

分析：わけて考えること

1 はじめに

1.1 科学の方法

本題に入る前に、少しだけ、科学の方法の話をしたしたいと思います。

私は高校生のころ、受験参考書を探していて、「国語の勉強法」を書いてある参考書を見つけました。今手元に無いので、記憶を頼りに書くと、「国語には勉強法があって、その勉強法は研究対象である。つまり、国語の勉強法も研究すべきことである」といったようなことが書いてあっています。この言葉に私は衝撃を受けました。その時以来、勉強法については関心を持つようになっています。それは、科学についても同じです。科学には方法があって、その方法自身も研究対象になり得ます。そして、これまでに多くの知見が積み上げられています。

それでは、これまで考えられてきた科学の方法とはどのような方法でしょうか。私はここで、科学の方法について2つの考え方を紹介したいと思います。

1つめについては、朝永振一郎博士の、物理学についての言葉を引用することから説明を始めたいと思います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、観察事実を拠りどころを求めつつ追求すること

ここで語られている方法は、対象は何でもいいので、観察を通じて法則性を考え(仮説を立てて)、それを観察事実や実験事実に基づいて確かめる(検証する)というものです。このような方法論は「仮説検証型」と表現されることもあります。朝永は、このような仮説検証の方法を採用する学問を物理学とします。しかし、物理学に限らず、生物学や化学でも、あるいは、社会学とか心理学とかにも共通した科学の方法であることは明らかです。

朝永は、また、次のような言葉も残しています。ここには、仮説検証の考え方が、よりよく表現されています。

不思議だと思うこと
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

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

そして最後に謎が解ける
これが科学の花です

2 つめの方法論の説明は、デカルトという人の言葉を紹介することから始めたいと思います²。

...

第二、私が吟味する問題のおのをおの、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、最も複雑なものにのしきまでのぼってゆき、...

哲学者としても知られるデカルトは、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。デカルトが提唱したこのような方法は、現代では整理されて、「分析 (Analysis, 分けて調べること)」と、「統合 (Synthesis)」という言葉で表現されています。

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。そのようにしてタンポポや人間が理解できるであろう、という考え方です。

ここでは、今回の講義では、分析について考えてみましょう。なお、仮説と検証については、自然科学基礎(わたしたちと物理学)で扱いますので、興味がある場合にはそちらを受講して下さい。

2 分けて考えてみよう

2.1 対象を細かく見る

それでは、早速、分けて考えることの例を見てみましょう。

1. 原子物理学

典型的であるのは原子物理学とか素粒子物理学と呼ばれるような分野の学問です。

世の中の様々な物質は、分子で構成され、分子は原子で構成されます。原子は、電子と原子核とで構成されます。原子核は陽子と中性子で構成されます。これらの陽子、中性子、電子は、レプトンやクォークと呼ばれる素粒子で構成されます。

このように、私たちの身のまわりの物質が何であるのかをつき詰めるために、細かな分析が行われています。

²野田又夫編集「デカルト」,p.177, 中央公論社, 1978

2. 物質の性質と分析

例えば、ある金属について、その密度とか、化学的な性質はどのように決まっているのかを考えると、金属原子の配置 (結晶構造) や、電子の状態を調べます。金属の原子レベルでの性質がわかれば、金属の性質もわかる、と考えるわけです。

3. 器官

生物学でも同様のことが行われます。生物学では、生き物の特定の機能を持った部分を「器官」と呼びます。生き物全体で、その生物の特徴を調べるのではなく、人間は器官毎に分割して生物の働きを考えてきました。例えば、葉脈とか気孔とか、あるいは細胞内の葉緑体といったような器官を考えるわけです。器官について調べることで、その生き物全体の理解へつながると考えるわけです。

4. 時計

人間が作ったものである時計にも同じような考え方を適用できます。たとえば時計が壊れたときを考えてみましょう。皆さんはどのような分析をして、不具合を修正しようと思うでしょうか。

一つは部品です。部品一つ一つをチェックすることが最初だと思います。次は、部品の連結部分だと思います。歯車がうまくかみ合っているかをチェックすると思います。

この様にしてみると、問題を解くための小部分というのは、なにも一つの実体のある部分 (例えば部品) だけではなく、機能や相互の関係 (例えば部品の接合) で分割することも可能であるように思います。

時計の例で見たように、虫眼鏡で分割していくような方法以外にも方法があるとしたら、どのような分割の仕方があるでしょうか。

2.2 時間スケールで分ける

例えば気圧のデータについて考えてみましょう。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。朝永の言葉は、このデータには、そのままでは使えないように思うかもしれません。そこで、デカルトの教えに従って、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、ちょっと別の分け方を試してみます。

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のの、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。考えてみれば、地球には自転 (1日周期) と公転 (1年周期) といった異なる周期があるので、それに応じて変化していてもいいように思います。それでは、「ゆったりした」データと「ギザギザした」データを分割し、それぞれ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

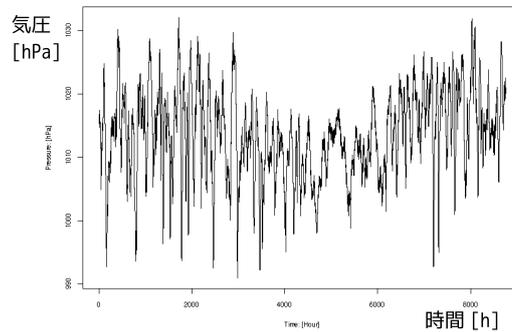
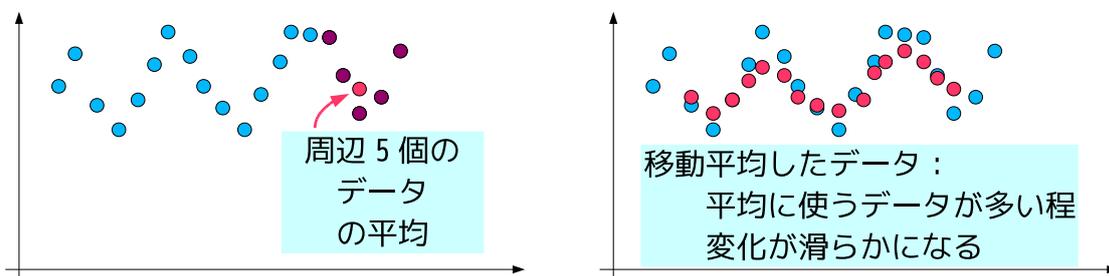


図 1: 気圧の 1 年間分の時間変化の例

は知っているかもしれませんが。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です。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、その平均値を求めます。このようにして得られた平均値が対応する時刻の移動平均した値です。これをすべての時刻について適用します。そうすることで、移動平均したデータが得られます。データを平均する範囲が移動するので、移動平均というのです。



試しに、気圧データに対して、30 日 (720 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 2 左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、図 2 右に示したようなデータが得られます。ゆったりした変化を取り除いたので、ゼロの周りでギザギザと気圧が変動するデータが得られます。そこで、同様に、今度は、このギザギザしたデータに約 1 週間 (168 時間) の移動平均をとってみましょう。すると、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、季節の中での変動 (例えば寒波とか熱波とか) に対応しそうなデータと、さらに余ったデータが得られます (図は省略)。さらに余ったデータは、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。これは、日々の天気を決める

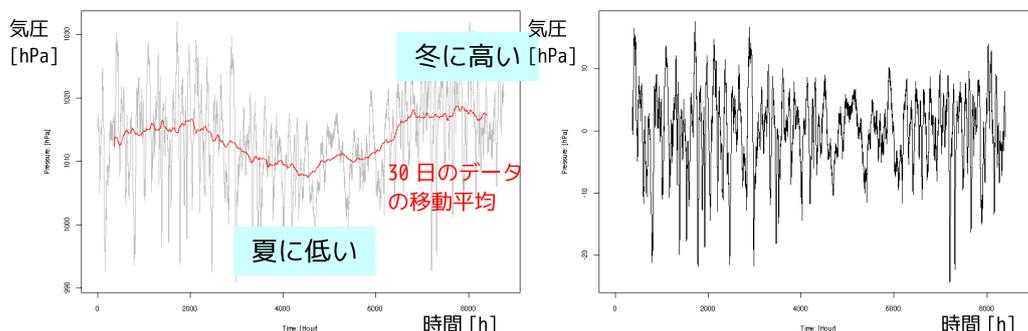
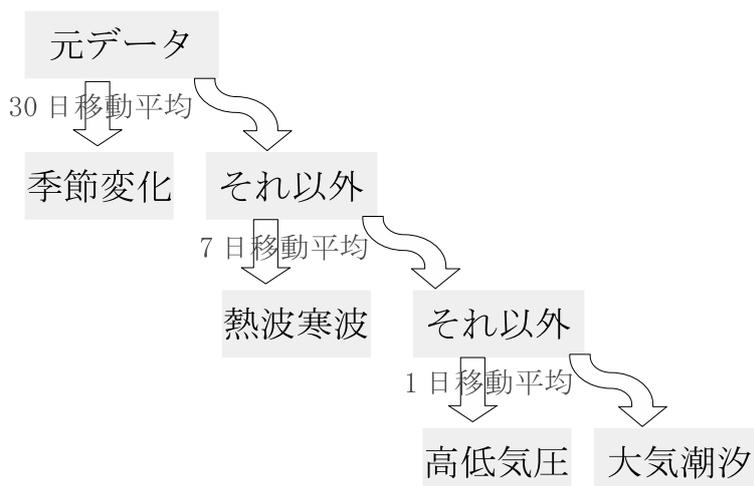


図 2: 左:気圧の1年間分の時間変化を30日移動平均したデータ 右:元のデータから30日移動平均したデータを差し引いたデータ

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。そこで、今度は、約1日(25時間)で移動平均をとってみましょう。すると、低気圧や高気圧の移動に対応すると考えられる気圧の変動が得られます。この変動の振れ幅は大きいので、移動平均をとっても、ほとんどデータが変わらないように見えます(図は省略)。それでも、これまでと同様に、差をとって残ったデータを考えることができます。そして、そのデータを部分的に拡大すると、ようになります。ところどころ、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(図は省略)。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。

▶ 2.2 時間スケールで分ける



2.3 画像データの例

今度は、画像の例です。

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、デジタル処理した画像で考えてみましょう。最初に、3枚の画像(写真)を用意します。その3枚の画像を、コンピュータ上で合成して、3枚の画像を作ります。この時、3種類の画像は、合成するときの元画像を混ぜる割合が異なっているものとしします。つまり、3種類の別の合成画像があると考えます(図3)。

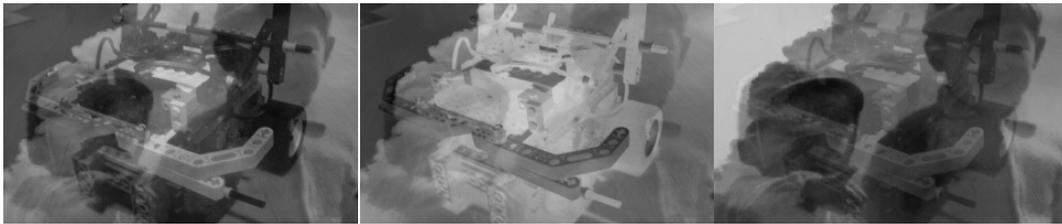


図 3: 合成された3つの画像

さて、これらの合成画像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、いろいろな現象が足し合わさっています。気圧データの場合には、時間的に異なる性質を持っていたために、それを使って、なんとか分離できたように思います。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数年ほどの間に、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、うまく分離できないものも、新しい方法だと、きれいに分離することができます。「独立成分分析」と呼ばれている新しい方法を使うと、合成された画像から、元の画像を推定することができます(図4)。



図 4: 独立成分分析によって合成画像から分離した画像。元の画像に近いと推察される

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、元の画像は、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。元の画像がデタラメではないと仮定し、デタラメさを尺度として、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。

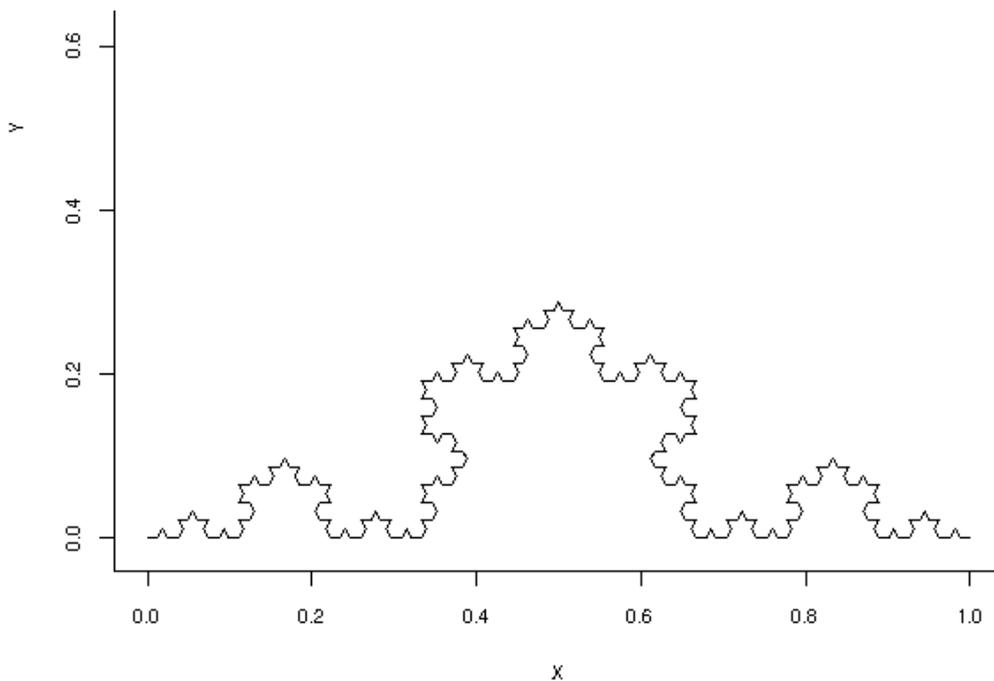
これまで見てきたように、分割すると一口に言っても、大きさ、機能、時間スケール、乱雑さ、といった様々な分割方法が駆使され、それぞれの手法を用いることで研究が発展してきました。

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本できることとなります。この操作を何度も繰り返し、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。



コッ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。このような自己相似という特徴を持つ図形はフラクタル図形と呼ばれています。

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のです。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、30年ほど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、自己相似（フラクタル）の性質を持っているものが多いとわかったからです。「単純で理解が容易であるもの」と「複雑で理解が難しいもの」のうち、「複雑で理解が難しいもの」の中には、フラクタルの性質として統一的に表現できることがわかったからです。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。山の輪郭も同じような性質を持っています。気象関係では、積雲の形や降水分布なども、自己相似的な性質を持っています。木の枝の張り方も自己相似的です。

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。それによって科学は大いに進展し、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、時間変動の性質で分類することもできますし、画像データの乱雑さ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。文字通りに細かく調べることは、意味がありません。別の考え方が必要です。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ものです。また、雲の形や、地震の震源分布や雨の分布などにも、細かく見ると大きなものと同様の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、生命科学などに比べると、地味ではありますが、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科学とは全く違う科学が大きく発展し、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。

4 課題

次の中から課題を一つ選んで発表してください。

1. 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なさい。

2. 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。
3. 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、他にどのようなものがフラクタルであると考えられるか、例を挙げなさい。
4. 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なさい。
5. その他、関連する話題について、自由にテーマを設定しても構いません。