

自然科学の歩き方

第1回目

この講義について

- ★ 出席点はありません（教室にいるだけでは1点にもならない。いなくても減点されない。）
- ★ （ほぼ）毎回の授業内で演習課題があります。
 - ★ ただし，この課題の提出は不要
- ★ 講義資料はWebで公開予定
 - ★ <http://www.ns.kogakuin.ac.jp/~ft13245/lecture/2019/BasicSci/>
- ★ 成績評価は期末レポートによる

持ち物

★ グラフ用紙

- ★ 2枚配布します。毎回忘れずに持ってくること。
- ★ 無くしたら各自で購入すること。

★ 計算機

- ★ 数値データを扱うので、計算機は必要です。
- ★ できたら、関数電卓を用意しておきましょう。

この講義の目標

- ★ データをどう解釈するか
 - ★ 自然科学で重要なものは「実験データ」
 - ★ データは適切に扱われてこそ価値を発揮
- ★ 実験レポートの基本的な書き方を学ぶ
 - ★ 実験の授業でより実践的な学びを

「自然科学」について

★ 自然を相手にする

★ 観察することが重要

★ うまい切り口で対象を斬っていくことが必要（実験，観測）

★ 数学を道具として使う

「自然は数学の言語で記述されている」

★ 自然界の特徴を，「数字」で表してみる

★ データをうまく説明できる仮説を考える

★ 様々な方法を用いて，この仮説を検証する

科学的方法

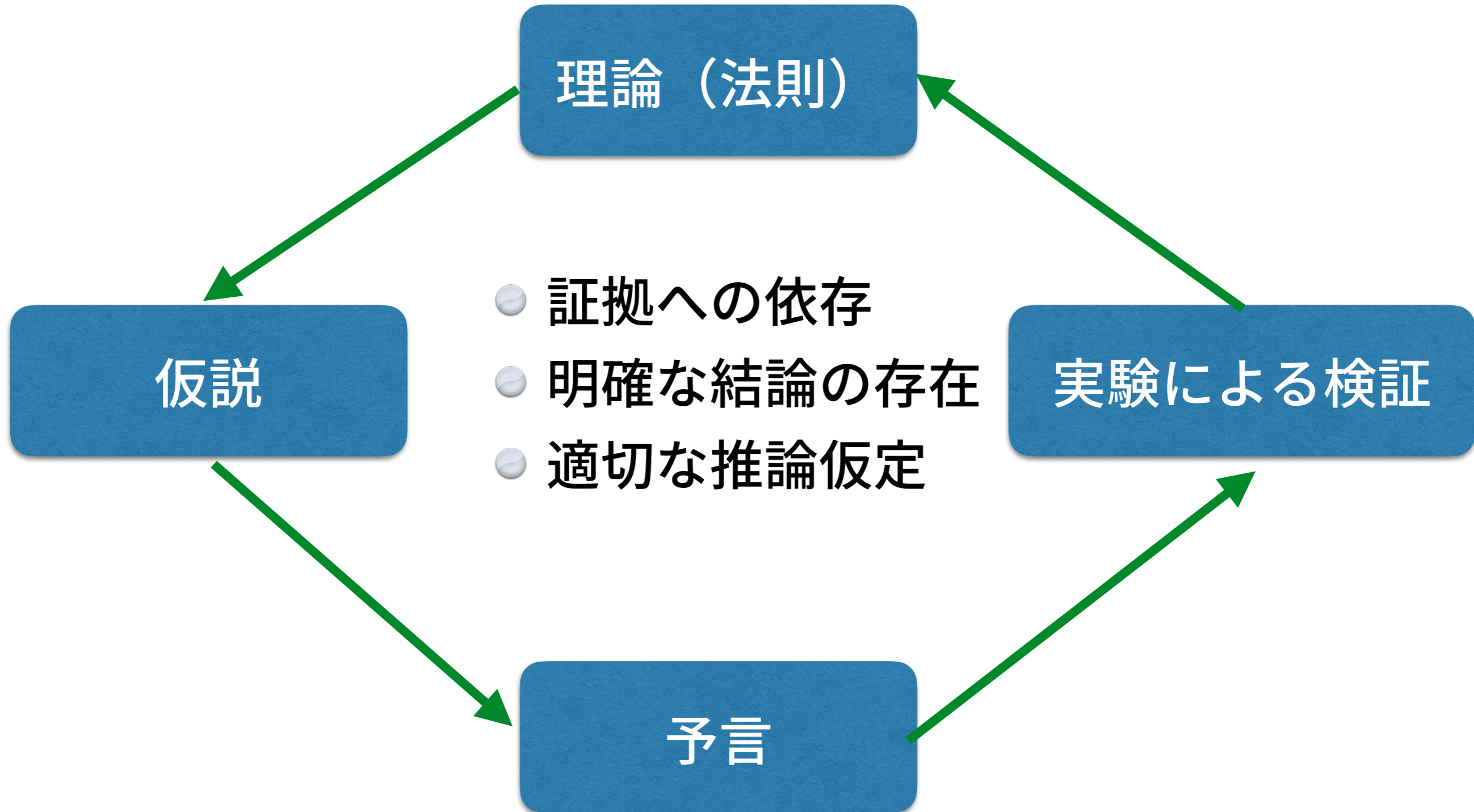
理論 (法則)

仮説

実験による検証

予言

- 証拠への依存
- 明確な結論の存在
- 適切な推論仮定



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

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？」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

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

数学と科学

- ★ 数学と科学の違いは？
- ★ なぜ自然科学では数学を利用するのか？
- ★ 数学をうまく利用するために必要なことは何だろうか？

数学を使うメリット

- ★ 数学は高度に抽象化された道具
- ★ 誰がやっても，同じ方法を使えば同じ結果が得られる
 - ★ 結果の解釈の問題が発生する場合も…
- ★ 数学を適切に使うことで，目に見えている現象の背後に隠された法則性を発見することが可能になる

数学の定理の例

3角形の内角の和は2直角（ 180° ）である

数学の定理の例

3角形の内角の和は2直角（ 180° ）である

暗黙の前提条件

1. 2つの点は直線でつなぐことができる
2. 有限な直線はどこまでも延長できる
3. 任意の点Pと距離 r に対し、そのPを中心とする半径 r の円を描ける
4. 直角は全て等しい
5. 1本の直線が2本の直線と交わり、同じ側の内角の和が2直角(180°)より小さい時に2本の直線を延長すると、この側でいずれ交わる。

自然科学の法則の例

落体運動における力学的エネルギー保存則

空気抵抗が無視できる場合，重力の影響によって物体が落下する際の運動エネルギーと位置エネルギーの和（力学的エネルギー）は変化しない。

$$\frac{1}{2}mv_1^2 + mgh_1 = \frac{1}{2}mv_2^2 + mgh_2$$

自然科学の法則の例

落体運動における力学的エネルギー保存則

空気抵抗が無視できる場合，重力の影響によって物体が落下する際の運動エネルギーと位置エネルギーの和（力学的エネルギー）は変化しない。

$$\frac{1}{2}mv_1^2 + mgh_1 = \frac{1}{2}mv_2^2 + mgh_2$$

前提条件がとても重要

前提条件がゆるい（普遍的に成り立つ）法則の方が偉い

歴史に学んでみる

- ★ 太陽，月，星は毎日東から昇って，西に沈んでいく
- ★ 惑星の位置のデータを詳しく調べると，地球を中心とする円運動ではうまく説明できない
- ★ 周転円 v.s. 地動説
- ★ ケプラーの法則による説明
- ★ ニュートンによる万有引力の発見

データの蓄積，解析，仮説の検証が重要な役割

この授業のテーマ

★ データの扱い方を学ぶ

★ 通常，実験や観察から得られるデータは大量にある

★ 適切に扱わないと，宝の持ち腐れになる

★ いかにデータを整理して，人間に理解できる情報を引き出していくか



データの扱い

★ データとは

★ 大量の数値（の組）の集まり

★ 単に数値だけ眺めていても…

★ データを理解する

★ 視覚化するのが一番わかりやすい

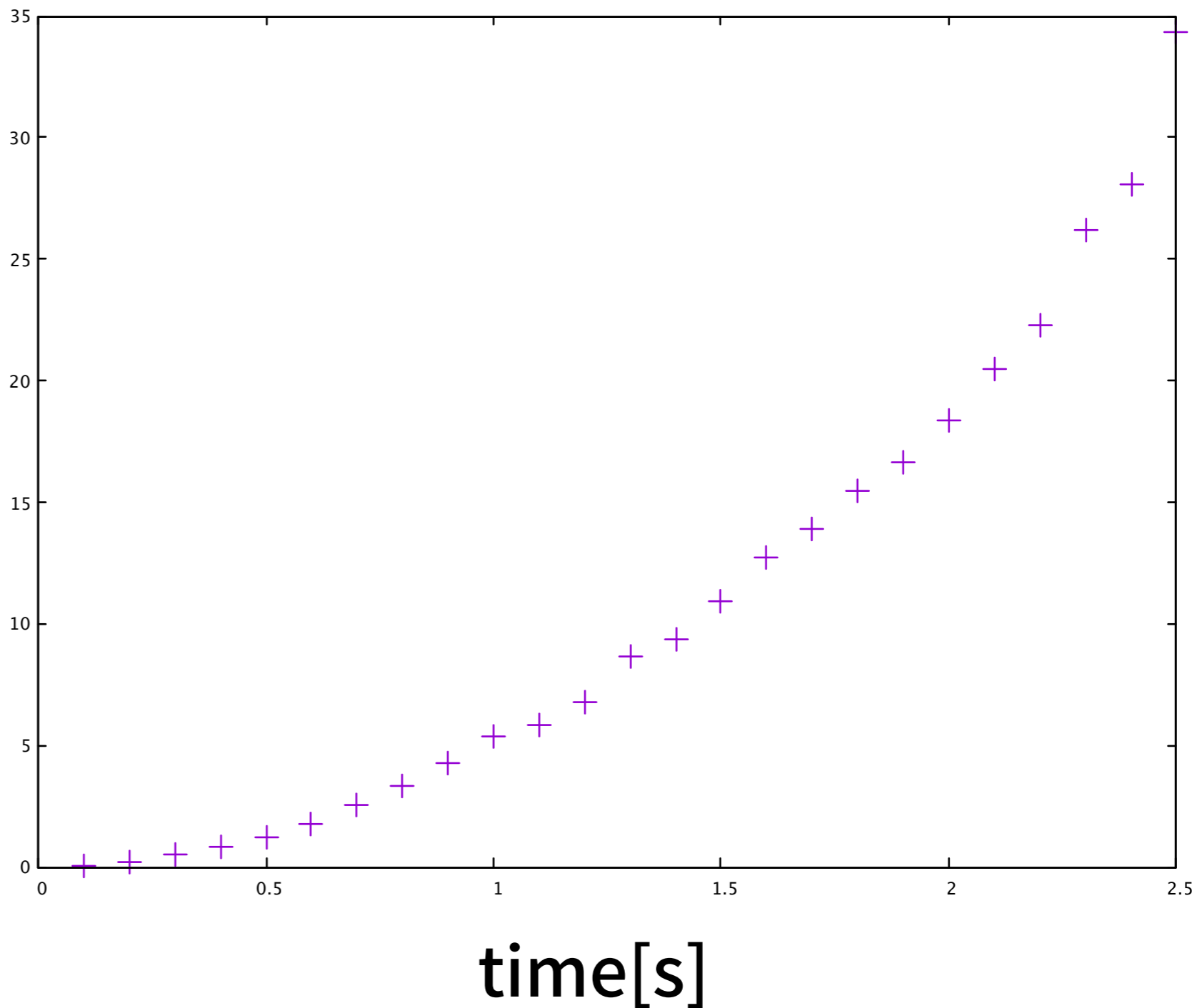
★ 身近な可視化の手段：グラフにする

グラフ

0.1	0.04489676
0.2	0.189470711
0.3	0.490589771
0.4	0.820510313
0.5	1.233665083
0.6	1.736054007
0.7	2.555101693
0.8	3.34782492
0.9	4.295527
1	5.379276944
1.1	5.856302824
1.2	6.77165814
1.3	8.643716257
1.4	9.356623865
1.5	10.93317719
1.6	12.71661864
1.7	13.92238906
1.8	15.47305281
1.9	16.6283363
2	18.40562245
2.1	20.46407753
2.2	22.24992304
2.3	26.20758459
2.4	28.08429792
2.5	34.3373172

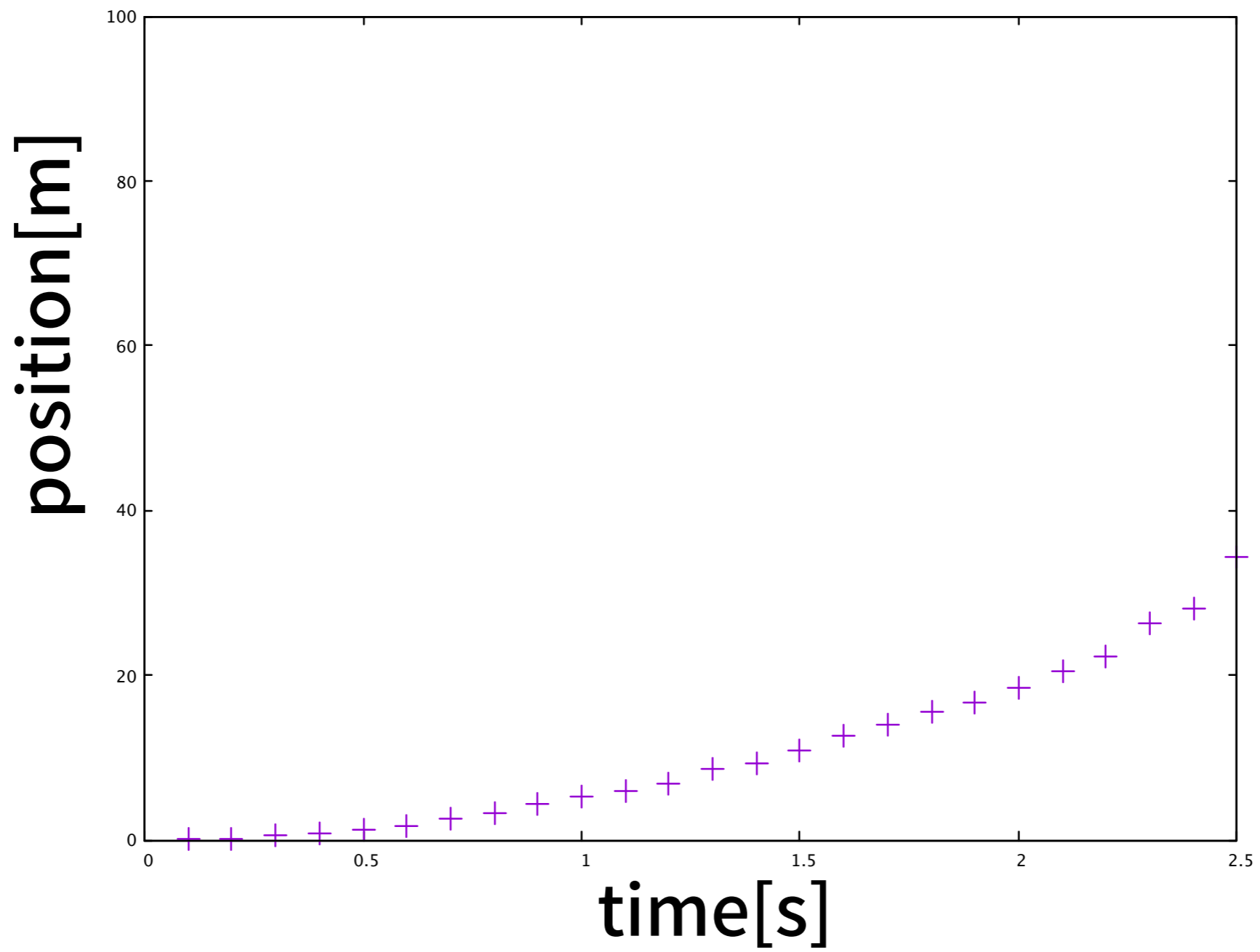


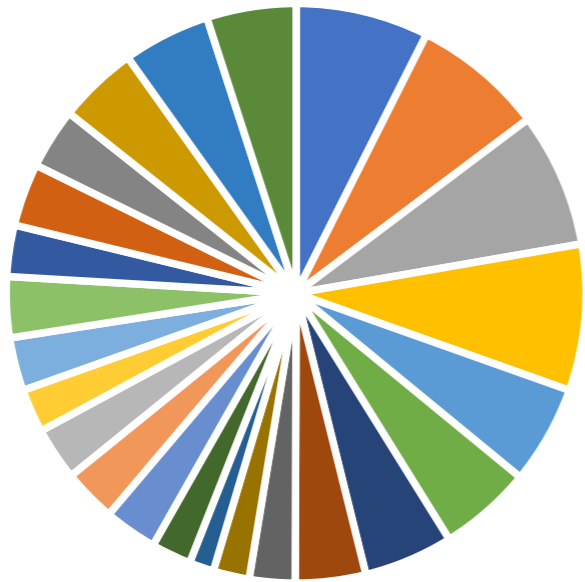
position[m]



グラフを描くときに重要なこと

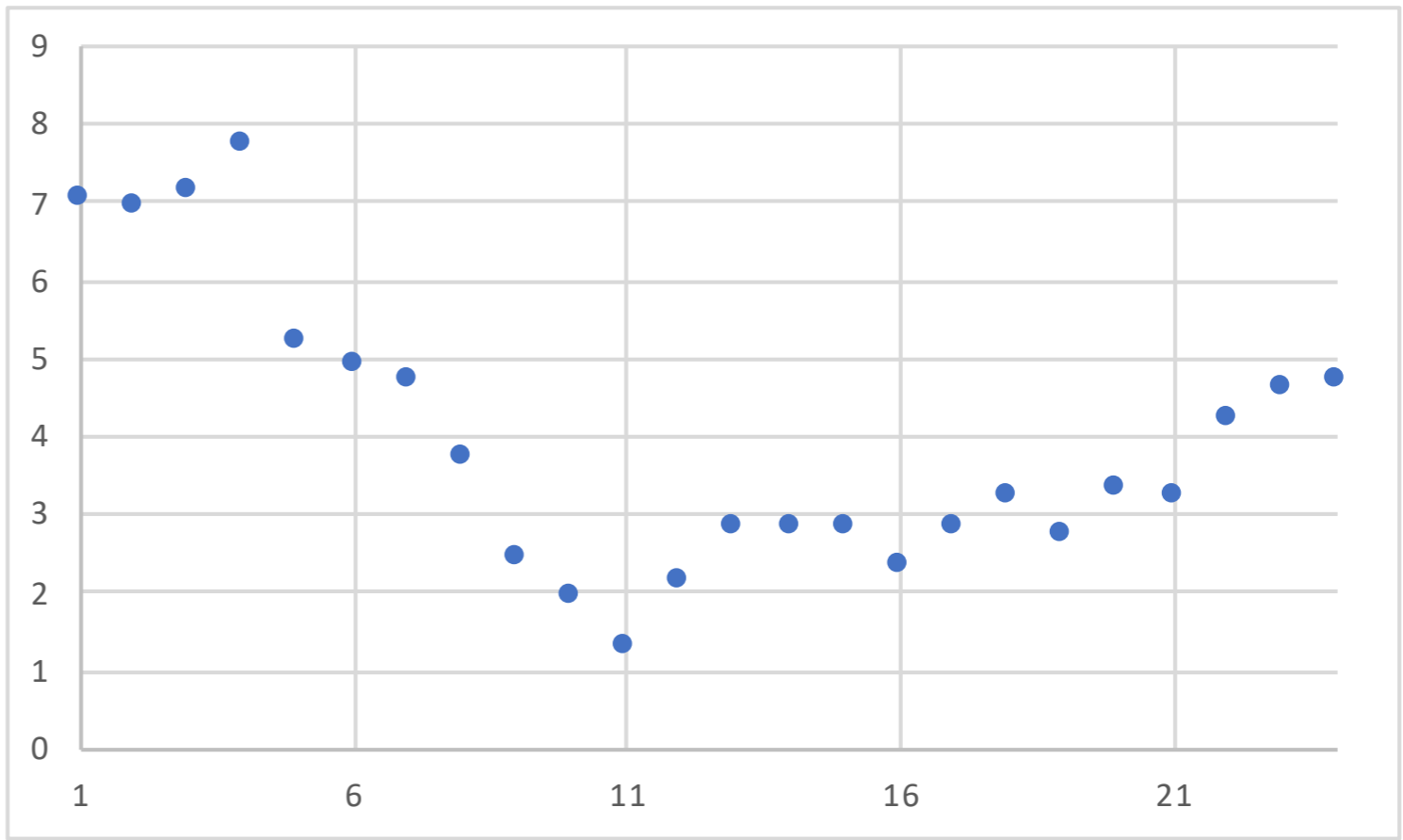
- ★ 縦軸，横軸が何を表しているかを，**単位をつけて示す**
- ★ 縦軸，横軸の目盛り，ゼロの位置を明示する
- ★ 軸の線はまっすぐ描く
- ★ 測定データの点はわかりやすく示す
- ★ 必要な領域が適切に描かれるよう，縦軸や横軸の目盛りの範囲や間隔を設定する





- 1 ■ 2 ■ 3 ■ 4 ■ 5 ■ 6 ■ 7 ■ 8 ■ 9 ■ 10 ■ 11 ■ 12
- 13 ■ 14 ■ 15 ■ 16 ■ 17 ■ 18 ■ 19 ■ 20 ■ 21 ■ 22 ■ 23 ■ 24

気温[°C]



時間[時]

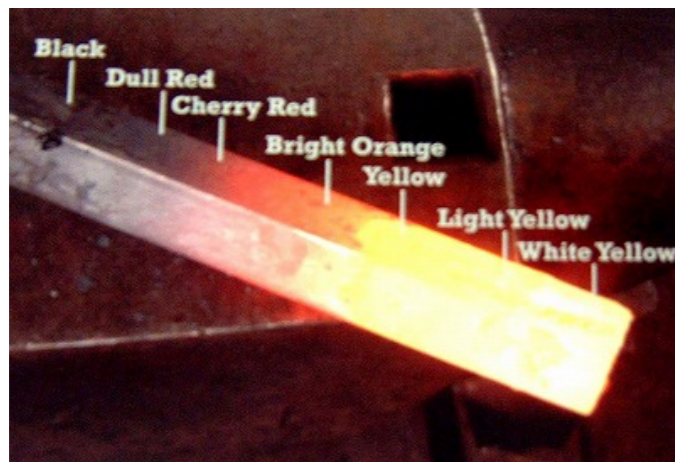
おまけの話：黒体輻射

物体を構成する原子や分子は温度に応じて熱的に振動



物体は温度で決まる**特有の電磁波を放射**

例: 鉄を熱する



低温

赤

橙色

白っぽく
なる

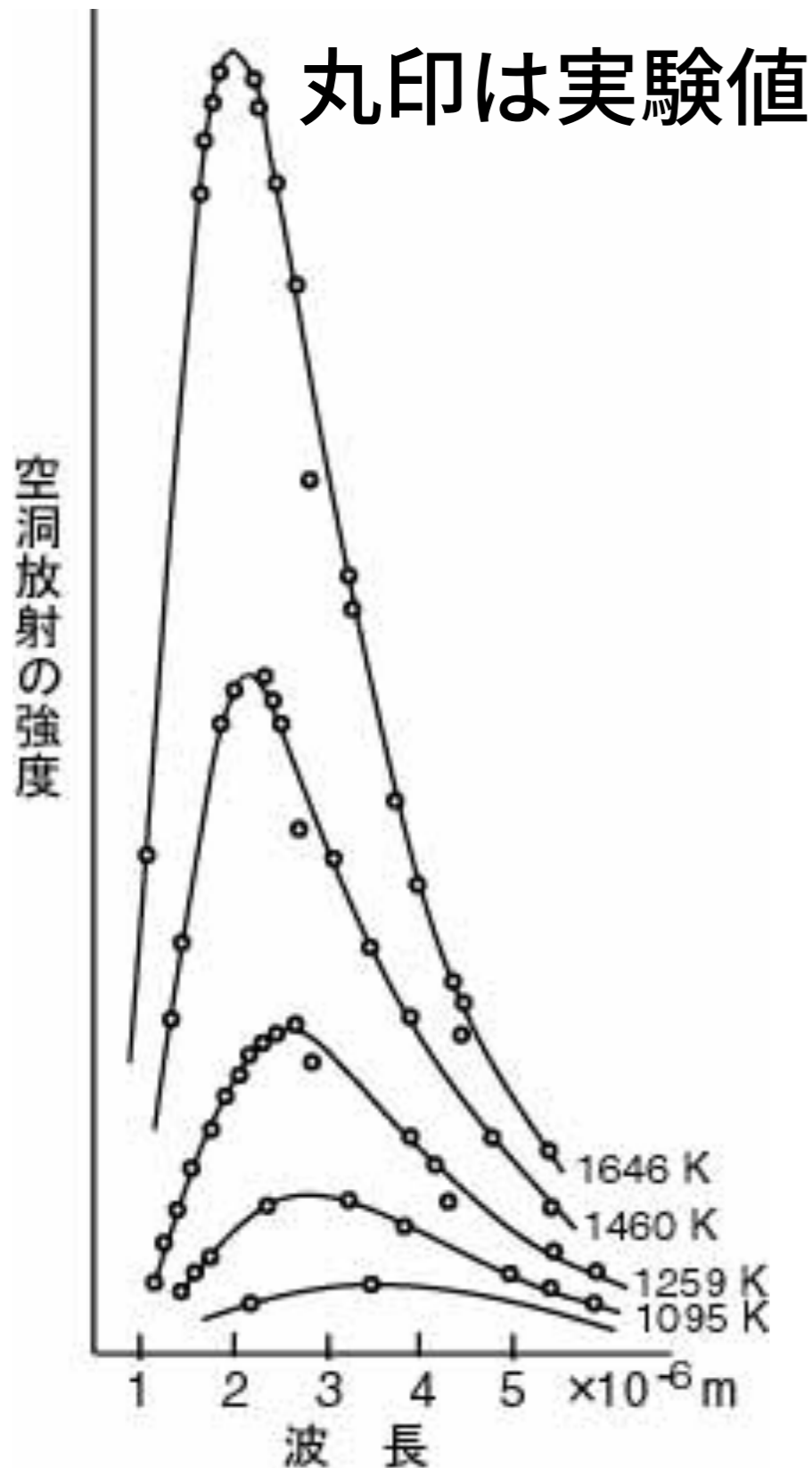
高温

阿蘇ものづくり学校のサイトより

壁が**温度 T** の黒体でできている箱（空洞）を考える

空洞内の光のスペクトルは、 T のみに依存し、壁の物質、空洞の形、大きさと全く無関係に決まる（キルヒホッフの法則）。

黒体輻射とエネルギー量子



$$u(T, \lambda) = \frac{8\pi hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{\exp\left(\frac{hc}{\lambda k_B T}\right) - 1}$$

$$h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ m}^2 \text{ kg} / \text{s}$$

$$c = 2.998 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$k_B = 1.38064852 \times 10^{-23} \text{ m}^2 \text{ kg s}^{-2} \text{ K}^{-1}$$

この形は輻射エネルギーが量子化されることを示唆している

エネルギーは、連続量ではなく、振動数 ν の輻射エネルギーは $h\nu$ の整数倍しかとることができない。

エネルギー量子

仮説：

エネルギーは、連続量ではなく、振動数 ν の輻射エネルギーは $h\nu$ の整数倍しかとることができない。

この仮説とボルツマンの分布則により、1つの振動数 ν の状態について、エネルギーの平均値は

$$\langle E \rangle = \frac{\sum_{n=0}^{\infty} nh\nu e^{-nh\nu/k_B T}}{\sum_{n=0}^{\infty} e^{-nh\nu/k_B T}}$$

分子分母の和の部分を実行すると、

$$\langle E \rangle = \frac{h\nu}{e^{h\nu/k_B T} - 1}$$

これに、 ν と $\nu+d\nu$ の間にある振動数の状態数をかけると $u(\nu, T)d\nu$ になるので、そこから $u(\nu, T)$ がとまる。

実際やってみよう

★ 2つの量の間の関係を見つけてみる

★ A,Bの2つの量に注目し，Aを変化させたときにBがどう変化するかを調べる。

★ 表を利用してみる

ある電気抵抗を流れる電流と電圧の例

V[V]	1.50	3.00	4.50	6.00	7.50	9.00
I[A]	5.64×10^{-2}	1.12×10^{-1}	1.86×10^{-1}	2.22×10^{-1}	3.25×10^{-1}	3.32×10^{-1}

この表から何がわかるか？

さらに詳しく

- ★ 先ほどの表で、電圧を増やせば電流が増えることがわかる
- ★ もう少し正確にこの2つの量の関係を表せないか？
 - ★ どのくらい電圧を増やせば、どのくらい電流が増えるか？
 - ★ データのグラフ化が有用である
 - ★ 視覚的な表現は人間にとって理解しやすい

演習問題

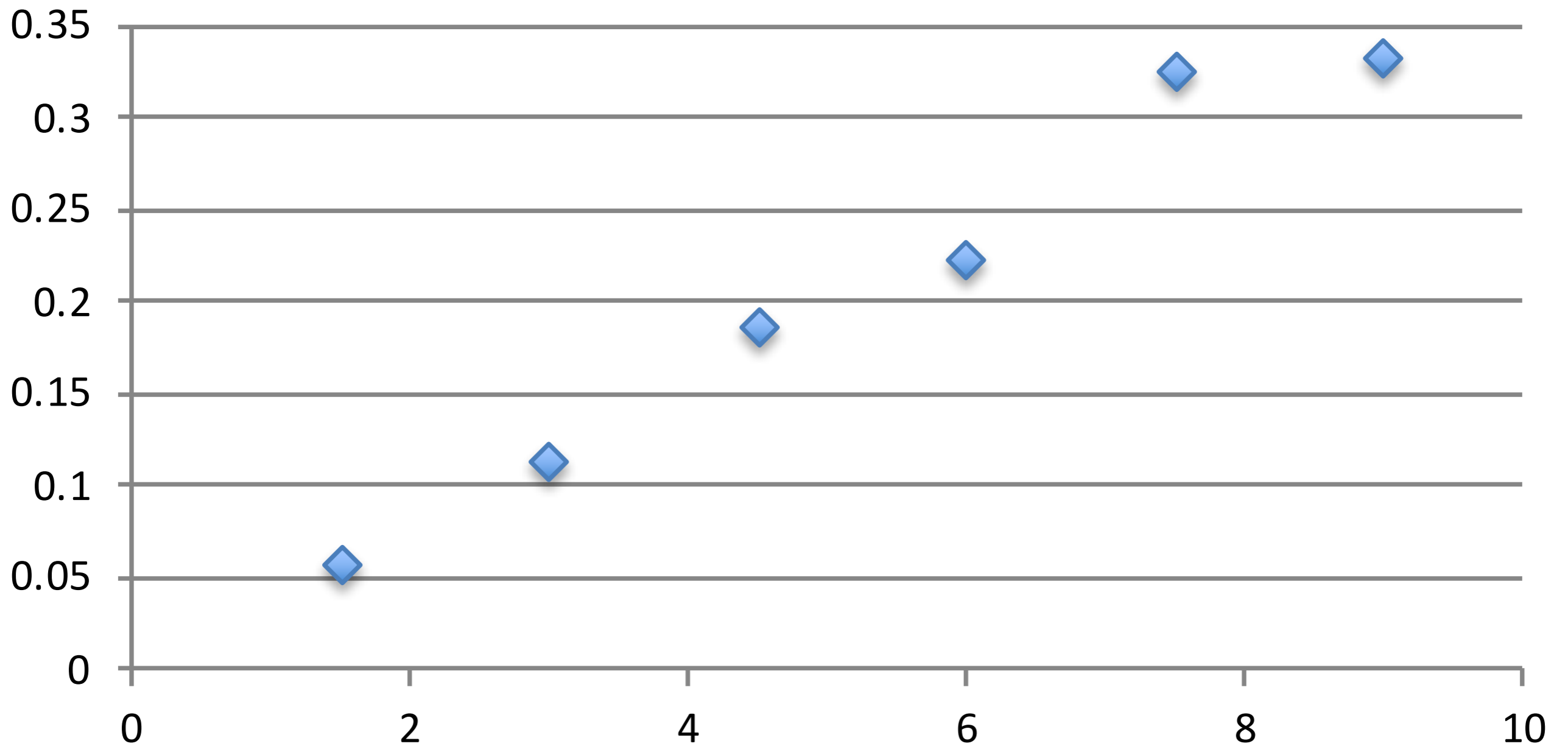
以下のデータは，ある電気抵抗に電圧 $V[V]$ をかけた時に流れる電流 $I[A]$ の値を測定したものである。このデータを，横軸に V ，縦軸に I をとったグラフに表せ。

ある電気抵抗を流れる電流と電圧の例

$V[V]$	1.50	3.00	4.50	6.00	7.50	9.00
$I[A]$	5.64×10^{-2}	1.12×10^{-1}	1.86×10^{-1}	2.22×10^{-1}	3.25×10^{-1}	3.32×10^{-1}

この課題で作成したグラフは次回以降も使うので，各自保管しておくこと。

電流[A]



電圧[V]

関数とグラフ

- ★ これまでの学習にグラフが登場したであろう場面
 - ★ 数学で登場する「関数のグラフ」
 - ★ 理科関係科目で登場する，物理量間の関係を示すグラフ
- ★ どちらも基本的には同じもの
- ★ 関数とは何か？

関数とは何か？

- ★ 入力に対して、ある出力を返すものを関数という
入力と出力との対応関係のこと。
- ★ 例： $1 \rightarrow 1$, $2 \rightarrow 4$, $3 \rightarrow 9$, $4 \rightarrow 16$, $5 \rightarrow 25$, $6 \rightarrow 36$
- ★ 自然科学では、これが2つの物理量間の関係になるだけのこと。
- ★ 例「電圧の値を変えながら、電流の値を調べて、電圧と電流の関係を見つける」
→ 「電圧の値を独立変数とし、電流の値を従属変数とするような関数の形を調べる」

自然を理解するために、グラフ

グラフの読み方

- ★ 数学のグラフは数学的関数の性質を表現している
 - ★ 1次関数→直線，2次関数→放物線，など
- ★ 自然科学におけるグラフは，現実の測定値（やそれに関係する何か）の関係という具体的な意味をもつ
- ★ グラフのふるまいを見て，具体的な現象を思い描けるかどうか**重要**→意識してグラフを読む訓練が必要

練習

次のグラフは、ある物体の時刻 t における位置 x を表したものである。

これらの運動がどんな運動なのか説明せよ。

