

大学生に必要なサイエンス教育とは何か？

鈴木久男

<要 旨>

アメリカにおいては、統合的 science コースが 200 以上の大学で開講され、毎年 10 万人以上が受講している。この統合的 science コースの普及の背景には、理系、文系の学生双方に共通するある目標が関係している。しかも、このコースは、理系文系の学生に対して、それぞれ異なる有効性も期待されるのである。サイエンス教育にとって、この目的こそ最も重要な要素であり、その教授法はこの目的にそって具体化されている。しかも、サイエンスの分野ごとに教育することの欠点は、統合的 science コースの受講によって解消される。つまり、統合的 science コースは、単なる各分野の簡略版なのではなく、サイエンス教育にとって必要不可欠なものなのである。しかも、高校までの教育をほとんど必要としないため、多様な学生にも対応できるものになっている。ここでは、統合的 science コースの教育目標を論じると共に、2009 年度から開催された北海道大学における統合的 science コースの報告をしていこう。

1. 科学とは何か？

まず、サイエンスとは何かについて復習しておこう。サイエンスとは、科学的方法という体系または手法によって得られる知識体系のことである。ここで、科学的方法とは、観測や実験、パターン認識、仮説、予測、そしてまた予測を確かめる観測や実験が行われていくサイクルである。つまり、サイエンスとは、観測や実験を元に構築された、知識体系であるとも言える。

このような科学的解析を行う学問には、法学、政治学、経済学、地理学、文化人類学、教育学、心理学、物理学、化学、生物学、地球科学、

天文学などがある。この科学の定義では、文学や哲学、数学は科学とは見なされない。一方、物理学、化学、生物学、地球科学、天文学を、自然科学という。通常サイエンスとだけ言う場合には、この自然科学をさすことが多い。自然科学に対して人間に関係するサイエンスを社会科学あるいは人文科学と言われる。しかし、それら社会科学と人文科学の境界は今や必ずしも明確でない。たとえば、文化人類学では、人類の文化的な側面を扱うが、一方の物理的な人類学は特定の環境に適応したときの群集の性質を扱う。そしてその人類の系統を追っていくためには遺伝子の情報を用いる。そのため、文化人類学は自然科学と関係が深い。地理学は、土地の性質や気候などの自然科学に属する部分に加えて、人類が栽培する農作物を扱う。そこで、その土地の気候などについて自然科学的な理解が必須となる。したがって、地理学も自然科学とも深いつながりがある。また、心理学は、個人の心やパーソナリティーを形成する様々な動機や機構について研究する。最近の心理学では、人類の物理的な構造や、神経系、生育や成熟についての解析をする。心理学は複雑な機構を持つ人類の神経系を扱うため、人間についての生物学の理解が必要となる。たとえば、顔が赤くなるというのは、どのような機構かを解析するには、心理的要素以外にも人間の神経系についての知識が必要になる。このような単純な反応以外にも、人間の脳の解析が進むにつれて、心理学は次第に自然科学に近づいていくだろう。

さて、科学にとって、科学的方法こそ科学たるゆえんであることを見た。しかし、科学的方法を厳密な意味で用いるのには限界もある場合が多い。実際、観測や実験では、結果との関連性を調べるために、一つの変数のみを変化させるような制御された実験が望ましい。ところが、非常に複雑な系を扱う場合には、こうした一つの変数の制御は困難である。たとえば、環境に関しての干ばつの影響などを調べる場合にも、サンプルとする土地の様々な要因が絡んでくるため、決定的な関連性を見ることが困難である。そのため、二つの現象の関連性を調べるためには統計的な手段が用いられたりするが、一般にそのような理論は決定的な予測能力は持たなくなる。

自然科学の中でも地球科学では、地球の進化については化石の発見などごく少数の手がかりによっているため、仮説の検証が困難な場合も多い。また、心理学などでも個人差が大きいため、原因と結果に対して大まかな傾向はあるが、例外も認めることができる場合が多い。同様なことが経済分析にも言える。このように、科学と言っても一般的に原因と結果につい

て再現可能な実験を行うことが困難なのである。

さてそれでは、自然科学とは何かについて確認しておこう。自然科学とは、再現可能な実験や観測を元にした自然界に関する知識体系のことである。現在のテクノロジーを元にした自然科学としては、物理学、化学、生物学、地球科学、天文学などがこれに当たる。しかし、社会科学との関連でも見たように、生物は非常に多様な種の集まりからなっている。また、天文学では、銀河は約 1000 億の恒星（太陽のように輝いている星）からなる複雑な系であり、人間が宇宙空間に行っても、これらについて再現可能な実験を行うことは未だ SF の世界である。極端に言えば、宇宙の発生についての実験はできないため、天文学においては再現可能性が制限されている。地球科学でも再現可能性には同様の困難があり、過去の地球の進化を検証する手段は極めて少なく、そのため特定の現象についての原因についても様々な可能性があり、未解決の問題も多い。たとえば氷河期が起こる仕組みについても、一般向けには比較的明快な説明をするが、専門家にとってはまだ謎が多いのだという。このため、一般に自然科学と思われる枠内でも正確な意味では自然科学に属さないテーマも多いのである。また、この自然科学の定義によると、人間の脳の解析のためのテクノロジーが進み、思考のプロセスが再現可能性の元に解明された場合には、自然科学となっていく。つまり、一般に現在社会科学と言われている学問の体系も次第に自然科学となっていくことがある。実際に、自然科学の問題は、変化してきた歴史がある。たとえば、100 年ほど前までは、宇宙の創生といった問題は、自然科学ではなく宗教だけの問題であった。また万が一、これから地球外生命体が発見され、誰の目にも明らかな再現性が得られたとしたら、地球外生命体は自然科学となって行くであろう。サイエンスはそれまでの人々の常識を打ち破る発見に基づき発展してきたという歴史があるのである。そのため、サイエンスが未知の現象の可能性を否定するのは、あくまで現在のサイエンスの枠内でという前提に基づいている。実際、科学の理論は、過去に何度も覆されて発展してきた。ある理論が存在し、その理論の予測と反する実験や観測が現れた場合、理論は新たな理論の特別な場合として縫合されるか、または修正される。たとえば、円運動を元にしたプトレマイオスの天動説もコペルニクスの理論も、ティコブラーエによる精密な観測によってどちらも誤りであることがわかり、それを元にケプラーの法則が作られた。そして、そのケプラーの法則は、ニュートンの運動の法則と万有引力の法則によって説明された。さらに、その運動の

法則と万有引力の法則は、共にアインシュタインによって変更を受けた。そして、今もなお現在ミクロな領域では重力理論にはさらなる変更が考えられているのである。このように、自然科学とは絶えず発展していく学問である。

もう一つ重要な視点は、再現可能性により自然科学が最も重要な学問であると主張しているわけではないということである。人間にとって、将来誰と結婚するか、どうやって生計を立てていくべきかなど、サイエンスを学ぶよりも重要なことが多い。そして、そうした問題のほとんどは、再現可能性がなく、故に現在の自然科学の問題ではない。また、数学や哲学などは自然科学とは別にある種の真実があり、そのためおそらく地球外に高等生物がいたとしても、数学や哲学などの問いかけをしているだろう。またそもそも、どの学問が最も重要であり何を学ぶべきかといった議論は、その学ぶ目的によって異なり、しかも目的そのものの妥当性にかかわる問題でもある。この意味で、その限界と共に、サイエンスを学ぶための目的意識が非常に重要となる。

2. サイエンスリテラシーとは何か？

さてここで、サイエンスリテラシーの定義を述べておこう。サイエンスリテラシーとは、その目的を持って定義されている。ジェーン・グレゴリーとスティーブ・ミラーの「Science in Public」には、「一般市民は、有用な市民、有用な労働者、そしてテクノロジーの時代にふさわしい有権者となるために、科学を理解しなければならない。」とある。つまり、経済的、政治的な問題に対しての知識と同様に、科学に関連する社会的な問題に対して、各市民が意見を言うだけの科学的知識を持つことである。こうした知識がない場合にどのようなことが起こってきたのかについては、私たちは数多くのことを経験している。最近では、BSE問題が上げられる。2008年には韓国で狂牛病に関する騒動となり、外国産の牛肉の輸入解禁に対しての大規模な抗議デモが行われた。狂牛病に感染する率が極めて低いとデータで示されているにもかかわらず、ひたすら外国産の牛肉を毛嫌いだたのである。しかし、2008年にこうした事態を冷静に眺めていた日本人にとっても、実は同様のことが数年前の日本において起きていたことも記憶に新しい。科学に関連する社会問題の例では、遺伝子組み換え食品の問題がある。一般人で、遺伝子組み換え食品の安全性に関して、正確に述べる

ことができる人々の割合は少ない。実際、このことが一因ともなり、遺伝子組み換え食品については、2009年現在日本とアメリカとの間で取り扱い方の温度差は大きい。また、ジャガイモなどの食品に対して行われている食品への放射線照射についても、それが安全かどうかを判断する基準を持たない人も多い。こうした科学に関連する社会問題に関して、民主主義社会の中では、自分なりの意見を持つだけの科学的知識を教養として身につけるのが望ましい。

また、自然科学を学ぶことでは次のような視点も重要である。自然科学を学ぶことにより人間の存在に関して大いなる客観性を身につけることができるのである。ここで言う客観性とは、人間中心のものから見方から人類を自然界の中の一つとして見るという視点である。たとえば宇宙には中心がないことも様々な観測から確認されている。人間は皆平等といった人文社会的な考え方から、宇宙規模での平等原理が見て取れるのである。人類という高等生物がいる地球という存在をどのように見るのかも重要なテーマであろう？科学的には、考える私たちの存在が必然なのかという、より根本的な興味となる。ここでは、哲学との境界の領域ともなるであろう。こうした根本原理を探るという視点が、サイエンスとテクノロジーの発展を促してきたし、この意味でも宇宙の基本法則や物質、様々な進化を学ばないまま、学生が大学を卒業するようなことは合ってはならない。サイエンスは文系の学生にとっても重要な教養なのである。

また、自然科学では、人間のそれまで持っていた知識の常識や偏見を変更してきたという歴史がある。こうした歴史を学ぶことにより、科学にとって重要な疑いを持って自分で考えてみることや好奇心を持つことを学ぶことができる。

一方、それらの科学教育は本来高校まででなされるべきことと考えるのは当然である。しかし残念だがこうした教育は高校までになされて来なかった。高校ではサイエンスについての断片的な豆知識の集まりを教える理科総合と、通常の人には過剰すぎる情報を含む、生物、化学、物理などの専門科目がある。これら専門科目での過剰な情報の提供は、ひとえに大学入試のためでもあり、高校までの教育で、こうした仕組みを変更することは困難である。また、残念ながら高校の教育に対する受験の弊害以前の問題も顕著である。少子化により、大学の学生獲得競争によるAO入試などの弊害のため、高校ではあまり勉強しない学生が増加している。そのため、高校までに学んだことを学生に期待できない場合も多い。

このような状況の中では、大学においてサイエンスリテラシー教育を充実させることが重要なのである。

3. サイエンスは役に立つのか？

今までサイエンスを学ぶ目的について、大まかに見てきたがここでは、もう少しサイエンスを学ぶ目的を見て行こう。

サイエンスを教えるときに良く聞かれることは、「サイエンスは役に立ちますか？」という問いである。この問いの意味を詳しく見て行こう。まず、サイエンスが日常生活の役に立つかということに関して、往々にしてサイエンスとテクノロジーを混同していることが多い。サイエンスとは、自然界について知ることを目標にしており、その動機は知的好奇心である。この点、文学や哲学などと目的を共有する部分が多い。一方、テクノロジーとは、サイエンスでわかった原理や現象を人間の役に立てるということである。つまり、サイエンスは日常生活に役に立つかという問いかけ自体、サイエンスの目的にそぐわないのである。しかし、サイエンスはテクノロジーの進歩を促し、電子顕微鏡などのテクノロジーはサイエンスの進歩を可能にしてきた。つまり、サイエンスの研究は人間の行為の一種でもあり、テクノロジーはそれを手助けたりもするのである。このように、サイエンスとテクノロジーは車の両輪でもある。ここ数百年でサイエンスとテクノロジーは著しく進歩してきており、携帯電話などの電子機器は文化の一つとなっている。この意味で、私たちの日常生活は、サイエンスと関わりのあるものであふれている。この意味でサイエンスは、間接的に私たちの生活の中で十分に役にたっていると言えるだろう。

次に、サイエンスを知ることが役に立つのかを考えてみたい。しかし、そもそも役に立つという言い方には何に役に立つのかという視点が必要である。たとえば、このような問いは、文学や芸術は日常で暮らしていくのに役に立つかどうかと言ったことと関連している。もし、文学や芸術が役に立つと認めるとすれば、サイエンスを知ることが同じ意味で役に立つであろう。つまり、自然界が思いの外簡単な原理によって支配されていることや、常識と異なる意外な原理があることを知るの、自然界の美しさを知ることにつながる。また、宇宙の進化について思いを巡らせれば、人類の存在そのものの思考材料にもなるであろう。

次に、サイエンスと経済との関連を見ていこう。私たちは、テクノロジー

一の進歩によって生まれた製品で囲まれている。そのため、多くの会社が、何らかのハイテク製品と関わりがある。このため、新しく開発しようとしている製品の原理を知り、製造可能かどうかを知ることは、経営者や銀行家にとって大きな利益を生む可能性が高いのである。また、弁護士や裁判官は、遺伝子検査、スペクトル解析、ドラッグ検査などの、証拠品とする科学的手法に関して正しく理解しておく必要がある。このように、大学生にとって、将来の仕事にはサイエンスの知識は役に立つ可能性が高いのである。

次に、社会問題に役に立つかという視点を見てみよう。これについては、以前に述べたので簡単に述べると、たとえば、遺伝子組み換えなどの問題は、人間の倫理的問題などと関連しているため、実際に行われている仕組みなどの知識がない場合には、ただ単に感情的に毛嫌いするだけに終わってしまう。

最後に、哲学や文学、また宗教と比較してみよう。こうしたものは人間の生き方について教えてくれる。自然科学は、宇宙、地球、生命の進化に関する現在の理解を述べているので、自然科学を知ることは、人間の生き方そのものにも影響を及ぼすことが考えられる。

このように、サイエンスは、他の文系科目と比較してひけを取らないだけ役に立つと言え、文系学生に対しても文系の科目と同等の重さを持って語られるべきであろう。

4. サイエンスリテラシーが重視されなかった理由

理科教育については、学生は高校まででかなりの知識を教えられてきた。高校では理科総合で一般的なサイエンスを教えた後、多くの高校では、少なくとも化学Iと生物Iまたは物理Iと化学Iまでを履修する。一見これで十分そうではあるが、サイエンスリテラシーが身についたという実感が無い学生がほとんどであろう。それは私たち自身も経験しているし、大学でもそうした教え方はされたことがない。むしろ各科目については十分すぎるが、全体像の把握は不十分に終わっている。このため十分すぎた知識はその後使われずに忘却されてしまう。また、教員側もサイエンス全体の把握の必要を感じる事が希である。それは、理系文系双方の教員に原因がある。理系の教員は自分の専門分野で秀でていればよく、その分野を特に重要に感じる傾向がある。教員の専門分野の研究では、理系教育の整合性

が必要ない研究をしている教員が多いため、一般的な学生のための理科教育の整合性の必要性は重視されない。一方、文系の教員は、やはりその専門に偏りそれで生計を立てることができてきたわけであるから、そもそもサイエンスを必要としない職業でもある。そのため、一般の大学生がなぜサイエンスを必要とするのかははっきりしないのである。

5. サイエンスを知る方法論とどこまで知るべきか？

サイエンスを知ることの重要性を議論してきたが、サイエンス教育のあり方については、現在も議論的となっている。サイエンスを知る方法論は大きく分けて二つある。一つは、サイエンスに共通する「科学的方法」そのものを重視して教えることである。すなわち、科学的方法を新しい現象に当てはめることができるようになることを目的の主眼とする。これは、サイエンスの本質がその方法にあり、これを知れば様々な問題に関して同様の考え方をすることができるとする。したがって、サイエンスのテーマを絞り、深く理解することを求める方法がある。これをトレフィル氏に倣って「方法重視型」と言っておこう。もう一つの教育方法は、サイエンスについて現在までに得られた知識や理解を広く浅く教えることである。これを知識重視型と言っておこう。

さて、サイエンスリテラシーのためにはこの二つの方法のどちらが適しているのだろうか？ここでサイエンスリテラシーの目的を振り返ってみよう。サイエンスリテラシーの一つの目的は、科学に関連する社会問題について意見を言うことができるだけの科学的知識を持つことであった。それでは、社会に関連する社会問題とはどのようなものであろうか？たとえば、放射性廃棄物処理の問題では、放射線の放出は物理の問題であるが、放射性廃棄物自信は、化学物質であり、その化学反応が非常に重要である。もちろん、生物に対しての影響は生物の理解が必須になり、放射性物質の保管場所の是非には地球科学の理解が必要になる。また、放射性物質の起源は、太陽系の進化と関連し、この問題の理解には広いサイエンスの知識と理解が必須になる。また、環境問題では、倫理的な問題や社会構造そのもの、また経済の問題など、自然科学と社会科学の双方についての理解が必要になってくる。このようにサイエンスリテラシーのためには、けっして偏ることのない広い科学的な知識が要求され、このためには、知識重視型の教育が適しているのである。一方、方法重視型の教育は、手法を理解

することにより、新しい発見をする土台を作ることができる。このため、方法重視型の教育は、将来科学者となるための教育に適しているとも言える。ただし、知識重視の教育の中でも方法の重要性の理解も必要であり、こうした面も取り入れながらの教育が必要である。

6. 統合的理解の重要性

先ほど、社会に関係する社会問題には様々な自然科学の知識が必要なことを述べた。そもそも、サイエンスの分野である、物理学、化学、生物学などは、数百年前は自然哲学と言われていたが、その後大学の教授職を増加させるために名称を増加させてきた。つまり、サイエンスの分野とは人間が決めた分類である。しかも、それぞれの分野を独立に教える場合、その境界領域の構造がわからないまま、サイエンスの知識が豆知識の集まりにすぎなくなりがちとなる。実際に日本の大学の理科教育には全体としての整合性が欠けていることが多い。また、それぞれの分野では、それまで研究者達が明らかにしてきた科学的事実を百科辞典的に並べて教えることも多くなる。そのため、通常の大学の理科科目をすべて履修しても、単にサイエンスの全体像がわからなくなるだけでなく、サイエンスリテラシーとしては必要以上の知識を得る可能性が高くなるのである。そのため、サイエンスリテラシー習得のためには、必要最小限と見なすことのできる科学的知識を、物理や化学などの分野間の境界をなくして統合的に理解することが最も効率のよい方法だと言える。これは、単に文系の学生だけに限らず、理系の学生に関してはまた別の効果が期待できる。理系の学生でも早くから専門分野に特化した研究を進めるため、その研究のサイエンス全体としての位置関係が把握できない学生も多い。研究者だけでなく、将来企業においても新たな企画力が必要とされるが、この企画する対象についても分野的に広範囲にできるほど、将来有利となる可能性が高い。一方では、サイエンス全体の把握のため、大学においてすべての理科科目を履修することは理系の学生にとっても困難である。そのため、理系の学生にとっても統合的の科学コースでサイエンス全体の構造的理解をした上で専門の研究をすることが、将来の研究のポテンシャルをあげるために有用である。

このように、文系理系によらずすべて学生にとって、統合的の科学コースは、サイエンスリテラシー獲得のために重要なコースとなるのである。

7. アメリカで広く行われている統合的科学的コースの明確な目的

さてこれまで述べてきた論点は実は筆者の独創的な論点ではなく、誰が最初に言い出したのかもわからない、極めて一般的なことである。にもかかわらず、サイエンスリテラシーの必要性については、日本のほとんどの大学教員は気づいていないとっていいだろう。筆者自身も例外ではない。実際 2007 年までは筆者は、担当する物理の教育をどのように改善していったら良いのかについてのみを考えていた。教授法の向上のためには、学生理解度の把握が必要であり、このためにクイズ形式の授業を行い、さらにはクリッカーも日本で初めて輸入して用いた。この物理教授法の勉強のために、外国の授業 DVD を購入して見て研究もしていた。そして物理関連の DVD が見終わったので、少し広い範囲を扱う講義の中で物理の部分だけを取り出して使おうと思った。そこで、「科学の楽しみ」の DVD[4]を見て目が離せなくなったのである。第一回目の授業の台詞を、私の授業用にアレンジしたものがあるのでその語り口を私の授業用台詞集からみていこう。

『すべての人はサイエンスの用語を理解しておく必要があります。そのためこのコースの目標は次のようなものです。

第一に、私たちがサイエンスに関係する社会的問題や消費者としての立場から、自分なりの決定を下す必要がある場合が出てきます。サイエンスの内容により、製品がどのように働くのかを理解するのにサイエンスの内容は重要になります。また、健康の問題に関して自分の判断が重要となります。どのような薬を取るのか、どんな処方箋を与えられたかについてです。お医者さんが言っていることをもっと良くする知識を持つことは、あなた自身の人生にとって重要となるのです。また、どのような食品を食べるか、運動をすることについても自分なりの判断が必要となり、そのための基本的な知識が重要となります。特に最近では、環境問題に関しての理解が求められます。そうした問題に関して正しい知識を持たないとどうなるでしょう？たとえば、一部のうわさ話にまどわされたりすることや、一部の人たちの偏った意見が蔓延して、民主主義が成り立たなくなってしまうことがあるかもしれません。たとえば、最近では韓国での BSE 騒動がそれにあたりますね。BSE に関しては、以前日本でも同様な騒ぎになりました。また、あなたは遺伝子組み換え食品について、健康に関して判断する基準を持っているでしょうか？ また、核廃棄物処理の問題についてどのく

らい確かな意見が言えますか？サイエンスはそうした問題に関して自分
なりの意見を持つための確固たる根拠を提供することになるのです。

第2の目標は、皆さんの将来の仕事にかかわることです。今日の仕事の
ほとんどは直接的に、または間接的にサイエンスと関わりがあります。また、
サイエンスの発見によってもたらされたテクノロジーと関係が深いで
すね。医者と患者の双方が、薬や手術、またCT スキャンやMRI などの検
査法などの利点やリスクについて把握しておくのも重要となります。皆さん
の身体になされるこれらのことについて正しく知っておいた方がよいで
しょう。さもないと、後で後悔することがあるかもしれません。弁護士は、
証拠品とする科学的的手法に関して正しく理解しておく必要があります。特
に最近では、遺伝子検査、スペクトル解析、ドラッグ検査、弁護士や裁判
官など法律にかかわる人たちはそれらを正しく理解しておく必要があります。
もしあなたが将来、銀行家や企業の社長になりたい場合には、ハイテ
ク関連の製品に関して正しく理解しておくこと、利益が大きくなると共に、
出世が速いことが期待されますね。テクノロジーによって利益がもたらさ
れる会社はとてつもなく多く、その状況を少しでも人より先に読むことは
大きな利益がもたらされることがあるのです。また、有権者としてサイエ
ンスに関連した仕事が多いことも把握しておくことも重要なわけです。こ
れが、サイエンスを学ぶ第2の理由です。

サイエンスを学ぶ第3の理由は、将来のあなたの子供のためです。もう
子供がいる人もこの中にはいるかもしれません。将来子供がサイエンスを
学ぶときには、皆さんのサイエンスに関する考え方が非常に大きく影響し
ます。特に重要なのは子供達の身の回りの現象に関する好奇心についてで
す。サイエンスは、通常正しいと思われることに疑問を持ち、好奇心を
持つことが重要です。知的好奇心こそサイエンスの進歩に関して大きな
動機となるのです。子供と一緒に身の回りのことに関して考えることが重
要です。日本では、学校の先生に教育を任せてしまっている場合が多いの
ですが、これでは子供への教育として限界があるのです。もし将来、あな
たの子供がサイエンスにかかわる質問をして、あなたが知らなかったとき、
皆さんはどう答えますか？「わからない。」とか「先生に聞きなさい」よ
りももっとよい答え方があるのです。それは、「私にもわからない。一緒に
答えを見つけてみよう。」です。そしてこのコースでは私は、あなた方にそ
の答えを見つけるための方法を教えます。このコースの目的は、あなたが
サイエンスのすべてを学ぶことではなく、ある問題に関して深く知る必要

が出てきたら、それに対処するすべを学ぶことなのです。

そして最後の目的は、サイエンスの楽しみを知ることです。サイエンスは今も続いている人類の最大の冒険で、新しい発見や理解が生まれています。毎日のように、科学者は人類が今まで知らなかった現象を発見しています。そして、その最大の冒険の全容を知るためには、サイエンスの知識の構造を知ることが重要なのです。すべての人がサイエンスを知ることができます。そして、すべての人がサイエンスを楽しむことができるのです。

サイエンスの偉大な原理は、複雑な専門用語なしでも与えられます。数学的抽象化も必要ありません。私たちは、物質とエネルギーに満ちた物理的世界に住んでいます。毎日の生活の中で、皆さんは世界の自分なりの理解を持っているはずで、しかし、サイエンスの知識なしでの理解は、自分独自である反面間違った理解をしているかもしれません。サイエンスを正しく知ることにより、自分なりの自然観を構成するのに役立つでしょう。サイエンスを知る目標として誤った考えがあります。それは、サイエンスとテクノロジーとを誤解することです。サイエンスとは、自然界について知ることを目標としており、テクノロジーはサイエンスの発見を応用して人間の役に立つようにすることを目標にしています。そしてサイエンスとテクノロジーはどちらも重要で片方だけでは成り立ちません。サイエンスの発見は、人間の役に立つという視点では発展していないことに注意しましょう。そして電子顕微鏡などのテクノロジーの発達は、サイエンスの発展にも重要だったのです。

また、サイエンスを知る目標の誤ったとらえられ方は、科学者自身にもあります。サイエンスを知る目的は、科学者がサイエンスの宣伝をし、科学者となる道を選ぶ学生を増やすことではないのです。科学者達は、サイエンスのコースは、学年が上になるにつれてより高度で複雑となり、最終的に科学者となる学生は学生全体の1パーセント程度かもしれません。サイエンスを知る目標は、この1パーセントを2パーセントにすることではありません。むしろ、教育者として、サイエンスを専門としない全学生が、サイエンスを知ることが重要なのです。この宇宙の成り立ちや驚くべきサイエンスの発見を知るためには、皆さんは科学者である必要のないのです。

サイエンスを知るための原理として、最近までの研究で意見の一致が得られたことがあります。それは、多くの専門用語や事実に関する情報を並べることよりも、数少ない基本原理に基づくことです。これらサイエンスの基本原理は物理、化学、地球科学、天文学、そして生物学などサイエン

大学生に必要なサイエンス教育とは何か？

スのすべての分野に共通するものです。また、サイエンスを人類の情熱によってなされたという立場から考察することも重要です。サイエンスの発見が発見当時の常識をどのように変え、社会を変えたかを知ることも重要なのです。これは、現在のサイエンスの社会性、また将来のサイエンスの発展を知るのにも有効なのです。

また、科学的方法というのも重要であることを知っておく必要があります。これは、科学者が自然界の現象に関して、問いかけをし、それに答える方法のことです。これについては今日の授業の後半に学びます。

皆さんの高校まで受けてきた理科の授業とこのコースの比較をしてみましょう。高校の1年のときに理科総合という科目を習ったかと思います。しかし、高校までの理科の知識は、サイエンスとは何かという視点では教えてくれています。またサイエンスの基本原則を教えてくれているのです。また、自然界の構造という視点がありません。この授業では、サイエンスの偉大な原理と私たちの生活とを結びつけることにより、あなた自身が驚異的な自然界の発見をすることになるのです。サイエンスの発見は、他の科学者が最初であってもかまいません。皆さんの心の中での初めての発見であればいいのです。

このコースでは、サイエンスの様々な分野を統合的に扱います。これは、物理、化学、生物などに分かれた大学の伝統的なコースからは外れています。しかし、サイエンスの分野が分かれたのは、極めて最近のことなのです。それは、19世紀のヨーロッパの大学のシステムから始まりました。その頃、それぞれの大学の学科は、一人の教授と、たくさんの講師と助手とで成り立っていたのです。サイエンスは自然哲学と呼ばれていて、大学はうまく運用されていました。しかし、非常に優れた科学者が多数現れたため、学科に教授一人というわけにはいなくなったのです。そして、学科を多数作る必要が生じたわけです。その結果、サイエンスは便宜的に細分化されたのです。実際1970年代のケンブリッジ大学では、3つの理学部と7つの化学科があり、それらの建物は離れていたのです。

統合的サイエンスの理解はなぜ必要なのでしょう？この授業では、サイエンスにかかわる社会的問題を自分なりに判断することを目標にしました。たとえば、放射性廃棄物の問題を考えてみましょう。これは、現代社会の抱える非常に深刻な問題の一つです。皆さんはそれらについて聞いたことがあるでしょう。一刻で何千トンにもおよぶ放射性廃棄物が貯蔵されたりしています。何が問題なのでしょう？これは物理学でしょうか？

もちろんそうです。放射性崩壊は物理の知識なしには理解できないでしょう。それではこれは化学でしょうか？ これも当然です。放射性廃棄物は、化合物で環境との化学反応が重要になり、その理解は重要なのです。地球科学の問題でしょうか？ どこに貯蔵しておいたらよいのかは、地球科学の重要な問題です。もちろん、生物に与える影響が重要ですので、放射性廃棄物の問題は生物学の問題でもあるのです。このように、放射性廃棄物の問題は、物理、化学、地球科学、生物、そしてその起源まで考えると、天文の問題でもありすべてのサイエンス分野の理解が必要となるのです。もし、その問題を、それぞれの科目で習う場合には、問題の本質は部分的にしか習わないことになります。逆にすべての教科を受講して初めて全体が理解できることになるのです。これが、現代の私たちにとって、統合的なサイエンスが重要な理由なのです。環境問題や健康問題も何らかの形でサイエンスすべての科目を必要とし、統合的な理解こそ重要なものとなるのです。』

私はこのような目的のはっきりしたコースを受講したことがなかった。その後調べてみると、アメリカではすでに 200 を超える大学や短大において統合的科学的コースが実施され、毎年 10 万人を超える受講者がある。この統合的科学的コースの旗振り役となったのが、ジョージ・メイソン大学のジェームス・トレフィル教授とハーゼン教授である。彼らが共著で表したテキスト「科学－統合的アプローチ」は、テキストとして広く使われている。そこで、この授業を日本でも導入するべきであると思い立ったのである。

8. コースの標準化について

アメリカの Science for All American の運動に刺激され、日本においても Science for all Japanese²⁾の運動が行われた。しかし、アメリカにおいても、高校までのコース設定について、その一般思想については共感するが、実際のコースとしてどのようなものとなるかについては、具体化は困難であった。おそらく日本でも、高校までの教程の見直しでは、内容の取捨選択が困難となることが予想される。しかし、大学においては、アメリカでのテキストが一応の完成を見ているので、これにそったカリキュラムの実施はそれほど困難ではない。

また、学士課程教育構築のためにもこのテキストの存在は有利である。たとえば、「政治」などの名前の授業でも、同じ大学でも教員ごとに内容が

異なる。理系でも「生物学」などは同一の大学でそろえられたとしても大学ごとに異なる。現在学士課程教育構築のためには、大学を超えて科目の標準となるコースが必要とされている。このために、現存の科目でも、科目の標準化は困難であり、ましてや全く新しいコースを開講するに当たってはその標準化はさらに困難であろう。しかし、統合的科学的コースには既に海外に定評があるテキストがあるわけであり、日本でもこれに合わせる形が望ましく、むしろそろえた方が標準化のために必要となるのである。

9. 統合的科学的コースの内容

ここで、統合的科学的コースの内容をみておこう。アメリカではこのコースを受講するために取得しておいたほうがよいコースは存在しない。つまり、日本においても、高校までの理科の履修状況に対しての制限は全くなく、まさに1から構造的に教える授業である。逆に言うと、高校までの教育に対しては、全く期待していない授業である。

このコースカリキュラムの順序は、テキスト Integrated Science³⁾と“Joy of Science”⁴⁾にはほぼ準拠している。1年間のコースの各回のタイトルは以下の通りである。

第1章	自然科学とは何か？
第2章	自然界の秩序
第3章	ニュートンの法則
第4章	エネルギー
第5章	熱と熱力学の法則
第6章	磁気と電気の流れ
第7章	電気と磁気の融合そして電磁波
第8章	光と相対性理論
第9章	原子とボーアの原子モデル
第10章	量子論の世界と周期表
第11章	化学と化学結合
第12章	炭素の化学と化学反応
第13章	物質の性質と現代的素材
第14章	原子力
第15章	力と物質の基本法則
第16章	天文学と星の進化
第17章	宇宙論

第18章	太陽系
第19章	科学の革命 プレートテクトニクス
第20章	生き物たちの戦略
第21章	生命体の化学
第22章	細胞
第23章	メンデルと遺伝の法則
第24章	遺伝子の働き
第25章	遺伝子の制御とゲノム
第26章	自然選択と生命の進化
第27章	生命の進化の謎
第28章	有機化学の世界
第29章	環境の科学

初回は、サイエンスを学ぶ必要性やサイエンスとは何かということから始まり、2 回目は、天体の運動の解析を題材にしつつ「科学的方法」について学んでいく。3 回目以降は力とエネルギー、熱、電磁気といった力の側面を学び、相対性理論による質量とエネルギーの等価性、そして量子論から原子の成り立ちへ、分子間の力を学んでいく。この分子間力理解により、日常生活に現れる物質の性質を理解していく。またその後、原子核と核反応について学び、後の章に控える星の形成の準備と生物学で多用されるトレーサー技術の理解の準備をしている。オプションとして、素粒子論について述べる。

後半のテーマは、進化である。宇宙の発生や、星の進化、太陽系、そして地球へと進む。これらの進化の理解のために、前半の力と物質の理解が用いられていく。生命の進化や遺伝情報を伝えるのになぜ DNA が適しているかや、なぜ二重らせんになるのかなども理解していく。生物学の通所のテキストでは、分子構造についての理解を前提としていないため、こうした基本的疑問にはふれない場合が多い。この統合的 science コースでは全体に整合性があるためこうした疑問点にも答えることができる。これがシームレスなサイエンスコースの利点でもあるわけである。最後に環境の科学を見ていくが、自然科学的側面だけでなく社会科学的側面が現れ始める。また私見ではあるが、社会科学と自然科学のつながりについてもっとふれる部分を入れた方がよいと思っている。

Integrated Science のテキストでは、化学の割合が少ない。これは、筆者達の一つの見識であり、異論があるところもある。しかし、日本においては、高校までで化学 I はほとんどの学生が履修している。このため、こ

のようなコースは日本の大学にはちょうど合っているものと思われる。ただし私は、有機化学については Integrated Science よりもより重視している。

10. 2009 年度からの北海道大学での統合的科学授業

2009 年度より、北海道大学において統合的科学授業を開始した。コース名称は、「ゼロから始める『科学力』養成講座」である。文系、理系に限らず受講できる、選択科目として開講している。テキストは、翻訳して出版すると非常に高価なものになることから、ほぼ同じ内容を書き下ろすことにした。実際に、物理、化学、生物学、地球科学のそれぞれの分野の海外のテキストは熾烈な競争を続けており、そのためこの概念の記述の仕方には、先の統合的科学のテキストよりも、優れたテキストが数多い。そうしたテキストを参考にして全体にストーリーをつけると良いテキストが原理的にはできることになる。

コースのテキストは Adobe InDesign で制作し、pdf ファイルでコースマネージメントシステムにより学生にダウンロードしてもらうこととした。また、毎回の授業ではクリッカーを使用し双方向性を確保する。また、自習のために、毎回平均 20 題程度の選択式の小テストを 3 回まで挑戦可能として課した。また、授業に関連した 4 択式のクイズを作り、詳しく解説することをレポートとして、自ら考え企画する能力の育成となるようにした。Pdf ファイルには動画を埋め込むことができるので、理解のために動きが必要な場面では動画を埋め込んだテキストとした。

受講生についてみてみよう。理系文系の区別なく取ることのできる授業であり、前期（物理、化学）受講生 128 人中 40 人が文系で、理系が 88 人となった。後期（天文学、地学、生物）も 138 人と増加したが、文系と理系の比率は前期とほぼ同じであった。文系と理系では点差が出るのもいけないので、文系と理系の成績認定は別に行う。またこのことは学生にも明らかにしておく。

授業の進行スタイルは次のようにした。

授業では自ら考えることも重要であり、クリッカーによるクイズで双方向性を保ちながら進んでいく。教員二人がアドバイザーとなり、TA とアドバイザー教員が演示実験を行う。ただし、現状ではすべての回に演示実験を行うことはできていない。まだ初年度であるため、授業スライドの準

備だけでも大変だからである。テキストについてもまだ誤字脱字が多い段階である。こうした点は、数年間かけて改良を進めていくつもりである。

11. まとめと考察

ここでは、人類すべてに対するサイエンスの理解の必要性を見てきた。またその目的のためには、統合的サイエンスコースの有利性を見た。

アメリカで大規模に行われているこうした統合的科学的授業は、日本でも同じ役割を果たす。高校までの教育制度と AO 入試による弊害により、高校まででサイエンスリテラシーが実現されないという現象は、日米において差はないであろう。そのため日本の大学においても、統合的科学的コースは、サイエンスリテラシー教育実現のための切り札となると予想される。

また、大学にとってみると経営的にメリットがあることも見逃せない点であろう。文系中心の大学においても、サイエンスの分野を教えるために、化学、物理、生物、地学の各教員を雇う必要がなく、たった一人ですんでしまうのである。これだけで、大学がサイエンスリテラシーを考慮しているということができる。また、統合的であるのは単なる教授科目の簡略化ではなく、その必要があつてのことなのである。2009年に、こうした統合的科学的授業を行っているのは、北海道大学と筑波大学のみであるが、今後いつかすべての大学がこうした統合的科学的授業を行うことに期待したい。

注

- 1) Stephanie Pace Marshall (編集), Michael J. Palmisano (編集), Judith A. Scheppler (編集), 渡辺 政隆 (翻訳), 野中 香方子 (翻訳)、2008、『科学力のためにできること－科学教育の危機を救ったレオン・レーダーマン』（単行本）近代科学社。
- 2) (<http://www.science-for-all.jp/>) 参照。
- 3) James Trefil and Robert M. Hazen, 5 edition, April 14, 2008, *The Sciences: An Integrated Approach*, Wiley.
- 4) Robert. M. Hazen, “Joy of Science”, *The Teaching Company DVD*, The Teaching Company, www.teach12.com/.