

専攻入門

—分析：わけて考えること—

物理学担当：森 厚

第3回 2008-11-07

1 はじめに

1.1 近年の学生と物理学

今回から、物理学関連の話題になります。

さて、まずみなさんは物理学と聞いてどのような印象を持つでしょうか。

これまでの教員生活の中で、学生の声聞いてみると、ひとつには、「覚えることが多い」「公式ばかり」といった反応が多いです。この点から説明しておく、高校の物理学は、大学受験を強く意識しています。また、最近の理科離れの影響で、あまり難しい問題にすると学生がまったく解けなくなってしまうために、大学側も難しい問題を作りません。そこで、大学受験では、どうしても型にはまった典型的な問題を作ります。ところが、そのようになると、高校で教える物理学は型通りの問題が解ける力を養成することになります。すると、公式や問題のパターンを覚えることが重要になってきます。更に悪いことに、高校でこのような教育を行うものだから、大学はますます難しい問題は出せなくなります。また、生徒にとっても暗記ばかりでは魅力的な学問には見えず、理科離れが進行します。そうしたことが背景にあります。

もう一つの感想は、「難しい」「わかりにくい」という反応です。これは、上で述べたことが原因でもあります。しかし、もう一つ、ポイントがあります。そもそも、どんな勉強も難しいものです。ところが、物理学の場合には、「途中からわかる」ということがあります。どうしても、基本がわかってから、その次のことがわかる、ということになります。そこで、逆に、途中でわからなくなると、次からもわからなくなってしまう。

今日は、そんな背景を考えて、できるだけ物理学の話題を、基礎から現代的な話題まで広く扱ってみたいと思います。もっとも、物理学の範囲はとても広いので、ほんの一部の範囲についてお話するだけです。しかし、そのように遠くまで見渡すことで、皆さんに興味を持ってもらえるのではないかと思います。

また、今日お話することは、自然科学だけでなく、広く物事の考え方の基本になることだと思います。そのような面からも参考にしてもらいたいと思います。

1.2 物理学とその方法

さて、本題に入る前に、もう少しだけ、物理学自身の話をしたいと思います。物理学とは何でしょうか？皆さんは物理学に関連してどんな単語を思い浮かべますか？この質問は実はとても難しい問題です。人によっていろいろな答えがあるでしょう。ここで、私は朝永振一郎博士の言葉を引用したいと思います¹。

われわれをとりかこむ自然界に生起するもろもろの現象—ただし、主として無生物にかんするもの—の奥に存在する法則を、観察事実に拠りどころを求めつつ追求すること

ここでは、これを物理学と考えたいと思います。つまり、対象は何でもよくて、観察を通じて法則性を考えることです。

そうは言っても、漠然と観察したり考えても答えは見つかりません。何らかの考える糸口が必要です。考え方には、人それぞれのやり方があるべきですし、これが絶対ということはありません。しかし、ここでは、デカルトという人の考え方を借りたいと思います²。

...

第二、私が吟味する問題のおのおのを、できるかぎり多くの、しかもその問題を最もよく解くために必要なだけの数の、小部分に分かつこと。

第三、...最も単純で最も認識しやすいものからはじめて、少しずつ、いわば階段を踏んで、最も複雑なもののにんしきまでのぼってゆき、...

デカルトは、物事を考える際に、まず、全体を構成する小さな部分部分に分け、分けたものを詳しく調べ、その結果が分かったら、最後にそれを少しずつ統合すれば全体がわかっていくと考えました。このような考え方は、物事を考える際の典型的な方法だと思います。分けて調べることを「分析 (Analysis)」といいます。また、最後に合わせることを「統合 (Synthesis)」といいます。

例えば、タンポポという植物がどのような植物かを観察して調べるためには、根、葉、茎、花、などに分割し、それぞれを詳しく調べます。そして、その後に、統合していきます。人間について調べるためには、人間の体の器官について調べます。そして、その結果を統合していきます。

このような考え方は、何も物理学だけではなく、この例に見られるように生物学でも、また、他の分野でもよく用いられます。

2 分けて考えてみよう

2.1 物質を細かく分けて調べる

それでは、早速、分けて考えることの例を見てみましょう。最初は金属などの物質の例です。

¹朝永振一郎「物理学とはなんだろうか上」,p.5, 岩波新書, 1979

²野田又夫編集「デカルト」,p.177, 中央公論社, 1978

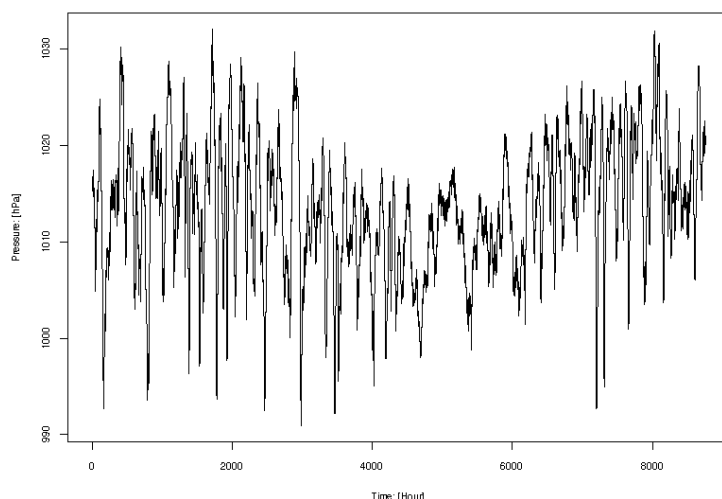


図 1: 1 時間毎の気圧の変化 (1 年分)

金属を含む物質には様々な性質があります。例えば、金属の密度を考えてみます。金と銀とを比べると、同じ体積ならば金の方が重いことが知られています (cf. アルキメデスの逸話)。このような違いはどのようにして生じるのでしょうか。

答えは、原子の構造を細かく見ることで調べることができます。そして、それは、金属を形作るひとつひとつの原子と、「結晶構造」といって、原子の配置がどうなっているか、がわかれば、おおよそ理解できてしまいます。

また、金属の化学的な性質についてはどうでしょうか。例えば錆びやすさ、などです。そうした性質は、原子ひとつひとつの周りを取り巻く電子の数 (や状態) を調べることで概ね理解できます。

このように、物質を細かく見ることによって、物質の性質が明らかになることが多いです。

このような観点から、人間は物質を細かく調べることをずっと続けてきました。「原子物理学」等と呼ばれる分野では、原子を、原子核と電子に分け、原子核は、陽子と中間子に分け、それぞれは、2種類のクォークに分けます。このように、物質の性質を、それを構成するより細かな部分を理解することで解明しようとしてきました。そして、それは多くの成功を納めました。

2.2 気圧データの例

次はは気圧のデータです。これは、ある地点での、ある年の、1時間ごとの気圧データを1年分の表示したものです。これを見ただけでは、何がなんだかわからないと思います。いくら観察しても、法則性の見つけようもないように思います。朝永先生の言葉は、このデータには使えないように思われます。

そこで、デカルト先生の教えに従って、部分部分に分けてみましょう。これは1年間のデータですから、1ヶ月分に区切って調べるという方法もあります。しかし、ここでは、全く別の分け方を試してみます。

その前に、このデータを良く見てみましょう。全体にギザギザしたデータではあるも

▶移動平均：

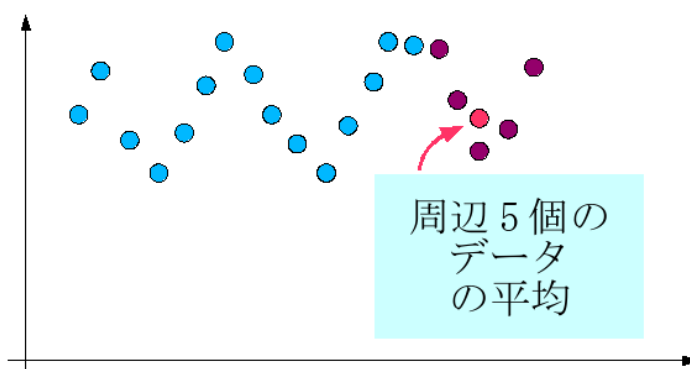


図 2: 移動平均の考え方

の、なんとなく、ゆったりしたデータの変動もあるように見えないでしょうか。それでは、その「ゆったりした」データを取り出してみることを考えてみましょう。

そのためには、「移動平均」という方法をとるのが簡単です。移動平均は、このようにギザギザした変化を持つデータから、滑らかな変化を浮かび上がらせる方法です。金融商品に興味がある人には馴染があるかもしれません。具体的に、移動平均の計算方法について手順を説明します。まず、ある時刻の気圧データを考えます。その時刻に対応する移動平均されたデータは、その時刻の周り n 個分のデータの平均値をその時刻のデータとします。例えば、 n が 5 であった場合、その時刻から 2 時間前のデータから、その時刻の 2 時間後までの合計 5 時間分のデータを取りだし、その平均値を、対応する時刻のデータとするのです。このようにして移動平均したデータを作ります。試しに、気圧データに対して、30 日 (721 時間) の移動平均をとってみましょう。すると、元のデータに対して、図の中の赤い線で示したようなデータを得ることができます。このようにして、元のデータから、ゆったり変動するデータを抜き出すことができました。これによると、グラフの中央が 6 月の終わり (あるいは 7 月の初め) ですから、7 月から 8 月頃の気圧が低く、相対的に冬の気圧の方が高いことがわかります。データを分けることで法則性が見つけられそうです。

さて、では、余ったデータは、どうなるでしょうか。元のデータから、上で得られた移動平均したデータ (ゆったり変化するデータ) を差し引くと、このようなデータが得られます。これは、ゆったりした変化を取り除いたので、気圧の値がゼロの周りでギザギザしています。そこで、同様に、今度は、このデータに 1 週間 (169 時間) の移動平均をとってみましょう。すると、このようになります。数 100 時間で変動するような気圧の変化が浮かび上がってきます。これは、寒波とか熱波とか、そういったものに対応しそうですから、こうして得られたデータを基に研究する価値があるかもしれません。さらに余ったデータはどうなるでしょう。これも、まだまだ、ギザギザしています。しかし、良く見ると、このデータは、数日の間隔で繰り返す変化のようです。すると、これは、日々の天気を決める高気圧や低気圧の移動に伴う変化であると考えられます。ところが、このデータは、数日おきに变化するデータだけではなく、細かいギザギザがあることがわかります。そこで、今度は、1 日 (25 時間) で移動平均をとってみましょう。すると、グラフはほとんど変わりません。しかし、移動平均とる前ととった後の差のデータについて表示し、部分的に拡大するとこのようになります。ところどころ、

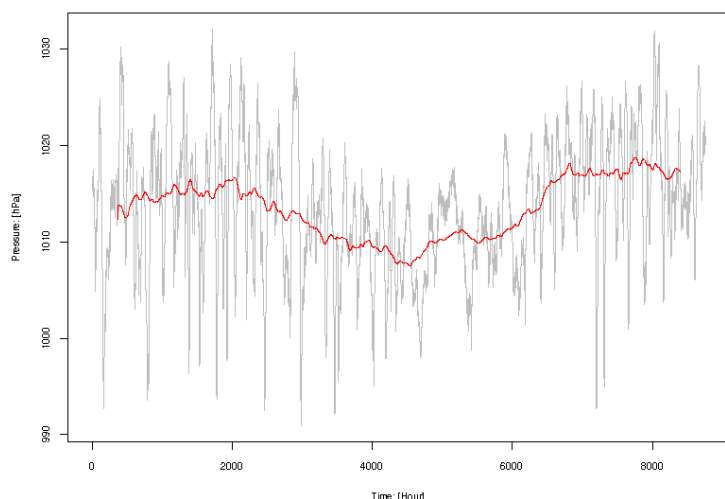


図 3: 30 日移動平均した結果

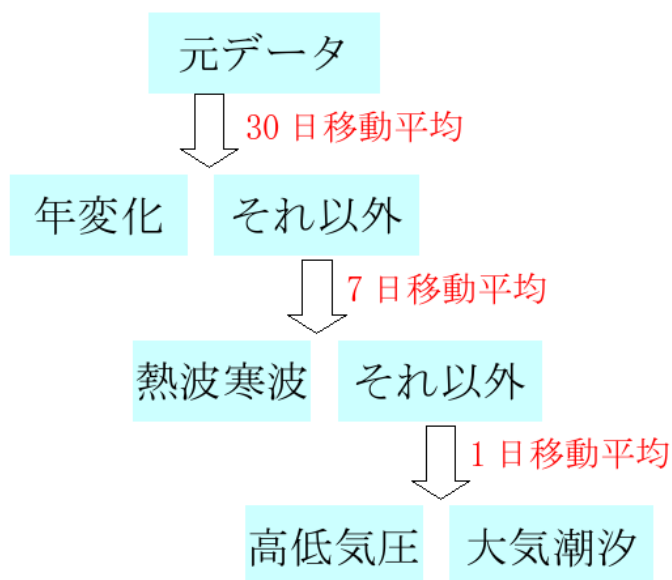


図 4: 移動平均でデータを分ける

12 時間周期や、24 時間周期で変動しているデータが見られます。これらは、実は、大気潮汐と呼ばれる現象に対応していると考えられます。

このように、移動平均することで、また、移動平均したデータと、元のデータとの差をとることで、気圧データの変動を部分部分に分けて、それぞれの部分について考えることができそうだ、とわかります。

2.3 写真の例

今度は、写真の例です。

例えば、絵の場合、ひとつの絵の上にもうひとつの絵を上書きしてしまうと、混ざった絵を元に戻すことはとても難しいと考えられます。似たようなことを、デジタル処理した写真で考えてみましょう。最初に、3 枚の写真を用意します。その 3 枚の写真



図 5: 画像を混合したもの(上 3 画像)とそれを元に分離を試みたもの(下 3 画像)

を、コンピュータ上で合成して、3枚の写真を作ります。この時、3種類の写真は、合成するときの元の画像の割合が異なっているものとします。同じものがいくつあってもしょうがないですから、ここでは、3種類の別の合成写真があると考えます。さて、これらの合成写真から元の画像を推定することができるでしょうか。このような問題は、昔からある問題です。例えば、先ほど扱った気圧のデータも、いろいろなデータが足し合わさっています。先ほどの気圧データは、時間的に異なる性質を持っていたために、それを使って、なんとか分離できました。今回の場合はどうでしょうか？実は、このような問題に対して、長い間適当な方法は見当たりませんでした。ところが、この10年ほどの間に、この分野の理論が発達し、ある程度、画像を分解できることがわかってきました。旧来から、良く使われていた方法だと、このように、うまく分離できないものも、新しい方法だと、このようにきれいに分離することができます。この方法の理論は、やや難しいです。とりあえず簡単に説明しておく、元の写真は、それほどデタラメではないのに、合成するとどんどんデタラメになってしまいます。そのデタラメさを尺度として、また、元の写真がデタラメではないと仮定して、復元するのです。

これは新しい手法ですから、この手法が物理学にどのような効果をもたらすかは、まだ、未知数です。しかし、脳科学の分野などでは、積極的に使われ始めています。

2.4 コッホ曲線

今度はまったく別の例です。実は、答えから先に言ってしまうと、細かく分けて考えることが適当ではない例です。

コッホ曲線の定義は簡単です。最初に直線があるとします。それを三等分します。三等分した真ん中に、それを一辺とする正三角形を描きます。次に、正三角形と直線が一致した部分を取り除きます。すると、 $1/3$ の長さの線分が4つできます。

これと同様の操作を、新たにできた各線分に対してもう一度行います。すると、最初の線分の $1/9$ の長さを持った線分が、16本できることになります。この操作を何度も繰り返して、無限回行ったとします。こうしてできたものが、コッホ曲線です。

このコッホ曲線にはいくつかの性質があります。ひとつはコッホ曲線の長さです。最初の段階で、線分を3等分し、分割された線分4つ分の長さで次の段階の図形を作成しました。この段階で、長さは $4/3$ 倍になっているはずですが、それ以降、どんどんこのような作業を繰り返していくことを考えると、各段階で長さが $4/3$ 倍にどんどん長く

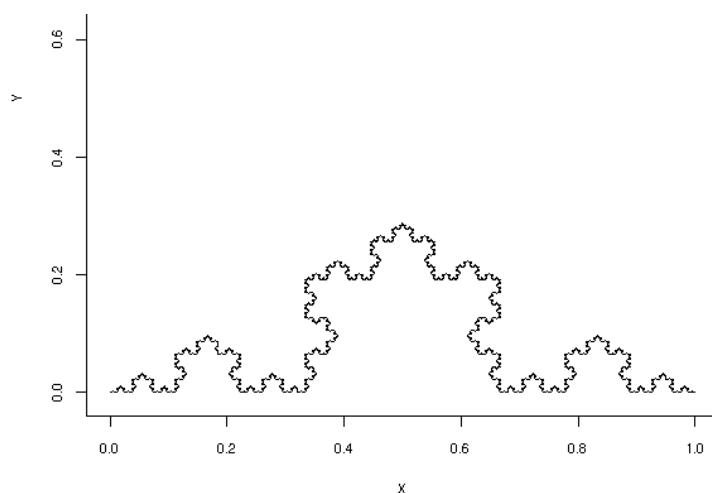


図 6: コツホ曲線

なっていくこととなります。これを無限回繰り返すと、無限の長さになります。しかし、この図形を見てもわかるとおり、平面を塗りつぶしはならず、細かく見ても線のままです。このように、有限の範囲にありながら、無限の長さを持った不思議な線になります。

もうひとつの特徴は、自己相似性です。コツホ曲線の一部を拡大してみましょう。すると、全く同じ形が現れます。このように、細かな部分に元と同じような形が埋め込まれている性質を、「自己相似性」といいます。また、そのような性質をもつ図形は、「自己相似である」と言われます。

さて、自己相似であるということは、細かな部分に分割しても、また同じものが出てくるのですから、分割することに対する意味は余りなくなってしまうます。自己相似な図形に対しては、そもそも、細かく分割することは意味が無いのです。

このような性質は、20 数年前まではあまり多くの人は考えませんでした。しかし、急に注目を集めました。その訳は、世界中のいろいろなものが自己相似の性質を持っているからです。例えば、海岸線の形や等高線の形は、地図の縮尺が細かいものまで表現できるようになると、どんどん複雑になっていきます。面的なものでは、降水分布などは、自己相似的な性質を持っていますし、立体的なものでは、木の枝の張り方や、山の形、雲の形などは自己相似的で

3 まとめ

デカルトが提唱した分析-統合という方法論は、大きな成功を納めました。それによって物理学は大いに進展し、今日の成果を得ることができました。その典型は、原子物理学です。物質が原子で構成され、原子は、電子と原子核で構成され、原子核は、陽子・中性子などの素粒子で構成され、素粒子はクォークで構成され、... と、どんどん細かく調べ、多くの発見がありました。そして、人間は、世界中の全てがわかったような気がしていたのです。

その方法の精神は、特に文字どおり細かく見るだけでなく、いろいろな分け方にも適用できます。例えば、変動の激しさで分類することもできますし、画像の明る

さの分布のし方で分けることもできます。このような方法は計算機の発達した現代ならではの方法であるので、まだまだ、新しい発見が隠れていると考えられます。新しい分け方で、どんな発見があるか、もう少し時間が経たないとわからないでしょう。一方、細かく見ることに意味が無い対象があることにも気づく時が来ました。例えば、コッホ曲線は、どんなに細かく調べても、元と同じ形が表れてしまいます。細かく調べること自身に意味が無くなってしまいます。そして、実際の世界には、細かく調べることに向かない対象が数多くあることに目が向けられました。例えば、海岸線の形は、細かく見れば見る程、細かい構造が見えてきて、まるでコッホ曲線のような形が表れる性質があることもわかりつつあります。

このようなことがわかり始めたのは、つい10年か20年ほど前であり、しかも、計算機が今ほど発達していなかった時代のことです。このような新しい分野は、生命科学などと比べると、地味ではあります。しかし、現在、精力的に研究されています。恐らく、もう10年から20年ほどの間に、皆さんが思っているような物理学とは全く違う物理学が大きく発展し、皆さんの前に姿を現すのではないかと、私は期待しています。私自身も、微力ながらそれにかかわっていきたいと考えています。

4 課題

これらのテーマを元に発表する場合には、次のようなテーマを参考にしてください。

1. 移動平均は、どのようなデータでどのように使われているだろうか。いくつかの例を集めてみましょう。また、どうして移動平均を使うのがふさわしいのか、考えてみよう。
2. コッホ曲線のような性質をもった図形は「フラクタル」と呼ばれています。フラクタルの定義を調べてみよう。また、フラクタル次元についても調べてみよう。さらに、身の回りのものの中にフラクタルを見つけ、そのフラクタル次元がどれくらいかを、自分で計算してみよう。
3. 同様に、フラクタルの定義を調べた上で、フラクタル図形の作成に挑戦してみよう。
4. スティーヴン・ストロガッツ著「なぜ自然はシンクロしたがるのか」(桜美林大学図書館に所蔵しています)を読んで、興味あるテーマについてまとめてみよう。
5. 朝永振一郎著「物理学とはなんだろうか」(桜美林大学図書館に所蔵しています)を読んで、興味があるテーマについてまとめなさい。
6. ガリレオ・ガリレイ著「新科学対話」(桜美林大学図書館に所蔵しています。)を読んで、興味があるテーマについてまとめなさい。