

はじめに

この講義ノートを手に行っている人が、このページを読んでいる時、おそらく、この講義をとるか
どうかを迷いながら読んでいるのではないのでしょうか。ここでは、そのような観点から、この講義
の紹介を書いてみたいと思います。

まず、対象となる学生についてです。この講義では、将来、自然科学(理科や数学)を専門に勉強
しようとしている人を想定していません。むしろ、自然科学以外を専門にしようとして人に受講し
てもらいたいと思っています。この講義で学ぶ考え方はいろいろな分野にも応用できます。この講
義で得たものを、それぞれの専門で活かしてもらいたいと思っています。

次に、この講義の目標についてです。以下にシラバスに記載したことを挙げます。

1. 仮説検証の方法について説明できる。
2. 仮説検証の考え方をを用いて身近な問題を解決できる。
3. 様々な学問内容や、これまでの学習内容を、仮説検証の考え方と結びつけることができる。
4. 仮説検証の考え方をを用いて発達した科学技術について意見を述べるができる。

仮説検証の考え方を学ぶことを中心にすえた講義です。

しかし、いきなり「仮説検証の考え方」と言われてもわかりにくいかもしれません。そこで、少
し解説を加えたいと思います。

現代科学への第一歩は、1687年にイギリスで出版されたニュートン(Isaac Newton, 1642-1727)
による「プリンキピア(自然哲学の数学的原理)」であると言えます。この時代はどのような時代
だったのでしょうか。ちょうど、その翌年、1688年にイギリスでは名誉革命が起こっています。民
主主義の考え方に重要な役割を果たしたジョン・ロック(John Locke, 1632-1704)は、ニュートン
と同時代を生きています。このように、科学と民主主義は、地理的にも歴史的には似たような起源
を持っています。これは単なる偶然であるかもしれません。しかし、民主主義と科学を比較して考
えることは面白いことだと思います。

これらは、どちらも現代社会に組み込まれています。社会の制度としての民主国家・民主主義は、
私たちの強大な国権から人権を守り、自由に活動するために必要な制度です。また、自然科学(特
に物理学)については、それなくして現代社会はありえません。様々な技術は、自然科学の研究成
果を利用しています。自動車が走るのも、飛行機が飛ぶのも、パソコンの内部にデータを記憶する
ことも、パソコンで計算することも、自然科学の成果を利用しています。

そして、民主主義的な考え方は、社会のシステムという側面の他に、個人の生き方にも関係して
います。他人の人権を尊重する態度、あるいは、何か人権問題が発生した時に解決する方向性を与
えてくれています。

私は、科学的な考え方も、個人の生き方に関係している側面があると考えています。科学的な考
え方は、私たちの生き方をより良くするために有効であり、必要であるとすら考えています。残念
ながら、科学的な考え方が個人の生き方に関係あると考えている人は少ないです。そこで、この講
義では、皆さんに、そうした視点も与えることができたらいいと思っています。

最後に、1つだけ強調しておきたいことがあります。人間は学ぶことによって変化が起こります。
その変化を元に戻すことはできません。学んだことを知らなかったことにすることはできないので
す。この講義を受けることで、必ず皆さんに変化が起こります。そして、それは元に戻せない変化
です。もちろん、それはいい変化であると考えます。なぜなら、皆さんがより良く生きるために、
大切なものであると思うからです。

しかし、同時にそれは責任も発生します。無知な子供には負わせることのできない責任が発生します。皆さん自身が、そのことをじっくり考えて、行動することを期待したいと思っています。講義の4番目の目標はこうした点にかかわるものです。

この講義を積極的に履修する学生が多いことを期待しています。

第1章 科学の方法論

1.1 朝永振一郎の言葉

最初に、日本の物理学者である朝永振一郎（ともなが しんいちろう, 1906-1979）の言葉を引用することから始めましょう。彼は、日本で2番目にノーベル物理学賞を受賞した物理学者として知られています。また、多くの教育的な著作を残していることでも有名です。

朝永博士は、その著書「物理学とは何だろうか¹」の中で、物理学の定義を次のように述べています。

われわれを取り囲む自然界に生起するもろもろの現象の奥に存在する法則を、観察
事実に取りどころをもとめつつ追求すること

もう少しこれをわかりやすく表現すると、「世の中の現象の奥にある法則性を見つけることだ」というのです²。ここで、いくつか注目したい点があります。それは、まず、「法則が存在している」という発想です。世の中が無茶苦茶ではなく、何らかの法則があると考え発想をしていることです。次に、その法則は、観察事実をもとに、追求して明らかにできると考える発想です。これらの発想の上に、物理学が成りたっていると考えを強調しておきたいと思います。

また、このような言葉も残しています。

ふしぎだとだと思ふこと
 これが科学の芽です
よく観察してたしかめ
 そして考えること
 これが科学の茎です
そうして最後になぞがとける
 これが科学の花です

解説するまでもないかもしれませんが、しかし、簡単にまとめると、「ふしぎを見つけよう」「観察したり、観察を通して考えてみよう」「理由を発見しよう」という3段階で考えるのが自然科学（あるいは単に科学）である、と述べています。

私は、中学校理科の教科書の執筆を担当したことがあり、出版社の方のいろいろな工夫が教科書に注ぎ込まれていることを知っています。だから、朝永が述べるような考え方が教科書に盛り込まれていることも、よく知っています。しかし、皆さんはどうでしょうか。理科を勉強して、そのような考え方を身につけてきたでしょうか。残念ながら、私が学生の皆さんと接する限り、そうであるようには思えません。

そこで、この授業では、この考え方を中心に据えて、いろいろな物事を考えていくことをしたいと考えています。

¹上下2冊分冊。岩波新書。図書館にあります

²この文には、前置きがあります。物理学が何かは今後も変わっていくだろう、とも述べています。私はこの部分も大切なメッセージだと考えています。物理学は新しい方法、新しい考え方を受け入れる素地があるものだと私も思うからです

1.2 科学の方法

朝永振一郎の言葉には、よく観察して追求していくことが強調されています。それでは、具体的に、どのように追求していくのでしょうか。それは、科学の方法論として、ある程度確立されています。

1.2.1 分析

その1つの方法は、細かく分けて考えるという方法です。これは「分析」と言われています³。例えば、私自身が何であるかを考えるために、私たちの体が何でできているかを考える、といったような発想です。

実際、私たちの体は何でできているのでしょうか。多くの器官や臓器、血液などで成り立っています。ところが、器官や臓器は、細かな細胞から成り立っています。細胞の中には、ミトコンドリアなどの構造があり、それらはタンパク質などの物質で成り立っています。物質は分子で成り立ち、分子は原子で成り立っています。原子は、1億分の1 cm 程度の大きさの粒です。

ラザフォードは、この原子がどのような構造になっているのかを調べようと思いました。そして、原子に放射線(アルファ線)を当ててみました。すると、その放射線は散らばりました。その散らばり具合から、原子の中には、プラスの電気を帯びた粒子(原子核)があるだろうと、ラザフォードは推察しました。そしてその周りは、マイナスの電荷である粒子(電子)が飛び回っていると考えました。現在では、原子核の大きさは、原子の大きさの1/1万程度、つまり、1兆分の1 cm しかないことがわかっています。

このように、この世の全ての物質は細かな粒子で成り立っていることがわかってきています。より大きな物の性質を知るために、より細かいものに分けてその性質を調べる、という方法が物理学では実践されています。その結果、人類はどんどん細かな構造を見出しています。現在では、原子核なども、より細かなものから構成されていると考えられるようになってきています。

1.2.2 観察・仮説・実験・検証

もう1つの重要な手法は、次のような一連の手続きです。

1. よく「観察」します。
2. 次に、観察結果から、こんな法則性があるのではないかと仮に考えます。これを「仮説」を立てる、といいます。
3. その仮設が正しいとすると、こんなことも成り立つはずだ、という別のことを考えてみます。そして、それを「実験」して試します。実験して試すことを「検証」といいます。
4. 検証の結果、仮説から予想される通りの結果になれば、「仮設が支持された」ということになります。

しかし、予想と反する結果が得られることもあります。それを「仮説は棄却された」といいます。仮設が棄却されたらそれでおしまいでしょうか。そうではありません。検証結果もよく観察し、別の新たな仮説を立てる必要があります。そして、その仮説に基づいて実験・検証を行います。

³こうした方法はデカルトによって述べられています。分析については「専攻入門(基礎数理)」の私の担当回でお話しします。

こうした手続きが科学の重要な手法となっています。

このような手続きは、朝永振一郎の「ふしぎだと思ふこと...」の言葉に良く対応すると思います。改めて朝永振一郎の言葉を思い返してください。

1.2.3 高校の理科の分類と科学の方法論

みなさんは、高校の理科の科目には物理学・化学・生物学・地学の4つの科目があることを知っていると思います。しかし、これらは理科をどのように分類したものでしょうか。少し考えてみてください。

比較的簡単に思いつくのは生物学や地学だと思います。

生物学

生物を研究対象とする学問分野

地学

地球上の諸現象や宇宙を研究対象とする学問

それでは、物理学や化学はどうでしょうか。化学については、

化学

化学物質を研究対象とする学問分野 あるいは
化学反応によって物質の性質を調べる学問

といえるかと思います。同様に物理学を定義しようとすると、例えば、

物理学

諸現象の根本的な法則や性質を解き明かす学問

としていいように思います。

こうしてみると、これら4つの理科の分類方法には、2つの観点があることに気づきます。1つは、対象による分類です。何について研究するか、による分類です。生物学や地学はそのように分類されています。化学もそうであると言えなくもありません。ところが、物理学にはそのような分類方法は当てはまらないことに気づきます。化学や、特に物理学は、2つ目の分類方法である研究方法による分類であるといえます⁴。このように、理科の分類は同一基準では行われていません。

このことは、とても重要な意味を持っています。これらの科目は、「1つ(あるいは2つ)を履修すれば他を履修しなくてもよい」というものではないことがわかります。方法論としての物理学は、他の理科の教科を学べば自動的に身につくようなものではないからです。逆に、物理学だけ学んで、他の学問を学ばないことも、応用が少なく、残念なことであるといえます。

また、改めて確認したいことは、科学の分類方法として、研究方法あるいは探求方法を基準に考えることができるという視点です。これまで述べてきた方法が、学問を特徴づけることがあるということに注意しましょう。

1.3 受講者へのメッセージ

最後に、この講義を受講するにあたって、メッセージがあります。

⁴もちろん、生物学や地学にも、それぞれ固有の研究方法があります。ここでの話は、わかりやすさのために単純化しています。

皆さんは、高校までの数学や理科についてどのような印象を持っているでしょうか。もちろん、楽しかったとか、得意だったとか、そう思う人も多いでしょう。しかし、本学の学問基礎の選択状況を見ると、どうもそうではないようです。

ここで、数学や理科（あるいは他の科目）が苦手であるということは、一つの観察対象として考えてください。そして、なぜ、数学や理科が苦手であるのか、観察に基づいて、考えてみましょう。そして、その奥にある法則がわかれば、苦手を克服することができるのではないのでしょうか。私は個人的に、多くの人が苦手意識を持つ理由がいくつかあると考えています。それは主として次のような理由です。

1. 数式を用いる

科学では現象を数値として表します。様子を主観的に表現するだけでなく、数値と表すことで、客観的に伝わるからです。そして、数値として表したものの間に関係性を見出します。それらは数式として表現されます。そこで、科学ではどうしても数式を用いることになります。

ところが、数学が苦手な人にはこれは大変な苦痛でしょう。これが物理学を遠ざける理由の1つになっているように思います。

2. 積み上げが多い

数式を用いるためにはある程度は数学に対する慣れが必要です。その他にも、ある事項がわかっていないと次の事項がわからないということが比較的多い科目です。数学や物理学はその典型です。例えば、日本史では、鎌倉時代を知らなくても江戸時代を勉強することは、ある程度はできるでしょう。しかし、力の性質を知らないまま、運動を勉強することは不可能です。

実際には体調にも好不調がありますので、学校の勉強で一度も休まずに学び続けるのは難しいです。ところが、一度つまずくと、多くのエネルギーをかけて追いつくことは難しいかもしれません。

3. 大学入試向けの勉強がつまらない

また、大学受験のための勉強であるという側面が、問題を更に悪くしています。大学としては、近年の理科離れ、特に物理学離れの影響で、入学試験をやさしくします。すると、物理学の入試問題はパターン化します。それを見た高校の物理の先生は、特に熱心な先生の場合には、パターンを覚えようとして指導するでしょう。つまり、理科の受験科目を暗記科目として理解するように指導するようになると思います。

すると、学生にとってみると、「法則性の追求」どころか、何も考えないでパターンを覚えるという作業を繰り返すことになります。それは、本来の科学とはかけ離れた勉強です。

そのような物理学は、おそらく、多くの人にとって、魅力は無いでしょう。すると、物理学離れが進行します。その結果、大学側は問題を簡単にし、高校ではますますパターンを教えるようになります。こうした悪循環は、物理学離れを加速する原因であるように思います。

この講義では、こうした認識も踏まえて、高校までのとは違った科学の側面を紹介したいと思っています。

さらに、この講義では、現代社会の中での物理学の役割についても考えていきます。こうした内容は、科学を専門としたいと考えている学生の皆さんにとっては、もちろん、科学を全く関係ないと考えている学生の皆さんにも必要なものであると考えています。

科学はおもしろいか？

以下は余談です。私は、理科で嫌な思いをした人が、この講義を受講するのを歓迎します。全体の構成や話題の選択は、理科を専門としない学生を想定しています。このように書くと、「面白そうなテーマだけ並べた」と思う人もいるかもしれませんが、しかし、それは正しくありません。私は、皆さんに物理学が楽しいと思わせたいとは思っていません。楽しいかどうかは、個人的な趣味の問題です。私が興味を感じるテーマを選んでいることは事実なので、楽しんでもらえたらいいと思います。しかし、趣味を強制したくありません。

技術立国日本のための物理学？

「自然科学は科学技術立国日本の今後のために大切だから勉強しなければならない」と言う人がいます。私はこれには違和感があります。他の人の都合で、自分の趣味・やりたいこと・やらなければならないと思うこと等を変えなければならなかったとしたら、それは残念なことです。本当に技術者が必要だと思ったら、技術者の待遇をよくすればいいと思います。現状は、技術者の待遇は決してよくありません。昨今、「少子化対策のために女性は子供を産んでください」という表現を使う人もいます。これは、個人の幸せにかかわる出産を、他の人の都合で決める言い方のように聞こえないでしょうか。どちらも、個人の生き方に深くかかわることです。他人が決めるのではなく、自分で主体的に決めるべきことであると、私は思っています。