的に間違った説明です。

「水は赤色を吸収する。だから白色光から赤を除くとエメラルドグリーンに見える。青に見えるのは空の色が反射しているからであって本当の海の色はエメラルドグリーンである」水が赤色の光を吸収するのは水素イオンによるものではありません。水の分子の酸素と水素の結合(OH基)の伸縮振動が赤外領域の光のエネルギーと一致しているので、赤外線の吸収が起きます。でも赤外線の吸収だけなら色は変わりません。ところが、か

なり難しい話なのですが OH 基の伸縮振動エネルギーの非調和性のため、振動周波数の高調波が生じ、もっと周波数の高い光(つまり赤い色の光)でも吸収が起きるために赤外線に近い赤い色がわずかに吸収されるのです。その吸収の山は 760nm にあります。波長 760nm は赤い色で、可視光領域の一番端のあたり、赤外線との境界です。水の分子の間には水素結合があるという話をしました。水素結合によって OH 基の伸縮振動は影響を受けますから、それも水の色に影響するわけで、水の色という一見単純なことも掘り下げていくと、深遠なテーマだということが分かります。長いパイプに水を入れて片方から太陽に光を入れてもう片方から見るとエメラルドグリーンに見えます。これをもっと長くするとどうなるかということですが、海に深海艇で潜って、真っ暗になるまでの色の変化を見れば、海の水によって光がどう吸収されていくかがわかります。しかし海の水には色々な物質が含まれていますから、純粋な水の場合とは多少違うかもしれません。遠くから海面を見たときの海の色は空の色の影響があることは確かです。空の色がどう影響するかということも実は奥の深い話なのです。空の色が青いのは大気層によってレイリー散乱(Rayleigh scattering)という光の散乱現象が起こるためですが、レイリー散乱は短い波長の光ほど大きな角度に散乱するという特徴があります。従って太陽との角度の関係で空の色合いが変わります。真上の空の色が一番濃い青だということはお存じの通りです。海には太陽から直射光がある角度で入射しますし、大気層によって散乱された青い光も入射します。それが海の中に入り、水中で散乱された光、あるいは海底で反射した光から、水(や他の海水成分)によって赤い色の成分が吸収され、その残りが目に入ってきます。従って光の入射方向、海の色を観察する方向によって微妙に色が変わります。それに海面での空の色の反射が加わるので、それら色んな条件が重なった結果として目に見えるものが海の色だということです。海が比較的浅く、海水がきれいで、海底がきれいな砂あるいは珊瑚礁など白っぽい場合は海底からの光の反射が強いので、空の色の影響などが少なく、上に述べたパイプの実験のようにエメラルドグリーンに見えるというわけです。湖の色はもっと多様ですが、これは水に溶けている物質が特定の色の光を吸収することからです。物質がどのような波長の光を吸収するかということは、原子や分子の電子の状態によって決まります。

- (2) 小テストの回答例 (問は“活性化エネルギー”)
化学反応が進むにつれて反応物のエネルギーが変化する。一番高いエネルギーを越えなければ反応は起こらない。反応させるには、活性化エネルギーを越えるエネルギーを外部から与えなければならない(熱、光、電気など)。触媒によって活性化エネルギーは低下させられる。

引用・参考文献

- 1) 末廣祥二「科学的リテラシー教育のひとつの試み(1)―科学的リテラシーとは―」大阪樟蔭女子大学研究紀要 3, 231 (2013)
- 2) 岡田節人「ヒトと生きものたちの科学のいま」岩波書店 (2001)
- 3) 同上 p. 170
- 4) Tachibana, T., “Closing the Knowledge Gap between Scientist and Nonscientist”, *Science*, 281, 778 (1998)
- 5) Snow, C. P., *The Two Cultures*, Cambridge University Press, Cambridge, 1993, 「二つの文化と科学革命」松井巻之助訳、みすず書房、1960
- 6) Dunbar, R., *The Trouble with Science*, Faber and Faber, 1995, 「科学がきらわれる理由」松浦俊輔訳、青土社、1997
- 7) 文献 2)、p. 176
- 8) 文献 2)、p. 181
- 9) 文献 2)、p. 171
- 10) 文部科学省、平成 5 年版科学技術白書
http://www.mext.go.jp/b_menu/hakusho/html/hpaa199301/index.html
- 11) Robin Millar et. al. eds. “Beyond 2000”, The report of a seminar series funded by the Nuffield Foundation (1998)
- 12) Karplus R. et. al. “A New Look at Elementary School Science Curriculum Improvement Study”, Rand McNally and Co. (1967)
- 13) 川上正浩・小城英子・坂田浩之「大学生の科学観・自然観について」大阪樟蔭女子大学人間科学研究紀要 7, 57 (2008)
- 14) 川上正浩・小城英子・坂田浩之「大学生の科学観・自然観について(2)」大阪樟蔭女子大学人間科学研究紀要 8, 61 (2009)

An Attempt at Scientific Literacy Education (2): Results and Discussion

Faculty of Liberal Arts, Department of Fashion and Beauty Sciences
Shoji SUEHIRO

Abstract

This paper describes the results of a scientific literacy education program that has been carried out for several years for students of fashion studies in basic education courses. The goal is for the students to understand the concept of science and scientific processes. The program uses explanatory stories in which the main points of the natural sciences are described in connection with the framework of the theory. As complements to the lectures, scientific quizzes, question-and-answer sessions, and small tests are employed. The first two are effective in making explanatory stories deeper and more detailed. The question-and-answer sessions are used to provide directly relevant in-depth explanations or, in some cases, to provide descriptions for related items by using the questions as a starting point. By adopting these methods, supplemental descriptions can be provided in line with the understanding and interests of the students. The scientific quiz offered in each class gives students the opportunity to practice scientific thinking and to teach students how to understand problems and the process of scientific thinking. Small tests performed several times in a class help to encourage students to review the scientific concept. Research carried out before and after the teaching period has revealed that students' interest in science is increased by the program.

Keywords: natural science, scientific literacy, education, explanatory stories