

物理学の考え方と方法

目次

1. なぜ物理学を学習するか
2. 物理学的考え方, 発想法, 思考過程
3. 物理学的な方法
微分方程式としての物理法則, 閉じた系における保存則,
物理量の表し方, 次元解析, 等号の複数の意味
4. 参考(1)最近の話題から-複雑系における「べき乗則」
5. 参考(2)ビジネス界におけるアドバイスより
6. 参考(3)物理学の見方, 方法は思想全体, 他の学問にも影
響を与えていること.
7. 物理学における還元主義—その有効性と限界—

made by R. Okamoto, Emeritus Prof., Kyushu Inst. of Technology
Filename=physics-view-method20151006.ppt

1. なぜ物理学を学習するか

1.1 工学の専門科目を学ぶための自然科学的な基礎
基礎的な事実、基本法則と概念、発想法

1.2 危機管理としての物理学

例: 高速船の運航中は必ずシートベルト着用.

例: 落雷や感電から身を守る行動

例: 福島第一原発事故2011.3.11

例: 韓国, 珍島付近の海難事故2014.4.16

専門家も危機対応を間違える場合がある.

死活的な情報の把握と果敢な行動の有無が生死を分ける場合がある.

1.3 だまされないための科学的判断能力

例: 各種の詐欺に対する懐疑的態度の育成

1.4 ものごとの成り立ちや仕組みについての好奇心, 謎解きへの興味を高める.

1.2 自分と家族の命と健康を守るための科学的判断力 (リスク管理, 危機管理としての物理学)

「危機管理としての物理学

社会にも人生にも危機(ピンチ)はあります。生命を脅かすピンチの多くは物理的な現象です。交通事故は、ニュートン力学(とその応用である材料力学)です。飛行機の墜落や船の沈没もニュートン力学(とその応用である流体力学)です。津波や台風、地震、落雷、火山などの自然現象も、多くは物理学(地球物理学)で扱われます。家庭内の事故といえば子供のいたずらですが、落下や感電、窒息などは物理現象です。これらを事前に予防したり、対策したりするには、やはり物理学の考え方が重要です。家庭内で使われる電気製品は、事故が起きないように、メーカーが慎重に設計・検証して作られるので、普通はめったなことでは事故は起きません。しかし、それでも老朽化すると故障するし、事故が起こります。それを防ぐのは、個人の判断であり、管理です。それには機械の動作原理の理解、つまり物理学が必要です。」

出典

2009/10/30 奈佐原(西田)顕郎

http://ryuiki.agbi.tsukuba.ac.jp/~nishida/2STUDENT/why_phys.html

1.3だまされないための科学的判断能力

目前の現実をありのままには考えない態度や与えられた情報を鵜呑みにしない態度が大切

批判的思考 critical thinking
thinking in a different way

参考: ゼックミスタ, ジョンソン「クリティカルシンキング(入門編, 実践編)」北大路書房, 2004年.

1)他人がいうことを鵜呑みにせず, 進んで学んで理解し, すでに納得としていることとの整合性を確認しながら, 自らの知の質と量を高めていくというソクラテスが約2400年前にアテネの人々に, その必要性を説いた能力のことである.

2)批判的能力の養成は, 学ぶ対象があってはじめて可能になる. 教科の学習の中での, 必要な知識の十分な習得を抜きにして, 批判的な思考力の養成は不可能である.

詐欺の3または4法則(?):

- ①とてもわかりやすい印象を与える(単純明快性),
- ②科学的な装いをする(権威づけ)
- ③(あなただけに)お得感を与える(被選別性)
- ④早いがお得という印象を与える(さきがけ感)

1.4ものごとの成り立ちや仕組みについての好奇心, 謎解きへの興味を高めること

「必要は発明の母」か「**発明は必要の母**」か？

発明はどのようになされるか.

これについての一般的な答えは「必要は発明の母」という格言で表現される.
「必要は発明の母」で説明できる事例は多く, よく知られている.

しかし, われわれは著名な例に惑わされ, 「必要は発明の母」という錯覚に陥っている. ところが, 実際の多くは, 人間の好奇心の産物であって, 何か特定のものを作り出そうとして生み出されたわけではない.

発明をどのように応用するかは, 発明がなされた後に考え出されている.

功績が認められている有名な発明家とは, 必要な技術を社会がちょうど受け容れられるようになったときに, 既存の技術を改良して提供できた人であり, 有能な先駆者と有能な後継者に恵まれた人なのである.

ジャレド・ダイヤモンド「銃・病原菌・鉄(下)」草思社文庫, 2012年.

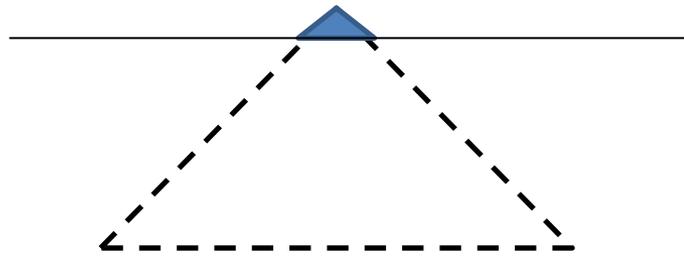
人類史にもっとも影響のあった科学技術の変遷を通じて歴史を理解しようとする試み.
13章「発明は必要の母である」より.

民生技術のハイテク製品が軍事目的に使用される例の増加:
産業用ロボット, 高性能カメラなど.

2. 物理学的考え方, 発想法, 思考過程

(まず, ニュートン力学を中心として説明する)

- 2.1) 現実を(必ずしも)ありのままに(直観的に)見ない!
←ほとんどの現象には多くの要因が関わる.



氷山の一角が見えている

- 2.2) 複雑な現象の中から, 鍵になる概念(物理量や運動の自由度)に着目し, モデル化する.

問題を具体的な解決が可能な形に切り取る(設定する)

R.M.クラウス「物理学者はマルがお好き」, 早川書房には, 生産の思わしくない酪農場にコンサルタントとして, 物理学者と工学者と心理学者の3人が招かれて, 物理学者は, 「まず, 牛を球と仮定します……」という導入部から始まっている.

例: 夜間に落し物をした場合, まず明るいところを徹底的に探す.

どのような問いを問うのか? What questions will we ask?

2.3) 設定された問題(モデル的運動)について,
数式で表現される(近似的)法則を発見し, それに基づいて数理的に,
および定量的に解析する. 解析結果を実験(観測)と比較する.
法則の信頼度(近似の精度)を評価する.

古代・中世の人々の疑問: 物体はなぜ落ちるか? Why

⇒一つの解答(解釈):

物体は本来あるべきところに向かう性質がある(と考えた).
本来あるべきところは宇宙の中心である. 宇宙の中心は地球で,
地球の中心は宇宙の中心である.

17世紀のガリレオ・ガリレイの問題設定: 物体はどのように落ちるか?

How, in which way

⇒加速度の発見, (空気抵抗を無視できれば) 全ての物体の落下加速度は同じである.

教訓:

つつましい目標を設定し, 設定された目標に対して, 曖昧さがなく,
客観的で, 定量的な方法で取り組み, 多大な成果が得られた.

ニュートンは

- 1) 現実の物質, 物体の中から, まず位置範囲に比べて, 自転や変形(振動)などが無視できる粒子(または質点)に理想化し,
- 2) さらに, その位置変化という最も単純な運動だけに目標を限定した.
- 3) ガリレイの発見した落下の法則を特殊例として含むように, より広い一般的な場合に視野を拡大して,

(粒子の外部から働く)力の大きさに比例して, その向きに運動状態の変化(加速度)が生じる
という法則(力と運動の法則)を発見した.

教訓: 一見, 非常に複雑と思われた力学現象が,
基本法則自体は質量×加速度=力という単純で,
複雑さは力の種類や初期条件によると理解することができた.

3. 物理学的方法

大きさだけを持つスカラー量の物理量と大きさと向き両方を持つベクトル量としての物理量を用いる。

次元解析 dimension analysis

物理量にはそれぞれ固有の次元があるので、
物理量の間方程式、公式において次元の関係は一義的に決まる

微分方程式としての法則—可能性の集合または必然性—

初期条件(境界条件)—偶然性—により特殊解(特定の運動)が決まるという
構造になっている。

閉じた系(孤立系)における保存法則:

力学的エネルギー—保存則, 運動量保存則, 電荷の保存則

R.P.ファインマン「物理法則はいかに発見されたか」, 岩波書店・岩波現代文庫,
2001年. この本の, 3章は「保存という名の大法則」となっている。

物理量の表し方

1) 物理量は一般に、英文字またはギリシャ文字で表され、明示的に表されなくとも、「数値」×「単位」という内容を意味する。印刷では斜体(イタリック、italic)で示されるので注意すること。

2) 単位(unit) 印刷では立体(ローマン、roman)で示されるので、注意すること。

国際単位系(SI)

長さの単位=メートル、m。 質量の単位=キログラム、kg。

時間の単位=秒、s。 電流の単位=アンペア、A。

温度の単位=ケルビン、K。

物質量の単位=モル、mol。

組み立て単位 速度の単位=m/s

力の単位=、ニュートン、N=kg m/s²

実用単位: 電力の単位=(ワット,W)=J/s。

電力量の単位=(キロワット時、kWh)= 3.6×10^6 J

3)次元(dimension)

長さ(length)をL、質量(mass)をM、時間(time)をTで表す。
空間の1次元、2次元、3次元という概念を拡張して、次元という。

力学における物理量の単位は、長さの単位m、質量の単位kg、時間の単位sの組み合わせで表される。例えば、ある物理量Yの単位が、 $m^a kg^b s^c$ (だとすると、記すと)の単位 $[L^a M^b T^c]$ をこの物理量Yの次元という。

例:速度の次元は $[LT^{-1}]$ 、力の次元は $[LMT^{-2}]$ である。

注意:

計算の途中や結果に出てくる数式、例えば、 $A=B$ の左辺Aと右辺Bの次元は常に同じでなければならない!

→計算結果の式の両辺の次元が同じかどうかを調べることは、計算結果が正しいかどうかの一つのチェックになる。

→次元解析(dimension analysis)

念のため:次元が異なる2つの量の乗除はできるが、加減はできない。

次元が同じ量の加減はできるが、異なった単位で表された2つの量の計算を行うには、換算して2つの単位をそろえる必要がある。

4) 有効数字または有効桁数(significant figure)

ある物理量を同じ条件で繰り返し測定すると、測定値にはばらつきがある。これらの測定値の平均値は、この物理量の最良推定値である。多くの場合、測定値は平均値のまわりにつりがね型の正規分布とよばれる分布を示す。このように、不確かさがあるので、平均値の桁数をむやみに多くしても意味がない。そこで意味のある数値を有効数字という。

測定値を $a \times 10^n$ と表すとき、 a として $1 \leq |a| < 10$ になるようにした有効数字を使う。

例: 0.01、3、1985を三桁の有効数字で、8.96を二桁の有効数字で表すと

0.01 → (有効数字三桁で) 0.010 または 1.00×10^{-2}

3 → (有効数字三桁で) 3.00

1985 → (有効数字三桁で) 1.99×10^3

8.96 → (有効数字二桁で) 9.0

等号などの意味を考える

等号「=」: 場合により次の意味のどれかになる。

(1) $A=B$; 両辺のA,Bの値が一致すること。

物理学などでは、左辺Aと右辺Bの次元は常に同じでなければならない。

(2) $A=B=B'$ 式の変形

例えば、次の「=」を見て下さい。

$$2 + 3 = 5$$

この場合の「=」は、左側の式とを変形すると右側の式になることを表しています。そして、その変形は誰がやっても(この場合足し算のやり方を知っている人なら誰でも)、同じ結果になります。

(3) $A=B$; Aの値としてBを代入すること。

代入記号(情報、コンピュータのプログラム文などでも使用される。)

(4) 関係式または法則。複数の物理量の組み合わせの間の関係式。

以下のケースのイコールを見て下さい。

$$2a + 3b = 0$$

aとbという未知数の間に満たされるべき関係式を意味しています。

(5) 定義式(\rightarrow 恒等式を意味する \equiv を用いる場合もある)

変数xのある関数 $f(x)=2x^2+3x+4$

(6) 二重波線 \approx は両辺の値が大体一近似的に、桁数が一致する一等しいという意味

(7) 定義式または等価式

3本イコール \equiv を使って、明示的に表すことも多い。

参考:

等号「=」に秘められた意味。

<http://ameblo.jp/tta33cc/entry-11356986368.html>

数式処理ソフトMaple入門(III)一式と変形一

<http://ist.ksc.kwansei.ac.jp/~nishitani/Lectures/Maple/SuperIntro/SuperIntro3.pdf>

関西学院大学理工学部 西谷滋人

等号の意味を問う

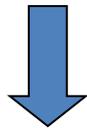
物理法則と定数、単位

質量 m 、 M の二つの物体が距離 r だけ離れている場合の、
重力(万有引力)の大きさ F

$$F = G \frac{mM}{r^2}$$

重力定数(万有引力定数)

$$G = 6.6742 \times 10^{-11} \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{(\text{kg})^2}$$



物理量は斜体(italic)で、単位は立体(roman)で記す。
同じ単位のものしか加減はできない。違う単位の物理量
でも割り算、掛け算はできる。

$$\left[\frac{F}{\text{N}} \right] = 6.6742 \times 10^{-11} \frac{\left[\frac{m}{\text{kg}} \right] \left[\frac{M}{\text{kg}} \right]}{\left[\frac{r}{\text{m}} \right]^2}$$

4. 参考(1)最近の話題から-複雑系における「べき乗則」

マーク・ブキャナン「歴史は『べき乗則』で動く」, 白揚社, 2009年.

この本には, 例えば, 地震には「前兆」も「周期」もない, 地震の規模と頻度の驚くべき関係-べき乗則の発見, 世界は見た目よりも単純で, 細部は重要ではない, など興味深い話題が多い.

マーク・ブキャナン「人は原子, 世界は物理法則で動く-社会物理学で読み解く人間行動」, 白揚社, 2009年. この本には例えば次のような内容がある.

p. 46: ケプラーは, ..., 背後に隠された単純性を見抜くことができた.

p.47: パターンから明らかになる規則性を...

p.64; 人間以外の世界と同じように, 人間の世界についてもパターンを 探すことを学び集団レベルで現れるパターンを理解する

p. 65: 構成要素間の相互作用が問題となる物質(凝縮物質)を対象とする「凝縮系」物理学と呼ばれる分野では, 自己組織化とパターンを中心に, 無限の可能性を秘めた世界を探っている.

p. 68: 社会の問題と物理学の問題とには大きな違いがある.

人間は変わるし, 適応もする.

それでも, ..., 決して本質的な違いがあるわけではない.

5. 参考(2)ビジネス界におけるアドバイスより

安宅和人氏(ヤフー執行役員)

・1%の課題に集中するイシュー設定思考

(前略)

知的生産の世界では「イシュー(issue)」にこだわらなければいけない。イシューとは、今この局面でケリをつけないといけない本質的課題のことだ。世の中で問題とされているものの98%は実はどうでもいいもので、残る2%のうち1%は重要だが、答えを出せない。

だから取り組むべきは、極めて重要かつ答えを出すことができる、たった1%の問題だけなのだ。

(後略)

週刊東洋経済, 2013年7月20日号, pp.38-40.

横山禎徳氏(社会システムデザイナー)

・現象と課題を区別せよ.

(前略)「少子高齢化」のように)こうした因果関係のない、まったく別の現象を一緒くたにして問題にすると、有効な答えを出すこともできなくなってしまう。つまり、いかに適切な課題設定をするかが答えの質を大きく左右するのだ。(後略)

週刊東洋経済, 2013年7月20日号, p.42.

6. 参考(3)物理学の見方, 方法は思想全体, 他の学問にも影響を与えていること.

小熊英二「社会を変えるには」, 講談社現代新書, 2013年.

この本の, pp. 275-295には, 次の小見出しのように, 興味深い説明がある. 数学と近代的主体, ニュートンと錬金術, 数式で書かれる本質の運動, 近代科学における公開と対話, 近代科学から政治思想へ, 契約で社会を作る.

M.B.ベーカー「言語のレシピー多様性に潜む普遍性を求めて」岩波現代文庫, 2003年.

この本には, 多くの言語が7つぐらいに分類され, あるスイッチがはいるとどれかに決まるように, 子どもが母国語を習得していくという, 言語理論の成果の一つが説得的に紹介されている.

7. 物理学における還元主義—有効性と限界—

還元主義とは、ごく少数の法則が、多くの事象を、矛盾なく説明することができるし、そのような法則が世の中にあるはずだ、という考え方です。

ある法則が見出されると、粘り強く、その正しさを、多くの実験事実と比較検証します。そして、この法則と矛盾する「例外」を見つけた場合、その例外を許容するのではなく、その例外をより深く説明することができて、なおかつ元の法則とも矛盾しないような、より包括的な法則を探そうと、粘り強く努力を続けます。

物理学の還元主義の特徴(1)法則は数学的に矛盾なく表現できるという考え方。

これはガリレオに始まり、ケプラーやニュートンによって発展・強化され、量子力学や相対性理論によって決定的になった考え方です。たとえ、人間の想像力が及ばない法則であっても、数学の整合性は崩れないだろうと数学の力を信じるのです。

物理学の還元主義の特徴(2)「オッカムの剃刀」という考え方

これは中世のオッカムという人の考え方に基づいている考え方です。

ものごとを説明する基本法則として、2つの候補があったとき、それらが同程度に有効であるなら、より単純なほうが正しい、という考え方です。これは必ずしも常に正しい考え方とは限りませんが、物理学(と多くの科学)は「無矛盾さ」の次に「単純さ」を求める傾向を持っています。

複雑系における還元主義の限界

還元主義は、実験的にコントロールがしやすい自然現象について、特に
行いやすいです。しかし、生態学や気象学、地理学などのように、野外の
現象に近づくと、雑多な要素が混入するために、還元主義の力は弱くなり
ます。そこで、自然現象を還元主義に照らして理解することを続けるのか、
それとも放棄するのか、それぞれの科学者が決めることとなります。物理
学的なアプローチを知っている科学者は、還元主義の力と限界をイメージ
し、自分なりの判断でその線を引きます。

この項は「奈佐原(西田)顕郎氏のホームページ
なぜ物理学を勉強するのか? 2009/10/30」

http://ryuiki.agbi.tsukuba.ac.jp/~nishida/2STUDENT/why_phys.html
に多くを負っています。

引用文献

[吉川02]吉川弘之「科学者の新しい役割」, 岩波書店, 2002年.

[小熊13]小熊英二「社会を変えるには」, 講談社現代新書, 2013年.

[クラウド]R.M.クラウド「物理学者はマルが好き」, 早川書房・ハヤカワ文庫, 2004年.

[Feynman01]R.P.ファインマン「物理法則はいかに発見されたか」, 岩波書店・岩波現代文庫, 2001年

[ブキャナン09-1] M.ブキャナン「歴史は『べき乗則』で動く」早川書房・ハヤカワ文庫, 2009年.

[ブキャナン09-2] マーク・ブキャナン「人は原子, 世界は物理法則で動く—社会物理学で読み解く人間行動」, 白揚社, 2009年.

[ベイカー] M.B.ベイカー「言語のレシピー多様性に潜む普遍性を求めて—」岩波現代文庫, 2003年.

奈佐原(西田)顕郎氏のホームページ

なぜ物理学を勉強するのか? 2009/10/30

http://ryuiki.agbi.tsukuba.ac.jp/~nishida/2STUDENT/why_phys.html