

「物理量と人体」(続き) 「力と身体バランス」

上野一磨

k.ueno@eng.t-kougei.ac.jp

2025年4月21日

本日の内容

授業計画	
回数	内容
第1回	第1章【物理量と人体】
第2回	第2章【力と身体バランス】1
第3回	第2章【力と身体バランス】2
第4回	第3章【運動モデルとスポーツ】1
第5回	第3章【運動モデルとスポーツ】2
第6回	第4章【熱とエネルギー代謝】1
第7回	第4章【熱とエネルギー代謝】2
第8回	第5章【圧力と循環】1
第9回	第5章【圧力と循環】2
第10回	第6章【音と聴覚】
第11回	第7章【光と視覚】
第12回	第8章【電磁気学と神経・興奮伝導】1
第13回	第8章【電磁気学と神経・興奮伝導】2
第14回	第9章【波と画像診断】
第15回	第10章【放射線と人体】

第1章 物理量と人体

1.1 物理量と人体

1.2 物理モデルと解析

第2章 力と身体バランス

2.1 静力学の基礎

2.2 力と身体バランス

2.3 骨・関節・筋肉

第3章 運動モデルとスポーツ

3.1 動力学の基礎

3.2 歩行・ランニング・跳躍

3.3 衝突・球技

3.4 水泳

第4章 熱とエネルギー代謝

4.1 熱とエネルギーの基礎

4.2 体温

4.3 人体における熱産生

4.4 人体における熱放散

第5章 圧力と循環・呼吸

5.1 圧力・流れの基礎

5.2 血液循環

5.3 呼吸

5.4 圧力差を利用した医療機器

第6章 音と聴覚・発声

6.1 音の性質

6.2 耳と聴覚

6.3 発声

6.4 音を利用した機器

第7章 光と視覚

7.1 光の性質

7.2 眼と屈折

7.3 眼と明るさ・色

7.4 光を利用した機器

第8章 電磁気と神経・興奮伝導

8.1 電磁気の基礎

8.2 神経系の電氣的性質

8.3 心電図

8.4 生体と電磁気

第9章 波と画像診断

9.1 波と画像化の基礎

9.2 超音波

9.3 X線

9.4 γ 線と核医学

9.5 電波と磁気共鳴 (MRI)

9.6 赤外線

9.7 電子線と電子顕微鏡

第10章 放射線と人体

10.1 放射線の基礎

10.2 人体への影響

10.3 放射線治療



DOCUMENTS

授業用WEBサイト



<https://www.ueno-lab.jp/物理学/>

到達目標との関係

1. 力の性質を理解して**人体の動き**を調べることができる。
2. 電磁気、波動現象の基本を理解して、
測定器の動作原理を理解できる。
3. 単純化して物事を見ることができる。
4. 簡単なモデル構築をできる。
5. 因果関係を捉えることができる。

理系大学では、これらを**定量的**に扱う。

「物理量と人体」(続き)

人間の状態を数値で表すための量と単位

表 人体にまつわる物理量と一般的な物理量の比較

物理量	一般的に使用する単位	物理量	単位(SI単位)
身長	センチメートル [cm]	長さ	メートル [m]
体重	キログラム [kg]	質量	キログラム [kg]
血圧	ミリメートルエイチジー [mmHg] (1mmHg = 133Pa)	圧力	パスカル [Pa] (= [N/m ²]) (1気圧 = 1013hPa)
体温	度 [°C]	温度	ケルビン [K]
肺活量	リットル [L]	体積	立法メートル [m ³]

表1.1

BMI (Body Mass Index)

体重を W ，身長を L として，
計算する体格の指標

$$BMI = \frac{W^2}{L} \quad [\text{kg/m}^2]$$

練習1.1

表1.1の平均身長、平均体重のデータからBMIを求めてみよ。

(2) スケーリング



図1.1

(4)さまざまな物理量と単位

- 物理量とは、科学的に定義された測定可能な量。
- 物理量は、数値と単位をセットとして用いる。

(4) さまざまな物理量と単位

国際単位系（SI単位系）： 基本単位 + 組立単位 + 接頭語

基本量		基本単位	
名称	記号	名称	記号
長さ	l, h, r	メートル	m
質量	m	キログラム	kg
時間	t	秒	s
電流	I, i	アンペア	A
温度	T	ケルビン	K
物質량	n	モル	mol
光度	I_V	カンデラ	cd

(4)さまざまな物理量と単位

国際単位系（SI単位系）： 基本単位 + 組立単位 + 接頭語

組立量		組立単位	
名称	記号	名称	記号
面積	A	平方メートル	m^2
体積	V	立方メートル	m^3
速さ, 速度	v	メートル毎秒	m/s
質量密度	ρ	キログラム毎立方メートル	kg/m^3
濃度	c	モル毎立方メートル	mol/m^3
質量濃度	ρ, γ	キログラム毎立方メートル	kg/m^3

(4)さまざまな物理量と単位

国際単位系（SI単位系）： 基本単位 + 組立単位 + 接頭語

組立単位の中に含まれる認められている固有の名称と単位記号

組立量	組立単位 の名称	単位 記号	SI基本単位 による表し方
平面角	ラジアン	rad	$\text{m/m}=1$
周波数	ヘルツ	Hz	s^{-1}
力	ニュートン	N	m kg s^{-2}
圧力、応力	パスカル	Pa	$\text{N/m}^2=\text{m}^{-1} \text{kg s}^{-2}$
電荷、電気量	クーロン	C	s A
セルシウス温度	セルシウス度	$^{\circ}\text{C}$	K

(4)さまざまな物理量と単位

国際単位系（SI単位系）： 基本単位 + 組立単位 + 接頭語

名称	記号	指数表記	制定年				
quetta (クイタ)	Q	10^{30}	2022 年	deci (デシ)	d	10^{-1}	1960 年
ronna (ロナ)	R	10^{27}	2022 年	centi (センチ)	c	10^{-2}	1960 年
yotta (ヨタ)	Y	10^{24}	1991 年	milli (ミリ)	m	10^{-3}	1960 年
zetta (ゼタ)	Z	10^{21}	1991 年	micro (マイクロ)	μ	10^{-6}	1960 年
exa (エクサ)	E	10^{18}	1975 年	nano (ナノ)	n	10^{-9}	1960 年
peta (ペタ)	P	10^{15}	1975 年	pico (ピコ)	p	10^{-12}	1960 年
tera (テラ)	T	10^{12}	1960 年	femto (フェムト)	f	10^{-15}	1964 年
giga (ギガ)	G	10^9	1960 年	atto (アト)	a	10^{-18}	1964 年
mega (メガ)	M	10^6	1960 年	zepto (ゼプト)	z	10^{-21}	1991 年
kilo (キロ)	k	10^3	1960 年	yocto (ヨクト)	y	10^{-24}	1991 年
hecto (ヘクト)	h	10^2	1960 年	ronto (ロント)	r	10^{-27}	2022 年
deca (デカ)	da	10^1	1960 年	quecto (クエクト)	q	10^{-30}	2022 年

(4) さまざまな物理量と単位

「本書では原則として国際単位系を用いている」

「必要に応じて他の単位も併用している」

圧 力：atm, mmHg, cmH₂O

エネルギー：cal

異なる単位で表されていても、同じ意味を持つ物理量であれば、単位を換算して比較したり、足し合わせたりすることができる。

計算の際にはSI基本単位に直してから式に代入する

(5)測定と有効数字 測定

物理量を測ること ⇒ 測定

測定方法

大別すると2種類に分けられる

- 基準と比較して直接測る
 - 物差しで測る
- センサで得た目安の量を変換して間接的に測る
 - 電子体温計で測る

(5)測定と有効数字

補足：測定と計測

「身体測定」

● 測定（精密で一回限りのイメージ）：

- 体温を測定する
- 距離を測定する
- 放射線量を測定する

➡ 「正確に“いま”の数値をはかる」

● 計測（継続的でシステムのイメージ）：

- ロボットの動きを計測してフィードバック制御する
- 橋の揺れを計測して構造安全を評価する
- 宇宙で気象データを計測する

➡ 「複雑なプロセス・継続的な測定」を含む

🎯 まとめの一言：

- 測定＝「正確な数値を測る」
- 計測＝「測定＋システムの・継続的なとらえ方」

CHAPTER 1

(5)測定と有効数字 物理量と測定法

表1.3



(5)測定と有効数字 有効数字

- 測定した値の「有効数字」に気をつける
⇒ 測定値の中で信頼できる桁

たとえば：

ある物の長さを測ったとき、測定値は12.3 cmだった。
このときの有効数字は「○桁」。

→ "1" "2" "3"の全てが意味のある（信頼できる）数字

単位換算するとき：

測定値を[mm]で記入しなければならないので、
1230 mmと記入した。

→ “0”には意味がないので、 1.23×10^3 mmと記入する。

1.1 物理量と人体 - まとめ

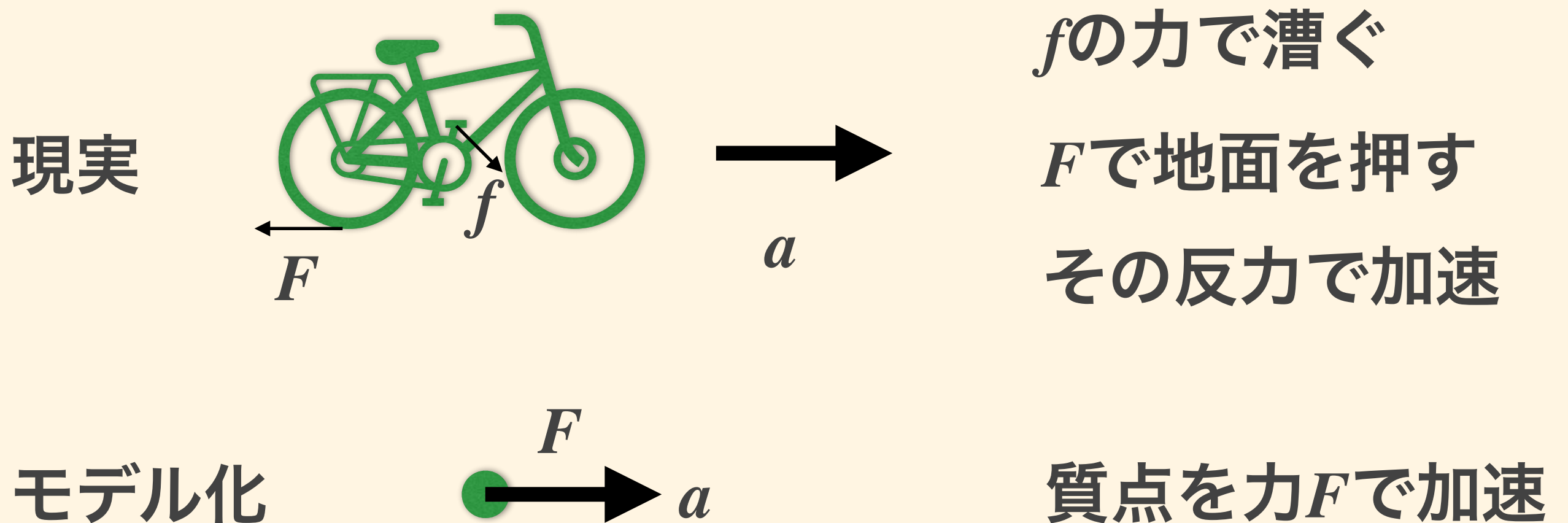
- ・ 物理量とは、状態を表す量で科学的に測定可能な量。
- ・ 物理量は、数値と単位で表す。
- ・ 物理量の測定方法には、
直接測る方法と間接的に測る方法がある。
- ・ 測定した物理量を扱う際には、有効数字に気をつける。
- ・ 有効数字は、
その桁に意味があるか（信頼できるか）のことである。

1.2 物理モデルと解析

解決すべき疑問：(1)モデル化と(2)関係式の解析法

(1)モデル化：複雑な現象を単純なモデルで表すこと

例) 自転車：速度を上げる（加速）にはペダルを漕ぐ



1.2 物理モデルと解析



着目する現象に応じてモデル化する必要がある

図1.2

1.2 物理モデルと解析

例) 運動モデルの比較

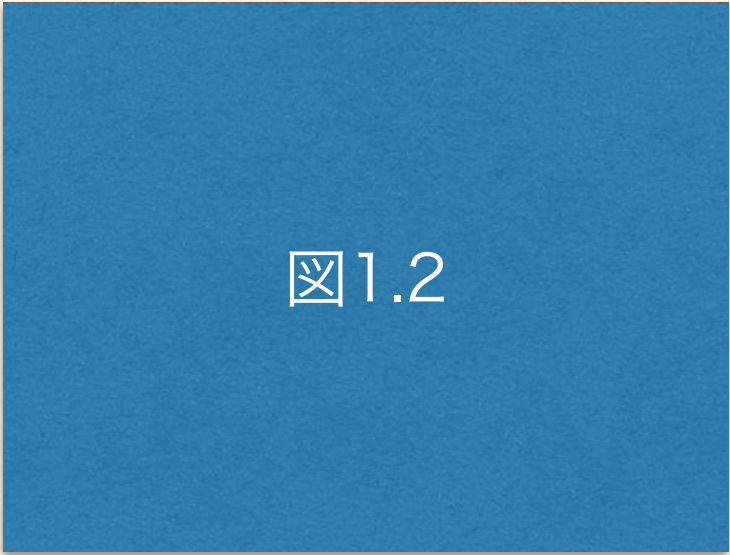


図1.2



表1.4

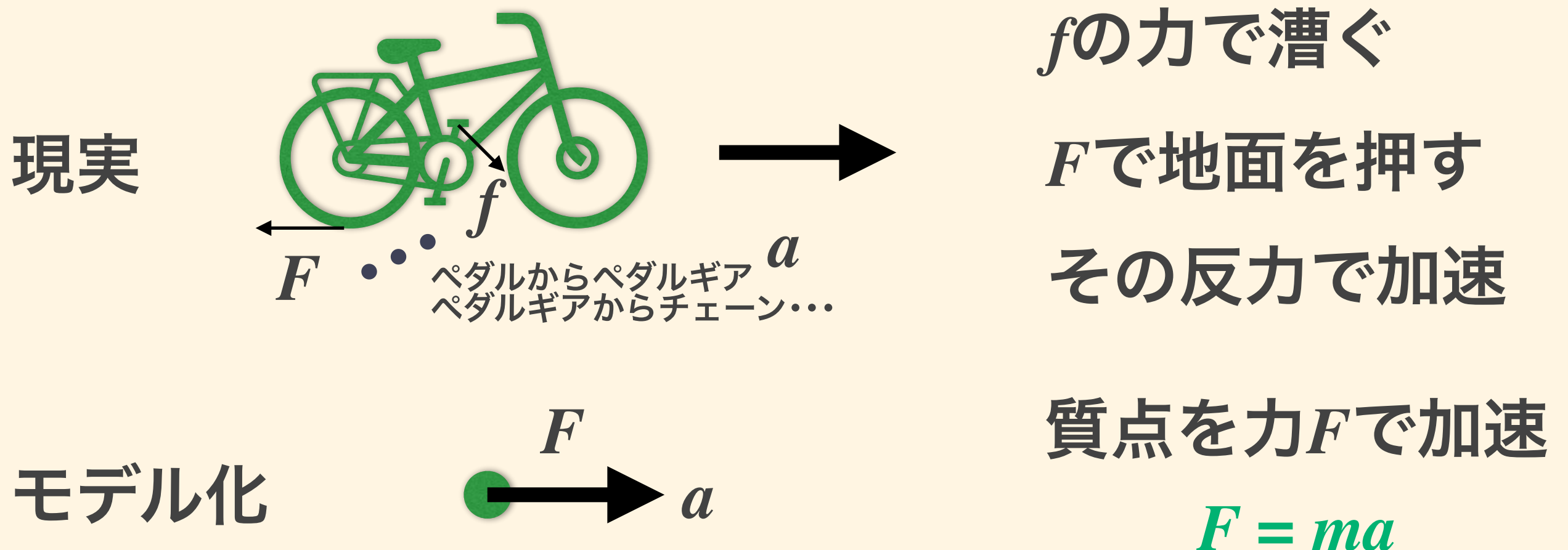
何を説明/知りたいのかにより適切にモデル化する

1.2 物理モデルと解析

解決すべき疑問：(1)モデル化と(2)関係式の解析法

(2)関係式：モデルから分かる現象を支配する式

例) 自転車：速度を上げる（加速）にはペダルを漕ぐ



1.2 物理モデルと解析

(2)関係式：モデルから分かる現象を支配する式

モデル化する際によく使われる（考える）関係式

・ つり合い

$$F_1 + F_2 = 0$$

・ 比例・反比例

$$F = ma \quad \lambda f = V$$

・ 逆2乗則

$$F = \frac{Mm}{r^2}$$

・ 流れ

$$I = eVSn$$

・ グラフの傾きと面積

・ 単位長さ・単位面積・単位体積あたりの量

図1.5

1.2 物理モデルと解析

(2)関係式：モデルから分かる現象を支配する式

モデル化する際によく使われる（考える）関係式

- 振動 $x = x_0 \sin \omega t$

- 減衰 $I = I_0 e^{-ax}$



図1.6



図1.7

1.2 物理モデルと解析

方対数グラフ

図1.6

$$I = I_0 e^{-ax}$$
$$y = y_0 e^{-ax}$$

図1.7

$$\begin{aligned}\log I &= \log(I_0 e^{-ax}) \\ \log I &= \log I_0 + \log(e^{-ax}) \\ &= \log I_0 - ax \\ y &= y_0 - ax \\ &= -ax + y_0\end{aligned}$$

1.2 物理モデルと解析 - まとめ

解決すべき疑問：(1)モデル化と(2)関係式の解析法

- ・ **モデル化**とは，複雑な現象を**単純なモデル**で表すこと
- ・ 知りたい/説明したいことに応じたモデル化が必要
- ・ **関係式**とは，モデルから分かる**現象を支配する式**
- ・ モデル化に応じて関係式は異なる
- ・ よく使われる解析法が使える関係式が得られるようにモデル化する

「力と身体のバランス」

第2章 力と身体バランス

2.1 静力学の基礎

(1) 力のつり合い

(2) 力のモーメント

(3) いろいろな力

2.2 力と身体バランス

2.3 骨・関節・筋肉

2.1 静力学の基礎

解決すべき疑問：日常生活の中でどんな力が働いているか

- ・ 骨や筋肉に働く大きな力を考える
- ・ 小さな力ですむ無理のない動作を考える

- (1) 力のつり合い： “力”の基本について確認
- (2) 力のモーメント： 物体の大きさを考える
- (3) いろいろな力： 物体に生じる力

2.1 静力学の基礎

解決すべき疑問：日常生活の中でどんな力が働いているか

- ・ 骨や筋肉に働く大きな力を考える
- ・ 小さな力ですむ無理のない動作を考える

(1) 力のつり合い：“力”の基本について確認

(2) 力のモーメント：物体の大きさを考える

(3) いろいろな力：物体に生じる力

2.1 静力学の基礎

(1) 力のつり合い：“力”の基本について確認

力 F [N] = ma [kgm/s²] ……運動方程式

重力 F [N] = mg [kgm/s²]

* 重力加速度 $g = 9.8$ [m/s²]

1[kg]の物体に働く重力の大きさ（重さ）は？

2.1 静力学の基礎

(1) 力のつり合い：“力”の基本について確認

1[kg]の物体に働く重力の大きさ（重さ）は？

$$mg = 1 \times 9.8 = 9.8 \text{ [kgm/s}^2\text{] , [N]}$$

$$= 1 \text{ [kgw] , [kgf]}$$

力と重力は同じ単位
重力 g を1とすると

$$[N] = [kgm/s^2]$$

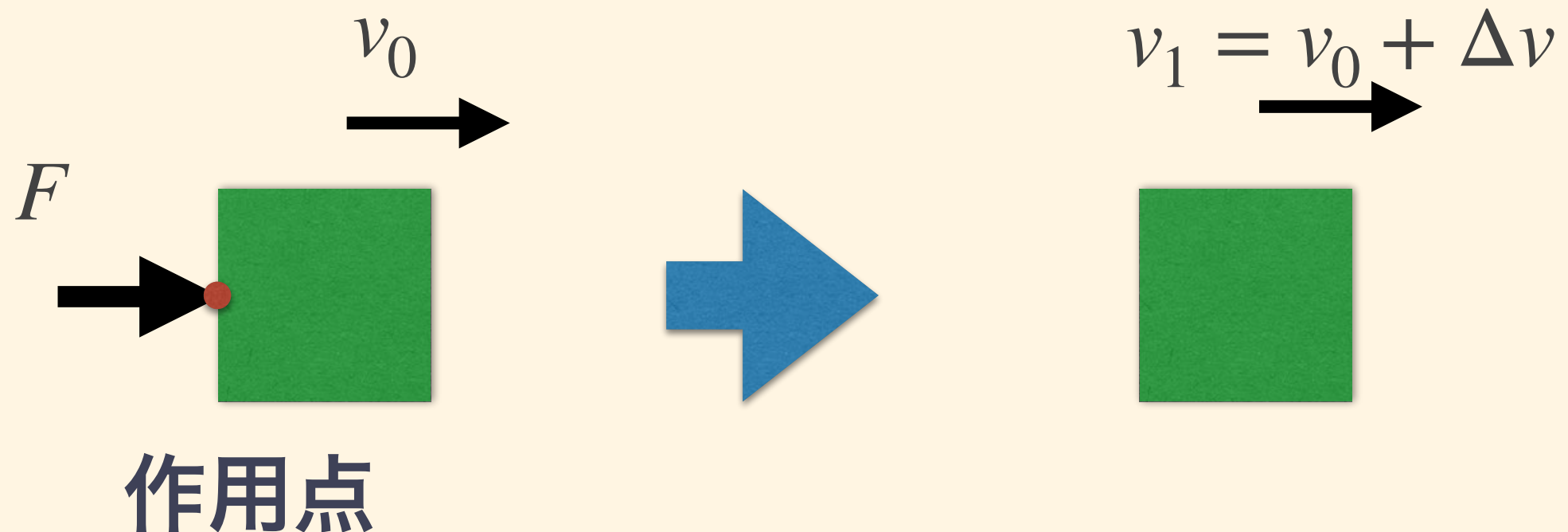
$$[kgf] = [kgw]$$

2.1 静力学の基礎

(1) 力のつり合い：“力”の基本について確認

■ 力の作用

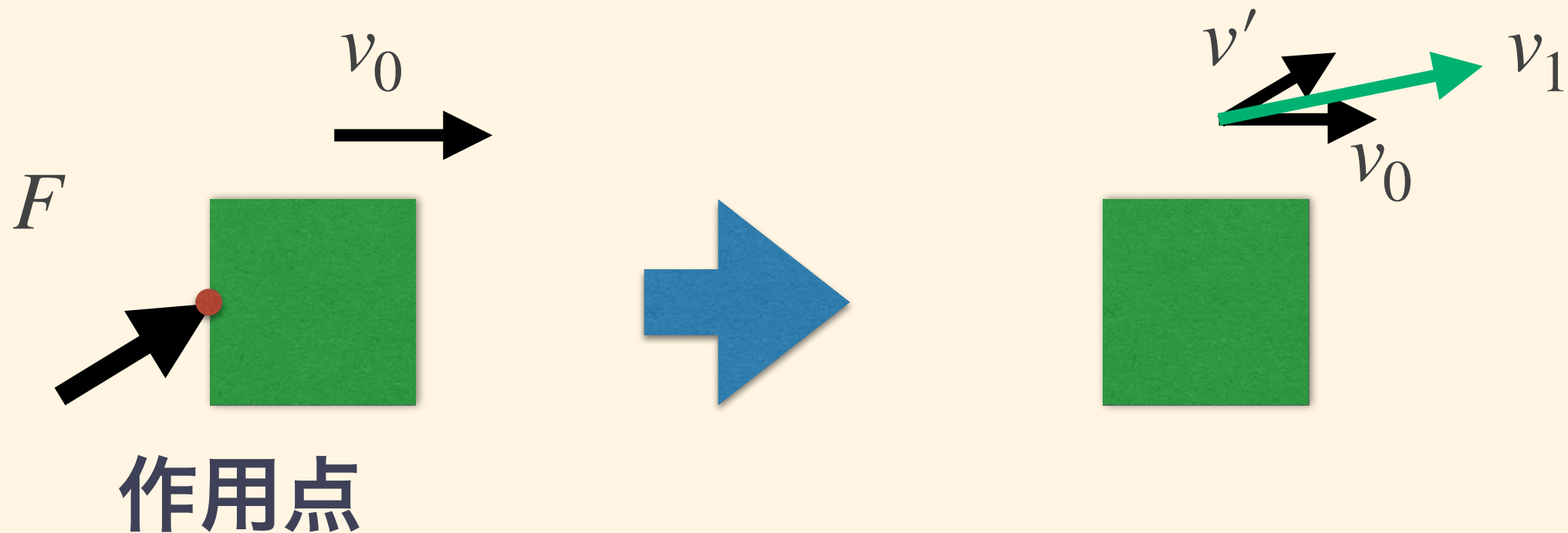
力を物体に作用させると、
物体の運動を変化させられる



2.1 静力学の基礎

(1) 力のつり合い：“力”の基本について確認

■ 力の作用



力は「大きさ」と「向き」を持つ
ベクトル

2.1 静力学の基礎

(1) 力のつり合い：“力”の基本について確認

■ 力の合成と分解

力は「大きさ」と「向き」
ベクトル

図2.1

図2.2

2.1 静力学の基礎

(1) 力のつり合い：“力”の基本について確認

■ 力のつり合いと慣性

物体に働く合力の大きさが0であれば、
力はつり合っていて物体の運動は変化しない

⇒ 静止している物体は静止し続け、運動している
物体は同じ速度で運動し続ける

慣性の法則（Newtonの運動の第一法則）

* 慣性は物体の質量 m が大きいほど大きい

2.1 静力学の基礎

(1) 力のつり合い：“力”の基本について確認

■ 力のつり合いと慣性

物体に働く合力の大きさが0でないとき、
力により物体に加速度が生じる

運動方程式 $F = ma$

運動の法則（Newtonの運動の第二法則）

2.1 静力学の基礎

(1) 力のつり合い：“力”の基本について確認

■ 作用・反作用

物体Aが物体Bに力を及ぼすとき、

物体Bも物体Aに大きさが同じで反対向きの力を及ぼす



図2.3

作用・反作用の法則（Newtonの運動の第三法則）

2.1 静力学の基礎

(1) 力のつり合い：“力”の基本について確認

まとめ

- ・ 力はベクトル（「大きさ」と「向き」）である
- ・ 力の合成と分解はベクトルで考えられる
- ・ 力と運動の関係はNewtonの運動の法則に従う
 - ・ 慣性の法則（Newtonの運動の第一法則）
 - ・ 運動の法則（Newtonの運動の第二法則）
 - ・ 作用・反作用の法則（Newtonの運動の第三法則）

2.1 静力学の基礎

解決すべき疑問：日常生活の中でどんな力が働いているか

- ・ 骨や筋肉に働く大きな力を考える
- ・ 小さな力ですむ無理のない動作を考える

(1) 力のつり合い：“力”の基本について確認

(2) 力のモーメント：物体の大きさを考える

(3) いろいろな力：物体に生じる力

2.1 静力学の基礎

(2) 力のモーメント：物体の大きさを考える



質点

から



物体

へと概念を拡張



● 遠くに飛ばすぞ！



重心と回転を考える

2.1 静力学の基礎

(2) 力のモーメント：物体の大きさを考える

重心：形が変わらない物体（剛体）の重さの中心

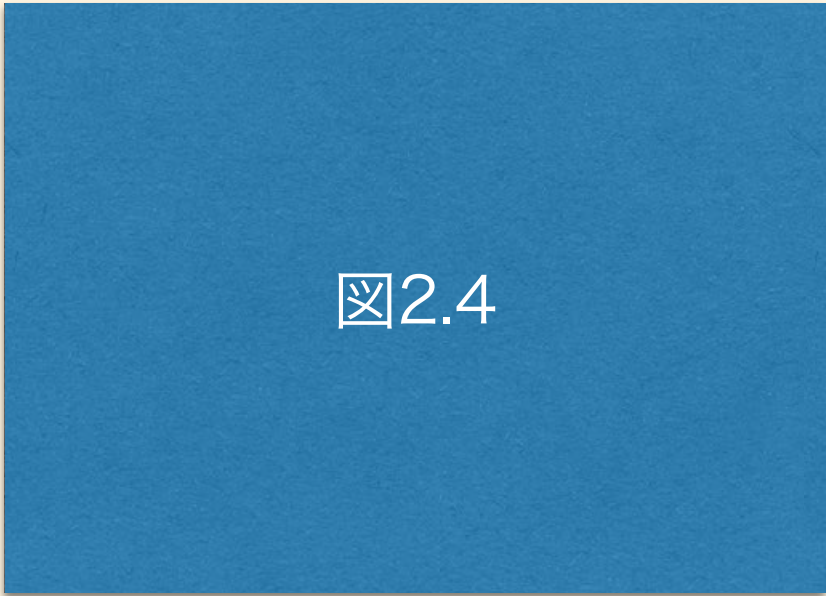


図2.4

重心の座標

$$\vec{r}_G = \frac{m_1 \vec{r}_1 + m_2 \vec{r}_2}{m_1 + m_2}$$

2.1 静力学の基礎

(2) 力のモーメント：物体の大きさを考える

回転運動を考えるためには力のモーメントを考える

(力のモーメント N) = (支点から力の作用点までの距離 r) $\times$ (力 F)

*支点：回転軸



図2.5



図2.6

全てのモーメントを計算すると回転運動が分かる

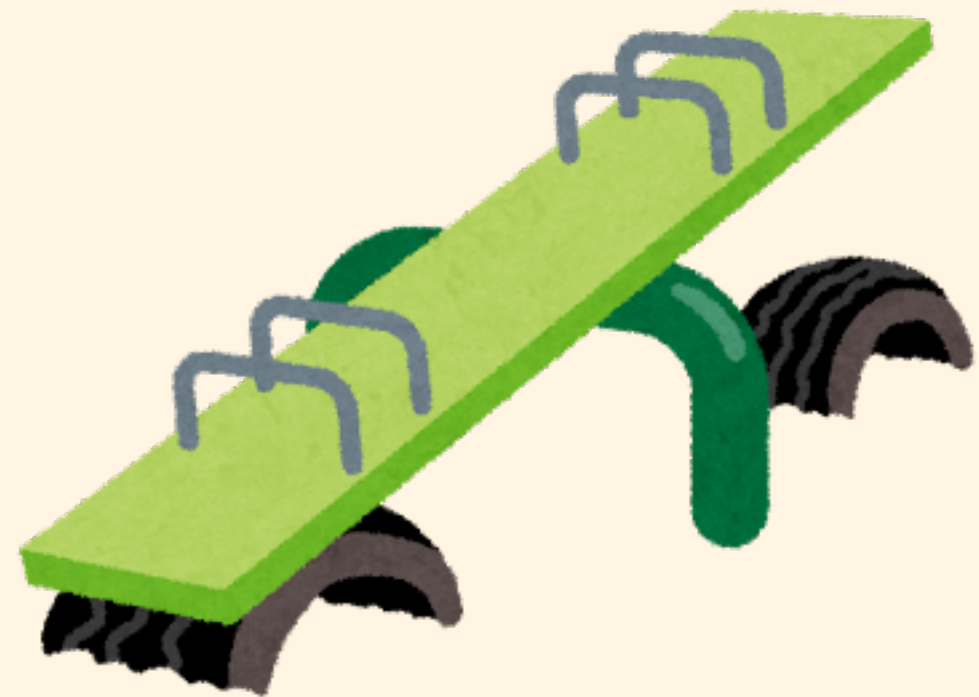
*0の場合は回転しない

2.1 静力学の基礎

(2) 力のモーメント：物体の大きさを考える

回転運動を考えるためには力のモーメントを考える

(力のモーメント N) = (支点から力の作用点までの距離 r) $\times$ (力 F)



2.1 静力学の基礎

(2) 力のモーメント：物体の大きさを考える

まとめ

- ・ 質点から剛体への概念の拡張
- ・ 剛体の運動では回転運動を考える必要がある
- ・ 回転運動では重心とモーメントを考える
- ・ 力のモーメント N は、支点から力の作用点までの距離 r と力 F の積で求まる
- ・ 力のモーメントのつり合いが0のとき回転しない

2.1 静力学の基礎

解決すべき疑問：日常生活の中でどんな力が働いているか

- ・ 骨や筋肉に働く大きな力を考える
- ・ 小さな力ですむ無理のない動作を考える

(1) 力のつり合い： “力”の基本について確認

(2) 力のモーメント：物体の大きさを考える

(3) いろいろな力：物体に生じる力

2.1 静力学の基礎

(3) いろいろな力：物体に生じる力

物体の運動（直線・回転）は
いろいろな力で引き起こされる

- 偶 力
- 摩擦力
- 慣性力

2.1 静力学の基礎

(3) いろいろな力：物体に生じる力

- 偶力：大きさが等しく逆向きの力が作用し、その作用線が一直線上にない場合



図2.7

偶力は効率的に回転運動のみ生み出す

2.1 静力学の基礎

(3) いろいろな力：物体に生じる力

- 摩擦力：物体同士が接している表面上で表面に水平方向に働く力

- 最大静止摩擦力

$$f = \mu N$$

*静止摩擦係数 μ

*ゴム $\mu = 1.0$

*氷上の氷 $\mu = 1.0$

- 動摩擦力

$$f' = \mu' N$$

*動摩擦係数 μ'

*ゴム $\mu' = 0.8$

*氷上の氷 $\mu' = 0.03$

図2.8

床から受ける垂直抗力の大きさに比例する

2.1 静力学の基礎

(3) いろいろな力：物体に生じる力

- ・ 慣性力：物体が運動を維持し続けようとする力



図2.9

車内の人から見える見かけ上の力

2.1 静力学の基礎

(3) いろいろな力：物体に生じる力

- ・ 慣性力：物体が運動を維持し続けようとする力



図2.10

回転運動での見かけ上の力が遠心力

2.1 静力学の基礎

(3) いろいろな力：物体に生じる力

まとめ

- 偶力 / 摩擦力 / 慣性力 について考えた
- 偶力は 効率的な回転運動を生む（平行移動が起きない）
- 摩擦力は垂直抗力に比例する
 - 静止摩擦係数 / 動摩擦係数
 - 最大静止摩擦力 / 動摩擦力
- 慣性力は見かけ上の力（動き続けようとする力）
- 回転運動では遠心力