

現代物理学

第1回目

物理学とは？

“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，観察事実によりどこを求めつつ追求すること”

[-朝永振一郎「物理学とは何だろうか」](#)

“物理学は、自然現象について、できるだけ簡潔かつ普遍的な見方を見いだそう、という学問である。ここで、「普遍的」というのは、ひとつの見方が、非常に広い範囲の自然現象にあてはまる、ということである。”

[-東京大学 清水研究室のウェブサイト http://as2.c.u-tokyo.ac.jp/zentai-zou.html](http://as2.c.u-tokyo.ac.jp/zentai-zou.html)

“物理学（ぶつりがく、英: physics）は、自然科学の一分野である。自然界に見られる現象には、人間の恣意的な解釈に依らない普遍的な法則があると考え、自然界の現象とその性質を、物質とその間に働く相互作用によって理解すること（力学的理解）、および物質をより基本的な要素に還元して理解すること（原子論的理解）を目的とする。化学、生物学、地学などほかの自然科学に比べ数学との親和性が非常に強い。”

[-wikipedia 「物理学」 https://ja.wikipedia.org/wiki/物理学](https://ja.wikipedia.org/wiki/物理学)

科学哲学

- ★ 「科学」を理解しようとする試み
- ★ 科学的であるとはどういうことか？
 - ★ 科学の目的とは何か？「世界の真理を知る」こと？
 - ★ 科学の方法とは何か？
 - ★ 科学と非科学，科学と似非科学の境界は？
- ★ 折に触れ，「科学とは何か？」 「物理とは何か？」を考えることも大切

参考文献

- ★ 朝永振一郎 『物理学とは何だろうか？』 岩波新書
- ★ 中谷宇吉郎 『科学の方法』 岩波新書
- ★ 菊池誠 『科学と神秘のあいだ』 筑摩書房
- ★ 戸田山和久 『科学哲学の冒険』 NHK出版
- ★ 森田邦久 『理系人に役立つ科学哲学』 化学同人
- ★ 伊勢田哲治 『疑似科学と科学の哲学』 名古屋大学出版会

世界の真理

- ★ 我々は世界を支配する法則（神が定めた法則）の真の姿を知らない（おそらくは今後も知り得ない）
- ★ 自然界では，様々な要因が複雑に絡み合っている
- ★ 人間に可能なのは，自然現象のある側面を切り取ってきて，それを説明する法則（模型）を発見すること
- ★ 「目の前には手も触れられていない真理の大海原が横たわっている。だが私はその浜辺で貝殻を拾い集めているに過ぎない。」 by ニュートン

オッカムのカミソリ



- ★ 「何かを説明するのに，必要以上に多くのことを仮定するべきではない」
- ★ 同じ事柄を説明できる複数の仮説があった場合，より少ない仮定で説明できる仮説がよい仮説である。
- ★ 自然科学の場合，より高い精度の，よりシンプルな理論の構築を目指すべきという思想

普遍性の追求

- ★ 物理学の1つの特徴 「できるだけ**簡潔**でできるだけ**普遍的**な法則の追求」
- ★ より広い範囲で成り立つ法則を探す
- ★ 2つの方向性
 - ★ 構成要素に分割し，構成要素が従う法則を探す
 - ★ 非常に多数の粒子のふるまいを，平均的・統計的にあつかう

数学と物理

- ★ 数学と物理は何が違うか？
- ★ 何故数学を利用するか？
 - ★ 論理の不明瞭さを最小限におさえるため
 - ★ 定量的な議論を可能にするため
 - ★ 隠れた法則性を発見するため

“Il libro della natura scritto in lingua mathematica”

数式を味わう

次の数式からわかること，気づいたことを書き出してみよう

運動方程式

$$\vec{F} = m\vec{a}$$

最低30項目くらい書き出してみることにしよう

物理学の基礎分野概観

力学

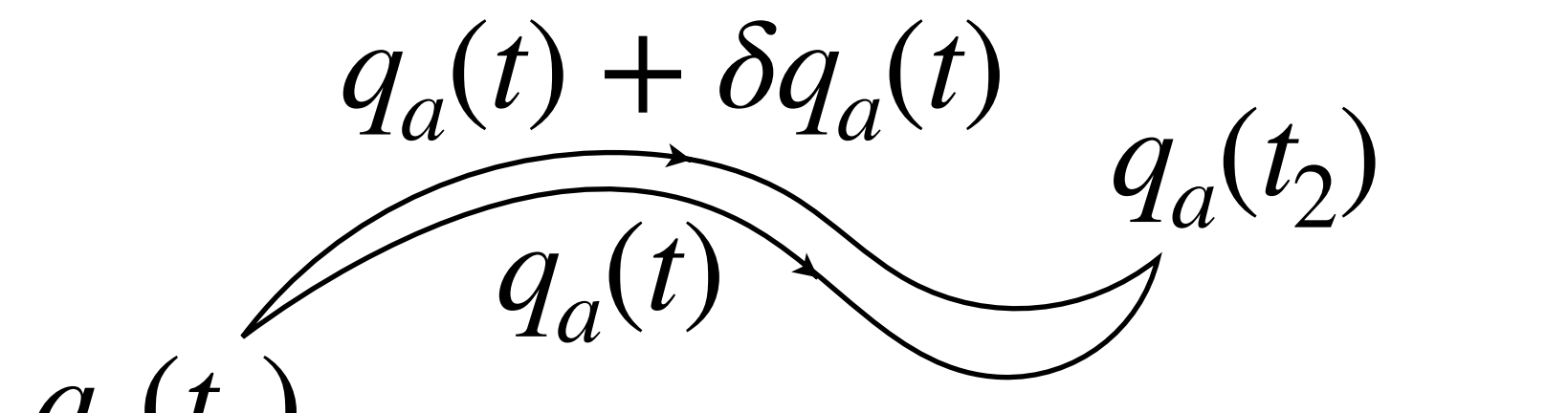
- ★ 「力」の定義，**運動方程式**
- ★ 「仕事」と「エネルギー」
- ★ 解析力学
 - ★ 数学は思考の経済
 - ★ **最小作用の原理** 極めて普遍的で強力なツール
 - ★ 理論を作る=対応するラグランジアンを書く

最小作用の原理

物体の運動は作用が極値をとるような経路をたどる

作用とは $S[q_a] = \int_{t_1}^{t_2} L(q_a, \dot{q}_a, t) dt$ のような積分

時間微分
座標
ラグランジアンという関数


$$\delta S[q_a] = \int_{t_1}^{t_2} L(q_a + \delta q_a, \dot{q}_a + \delta \dot{q}_a, t) dt - \int_{t_1}^{t_2} L(q_a, \dot{q}_a, t) dt = 0$$

が成り立つような経路をたどる。

物理の法則を最も短く表現したもの

実は、電磁気、一般相対論から量子力学、素粒子物理にまで適用できる！

Lenny was frustrated — not a good sign considering his size and strength — and his head hurt. “George, I can’t remember all this stuff! Force, masses, Newton’s equations, momentum, energy. You told me that I didn’t need to memorise stuff to do physics. Can’t you make it just one thing to remember?” “Okay, Lenny. Calm down. I’ll make it simple. All you have to remember is that the action is always stationary.”

Leonard Susskind, “The theoretical minimum” より

例：ある運動

$$L(q(t), \dot{q}(t)) = \frac{m}{2} \dot{q}(t)^2 - \frac{k}{2} q(t)^2 \quad \rightarrow \quad S[q(t)] = \int dt L(q(t), \dot{q}(t))$$

q(t)の形を少し変えたらどうなるか？

$$\begin{aligned} \delta S[q] &= \int dt \{ L(q + \delta q, \dot{q} + \delta \dot{q}) - L(q, \dot{q}) \} & \delta \dot{q} &= \frac{d\delta q}{dt} \\ L(q + \delta q, \dot{q} + \delta \dot{q}) &= \frac{m}{2} \left\{ \frac{d}{dt} (q + \delta q) \right\}^2 - \frac{k}{2} (q + \delta q)^2 \\ &= \frac{m}{2} (\dot{q}^2 + 2\dot{q}\delta\dot{q} + (\delta\dot{q})^2) - \frac{k}{2} (q^2 + 2q\delta q + (\delta q)^2) \\ &\simeq \frac{m}{2} (\dot{q}^2 + 2\dot{q}\delta\dot{q}) - \frac{k}{2} (q^2 + 2q\delta q) \\ \delta S[q] &= \int dt \left\{ m\dot{q} \frac{d}{dt} (\delta q) - kq\delta q \right\} = \int dt (-m\ddot{q} - kq) \delta q + \boxed{[m\dot{q}\delta q]_{t_1}^{t_2}} \quad 0 \end{aligned}$$

例：ある運動

$$\delta S[q] = \int dt (-m\ddot{q} - kq) \delta q$$

Sが最小 \longrightarrow $q(t)$ の形を微小に変えてもSは変化しない ($\delta S = 0$)

すなわち $m\ddot{q} + kq = 0$

これは何？

$$m \frac{d^2 q}{dt^2} = -kq \quad \text{単振動の運動方程式}$$

$$L(q(t), \dot{q}(t)) = \frac{m}{2} \dot{q}(t)^2 - \frac{k}{2} q(t)^2 \leftarrow \text{単振動の系のラグランジアン}$$

電磁気学

- ★ 電磁気現象を記述する理論体系
- ★ 電場と磁場の法則
- ★ 基礎方程式としてのマクスウェル方程式
(電磁場の方程式)
- ★ 電磁波の発見により確立した

熱統計力学

- ★ 熱力学：マクロな観点で記述された物理法則
- ★ 完全にマクロな理論体系である熱力学に対し，ミクロな観点からの基礎づけをあたえるのが統計力学
- ★ 非平衡系の統計力学など，まだまだ最先端の研究対象

量子力学

- ★ ミクロな世界を記述する物理法則
- ★ 波動関数のふるまいを記述するシュレディンガー方程式が基礎方程式
- ★ 波動関数の解釈
- ★ 量子力学に特有の現象（トンネル効果，ニュートリノ振動，…）

この授業でやること

★ 現代物理をささえる次の2つの概念について学ぶ

★ 「場」について → 主に「電磁気学」の先どり

★ 物理法則の変換性について → 相対性理論