

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。物理学の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。以下に挙げてみたいと思います。

1. 日常生活の中の物理現象を理解すること
2. 科学的(物理学的)な方法論を身につけること
3. 近年の物理学の成果に触れること
4. 物理学と社会の関係の現状を理解し、考えること

講義目標の2番目の「科学的(物理学的)な方法論を身につけること」についてはわかりにくいかもしれませんが、そこで、少し解説を加えたいと思います。

現代物理学への第一歩は、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、物理学と民主主義は、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が、しかし、民主主義と物理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、物理学的な考え方も、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。物理学的な考え方は、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、物理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、必ず皆さんの中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 イントロダクション

1.1 物理学とは

それでは、早速講義を始めます。最初に、物理学とは何かを考えてみましょう。物理学を含む学問では、「定義」を大切にします。定義が曖昧だと、何について話しているのか、お互い通じなくなってしまうことがあります。それを避けるために、言葉はきちんと定義しておくべきです。

その手始めとして、物理学とは何かを考えてみましょう。

1.1.1 物理学とは—高校の理科の分類—

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¹。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。

¹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。

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。

1.1.2 物理学とは—研究者の視点—

今度は、物理学を研究する人が、どのように物理学を考えているのかをみてみましょう。ここでは、2人の物理学者の例を挙げたいと思います。

1人目は朝永振一郎(ともなが しんいちろう, 1906-1979)です。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。彼の著書「物理学とは何だろうか²」の中で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³に拠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、「観察を通して、身の回りの現象の法則性を調べること」という訳です。これは、物理学の方法を表現したものであると考えられます。物理学には、このような方法の特徴があるのです³。どうでしょうか。皆さんの考えている物理学と対応するでしょうか。

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
そして最後になぞがとける
これが科学の花です

これは、科学について述べています。しかし、先の引用から考えても物理学に置き換えてもいいと思います。朝永振一郎は、この様に表現し、身の回りのものを疑問に対して、そしてその法則性を見つけていくことが物理学であるとしています。

2人目はラザフォード(Ernest Rutherford, 1871-1937)です。原子の構造について、新たな提案をした物理学者で、ラザフォードもノーベル物理学賞を受賞しています。彼は物理学について次のように表現しています。

All science is either physics or stamp collecting.
(全ての自然科学は物理学か切手収集だ)

これは、物理学以外を専門とする方には、やや挑発的な表現です。彼が物理学者であることを考えて、大目に見ていただければと思います。さて、彼が言いたかったことが具体的にどんなことだったのか、より深く考えてみましょう。「切手収集のようだ」というのは、様々な現象や研究対象について、事例を集めるということに対応していると考えられます。そして、逆に、物理学はそうではない、ということの意味しています。朝永振一郎の言葉と合わせて考えると、観察事実を集めるところまでは、物理学以外で、集められたものを考えて法則性を見つけ出すことが物理学である、と表現しているように思われます。

²上下2冊分冊。岩波新書。図書館にあります

³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も思うからです

1.1.3 物理学とは—語源—

物理学が何かを考えるときに、語源も重要です。語源について考えてみましょう。

日本語の表現である「物理学」を考えてみましょう。それぞれの文字の意味を考えると、「物(もの)」「理(ことわり)」の学問であるということに考えることができます。「理(ことわり)」は、「道理」「理屈」などの熟語からわかるように「(話の)筋」や「法則」「規則」を表すと考えられます。つまり、物事の法則性を表す言葉であると考えられます。

実際、広辞苑には、次のようにあります。

自然現象を支配する法則を発見し、その帰結を研究して体系化することにより、自然現象の理解に寄与する...(中略)...学問分野。

物理学は英語では“Physics”といいます。physi- は、もともとギリシア語の PHYSIS で、「天然」という意味があるようです。そこで、Physics は「天然学」「自然学」といった意味合いでしょうか。これは、自然を観察することを大切にするという意味で、また、自然の法則を探求するという意味で、朝永振一郎の言葉と関連づけることができます。

どちらにしても、自然界の法則性を対象とする学問であると解釈できます。

1.2 物理学の方法

それでは、物理学にはどのような方法があるのでしょうか。

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⁴。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。

⁴ 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。

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」ということとなります。

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、その仮設に基づいて実験・検証を行います。

こうした手続きが物理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「ふしぎだと思うこと...」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。

1.3 物理学とは—歴史的な観点 あるいは 運命はあるか？—

今度は物理学誕生の歴史的な経緯について考えましょう。

その前に、皆さんに考えてもらいたいことがあります。それは、運命があるか、ということです。少し考えてみてください。

「運命なんてない」と思っている人もいるでしょう。そのような気もするし、自分の未来は自分で切り開くのだという願望があると思います。逆に「運命があってほしい」という人もいるでしょう。自分には何か特別な使命があって、そのために生かされているのだ、と思いたいという願望もあると思います。どのように思うかは、それぞれ個人の自由です。それが各自の生き方をより良くするのであれば、それは素晴らしいことです。ただ、ここで問題にしたのは、どう思いたいかわではなく、実際どうなのか、ということです。

物理学の歴史は長く、しかも哲学的な側面もあり、簡単に紹介することは難しいです。ここでは、この講義のために、「運命」とも関係する星占いを物理学の起源の1つとして考えたいと思います。皆さんは星占いにどの程度興味がありますか？私たちが普通考える星占いは、西洋のギリシア伝説に関連したような星占いだと思います。この他にも、東洋にも星占いはありましたし、聖書にも見られます。その他、世界各地にそのようなものがあったと思われます。イエス・キリスト生誕の際に、輝いた星に導かれた賢人がいたことや、三国志の物語中で星占いが使われていたことを思い出しましょう。

さて、その星占いは、どのような発想で行われたのでしょうか。それは、明らかに未来予知です。まず、星の運行が地上の現象に対応していることを仮定しています。例えば、

- 急に新しい星が輝くようになるのは、何か新しいことが地上で起こることと対応している
- 彗星が現れるのは、何か悪いことが起こることと対応している

- 惑星が逆行するのは、何かが順調に行かないことと対応している

といったことです。

このように地上と天上の世界が対応しているのであれば、天上の様子があらかじめわかれば、地上の様子もわかることになります。星の動きや変化をあらかじめ知っておくことで災いの被害を最小限に食い止めることができるでしょう。逆に良いチャンスをつかむこともできるかもしれません。そこで、天文学によって、星の運行を詳細に観察することが行われ、それに基づいて星の運行の予測が試みられるようになります。

そうして、そのいくつかは成功し、運行の予測はできるようになります。最も有名なのは、西暦 100 年ごろにプトレマイオス (Klaudios Ptolemaios, AD 100-170 ごろ) によってまとめられた天文学です。さらに、近世になり、コペルニクス (Nicolaus Copernicus, 1473-1543) やケプラー (Johannes Kepler, 1571-1630) が惑星の運動の法則を発見するようになります。しかし、こうした近世の成果についても、神秘的な解釈が行われていました。そこで、この時点でも、天文学は宗教や信教と切り離されたとは言えません。いずれにしても、こうした星の神秘的な運行を調べることが物理学の重要な起源になったのです。その後、ガリレイ (Galileo Galilei, 1564-1642) やニュートンは、運動の法則を打ち立てました。そして、天体を含む物体の運動は、現在の位置と速度がわかれば、将来を予測することが可能になりました。

このように、物理学は、その根っこに呪術的 (オカルト的) なものを持っています。余談になりますが、テレビ番組などでは、科学はカルトを攻撃します。しかし、その姿は、子供が年老いた老人をいじめているように見えなくもありません。もちろん、オカルト的なものを擁護するつもりはありません。しかし、物理学自身、物理学では答えられない疑問を持っています。実際、物理学には限界があり、物理学で何でもわかるということはありません。例えば、時間とは何か、という問題設定に対して、物理学では、時間にかかわる様々な法則や性質を述べることができます。しかし、なぜ、そのようなものが存在しているのか、その本質は何なのか、物理学は答えてくれません。現実に存在するものとして、それを認めているだけです。そのような意味では、依然として、オカルト的な側面を持っています。こうした疑問を見失ってしまうと、物理学もカルトと同列になってしまうように思います。

話を元にもどしましょう。天体の運動は運動の法則によって決まっているとわかったので、天体の運動が、地上の私たちに影響を及ぼすという考え方からは開放されたと考えてもいいように思います。しかし、良く考えてみると、私たちの体を構成しているものも、細かな粒子です。だとすれば、一つ一つの粒子の動きは、同様に運動の法則によって予測可能であると考えられます。そして、それは、宇宙ができた瞬間から、既に決まっており、未来永劫に至るまで決まっているとも言えそうです。それは何を意味するかというと、私たちがいつ生まれ、どのように行動するかは、既に決まっていると考えられるということです。私たちが「意志」とか呼んでいるものも、単なる脳の中の粒子 (電子や原子) の作用に他ならず、生きているという実感さえ幻想でしかありません。不確実なことは何もなく、単に決まりきったことが起こっているだけ、ということになります。天文が地上の出来事を決定している、という運命論から開放されたと思ったら、今度は、物理法則によって私たちが運命づけられているという結論に達してしまったようです。

このような考え方は、実際に以前の物理学者が気づいたことです。物理学者は、宇宙中の粒子の現在の位置と速度を知ることができ、運動の法則に基づいて計算することができる超人的な存在「ラプラスの悪魔 (あるいはラプラスの魔)」というものを考えました。「ラプラスの悪魔」が存在できるかどうかはともかく、この考え方によって、私たちの将来は決定づけられているように思われます。

これが実際にどうなのか、果たして運命はあるのか、については、また改めてお話しする機会もあると思います。

1.4 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。

皆さんは物理学というどのようなイメージを持つでしょうか。最近の高校では、大学受験のために、高校で物理学を選択できない学生も多いと聞きます。そこで、履修していない人も多いでしょう。この中で、どれくらいの方が、高校で物理学を勉強したでしょうか。また、履修した人は、どのようなイメージを持っているでしょうか。

いずれにしても、開講されずに受講できなかった人は「物理は大変だから受講者数が少ないので開講されないのだ」と思うでしょうし、受講した人も「全然わからないまま終わった」と思っている人もいます。その結果、物理学のイメージはとても悪くなってしまっているのではないかと思います。本学の数学を担当されている芳沢先生は、

数学は、話をすれば面白さがわかってもらえるけれども、物理は数学よりも大変みたいですよ。

と言われていました。

これは大変なことになってきています。高校の物理学は酷いイメージを持たれているようです。もちろん、物理学が好きであるという人もいますでしょう。また、もしかしたら、近年テレビや映画が作られた「ガリレオ」で、あるいは、日本人がノーベル物理学賞を受賞していることで、よりよいイメージを持っている人もいるかもしれません。しかし、物理学が嫌いとか苦手とか考えている人は多いように思います。

私は個人的には、このようなイメージを持たれることの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

物理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、物理学ではどうしても数式を用いることとなります。

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、振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。そこで、学校の勉強で一度もつまらずに学び続けるのは難しいです。そして、一度つまらずと、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. 大学入試向けの物理学がつまらない

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、物理学の入学試験をやさしくし、できるだけ物理学で受験してもらいたいと考えます。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に指導するでしょう。つまり、物理学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、本来の物理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、高校までの物理学とは違った側面を紹介したいと思っています。高校の物理学で学ぶことは、過去の物理学者が作り上げてきた物理法則についてです。ところが、ここまで説明した中にもあったように、物理学は方法で特徴づけられ、そしてその方法を修得することが物理学を学ぶことのとても大切な部分です。ここでは原点に回帰して、その方法を身につけることをこの講義の大切な目標としています。

さらに、この講義では、現代社会の中での物理学の役についても考えていきます。こうした内容は、自然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も大切な内容です。しかし、自然科学とは全く無関係の学生の皆さんにも必要なものであると考えています。

物理学はおもしろいか？

以下は余談です。私は、物理学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。他人が決めることなく、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。