

# 生活の中の物理学

## Physics in Everyday Phenomena

第5回 2025/10/20

### 第2章 力学：保存則という考え方 回転運動

真貝 寿明

Hisaaki Shinkai



真貝の武庫川講義ページtop



<https://www.oit.ac.jp/labs/is/system/shinkai/mukogawa/>

レポート課題締め切り10月31日 詳細は前々回プリント配布

10月21日-22日 極大

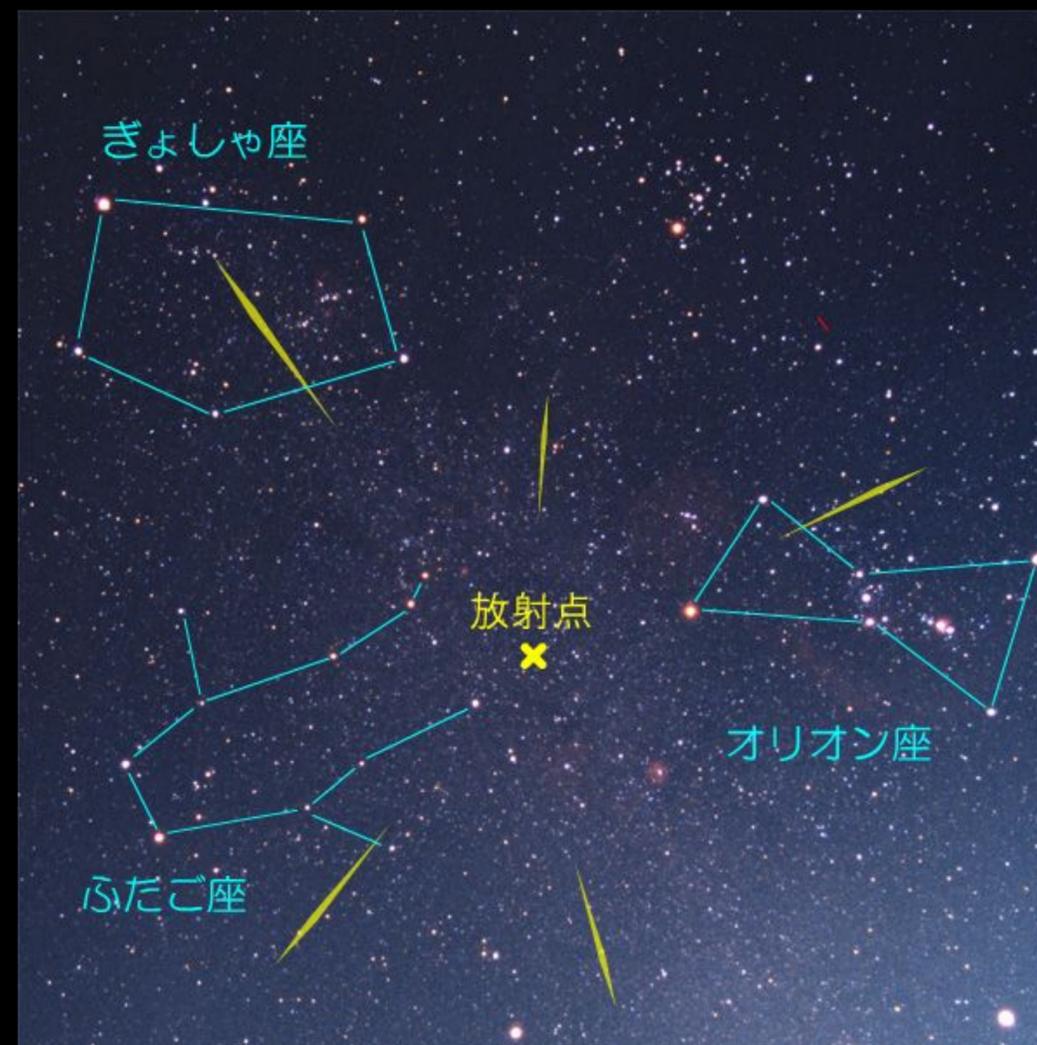
# オリオン座流星群

★2025年は条件 **最良**

★1時間に20個

(昨年予報は, 10個/時間)

もとは, ハレー彗星



<https://www.astron.pref.gunma.jp/events/091020orion.html>

## 課題

- 課題タイトル 寺田寅彦『〇〇〇』を読んで
- 内容を簡単にまとめた後、自身で考えたこと（調べたこと・研究したこと）を述べよ。  
（絶賛する必要はない。寺田のコメントに異論があれば、そのようにレポートして欲しい。）



## 提出手順

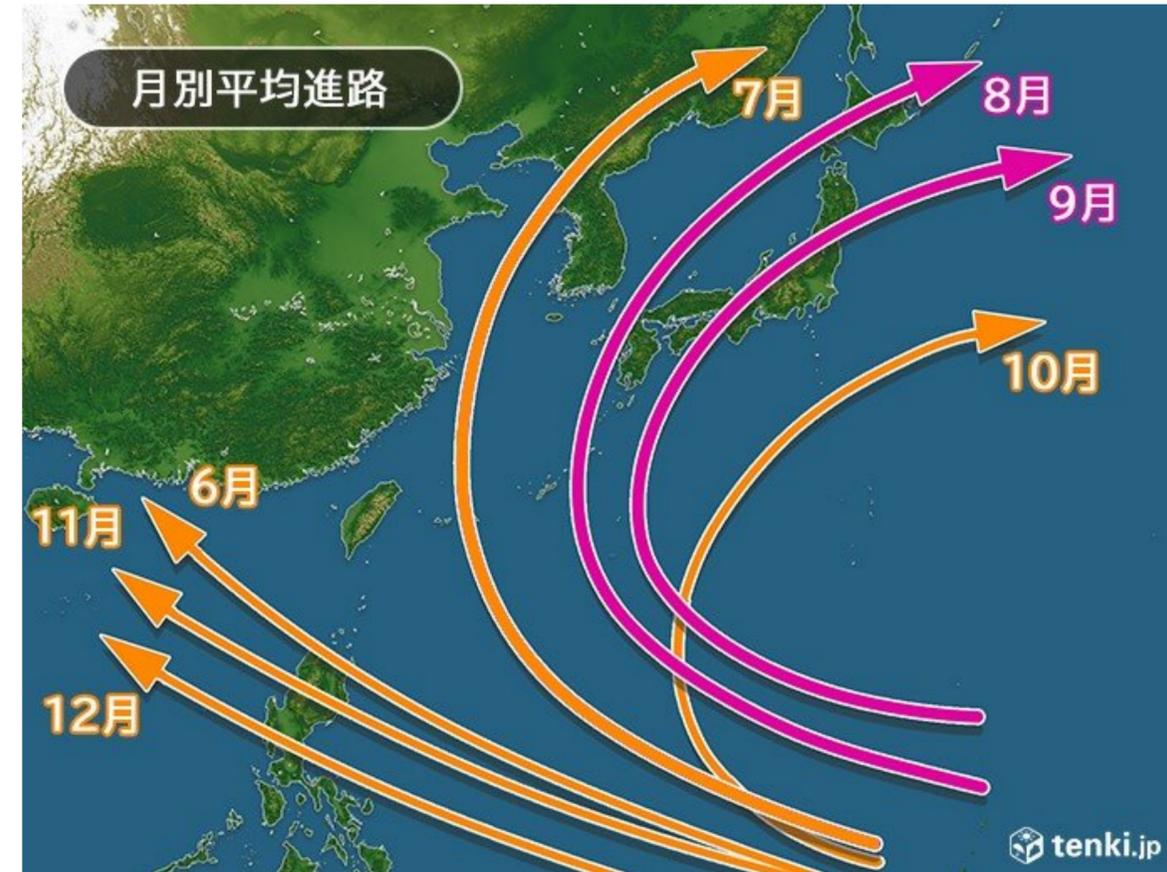
- A4用紙3-4枚程度。手書き・PC印刷どちらも可。表紙は不要。（手書きの場合は写真撮影したものを提出）
- 必要であれば、図や表を添付してよい。（上記のページ枚数に含める）。
- 〆切は、**10月31日（木）22:59**  
Google Classroom の課題として提出。
- 提出ファイルの名前は、「P 大日 XXXXXXXX 〇〇〇〇」の形式とすること。（XXXXXXXは学籍番号、〇〇〇〇は氏名）とすること。本文中にも学籍番号と氏名を記入すること。
- 参考とした文献（web ページ含む）などがあれば、**必ず**記すこと。剽窃行為が認められる場合は評価を下げます。（参考文献から引用するのは構いませんが、引用範囲は必ずそう明記すること。）

# 前回のミニッツペーパーから

地球は石磁石で出来ていると聞いたのですが、本当ですか。本当であるならば、強力な石磁石は地面にくっつくのでしょうか。



台風は人工的に止められるのて可か?



自転車に乗っても倒れないのはなぜか?

4-4  
自転椅子に座った状態で回して車輪を持ち、それを傾けると人間が回るのだから

# 前回のミニッツペーパーから

レモン彗星が緑色4のは、成分や温度が関係しているのだから、

彗星に炭素を含む成分があるからなのでしょう。

## 星空と宇宙

# レモン彗星が1350年ぶりの回帰 11月にかけて西空に輝く

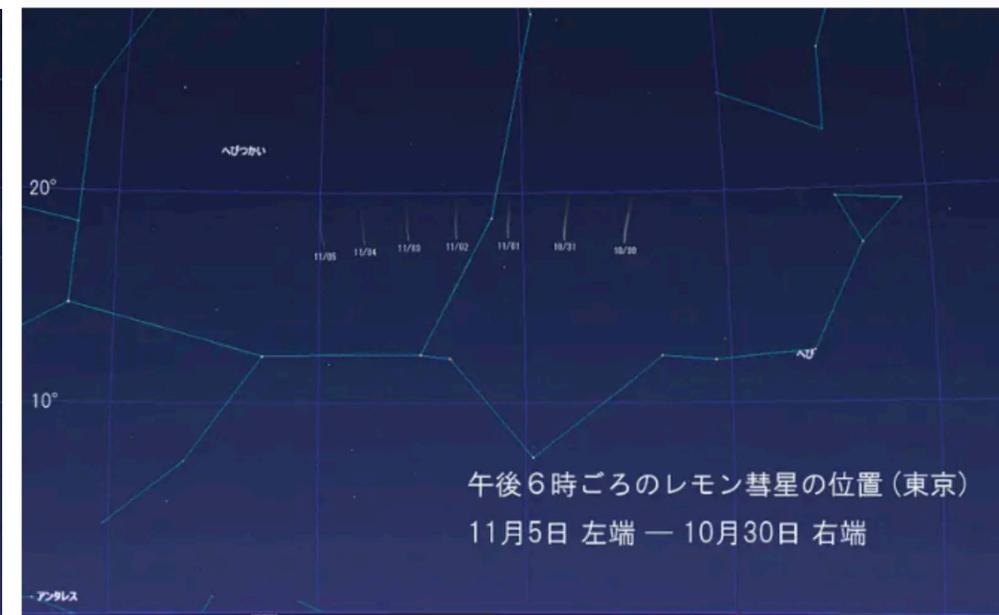
手塚耕一郎 | 環境・科学 | 速報 | 科学・テクノロジー | 宇宙

毎日新聞 | 2025/10/18 17:00(最終更新 10/18 17:11) | 1413文字

また新たな彗星(すいせい)がやってきました。その名は「レモン彗星」。黄色いレモンが夜空に浮かぶ姿を想像しそうな名前ですが、実は関係がありません。2025年1月、米国のレモン山天文台が発見しました。新月の10月21日には地球に約9000万キロ(地球—太陽間の6割ほど)まで最接近します。今まさに、見ごろです。

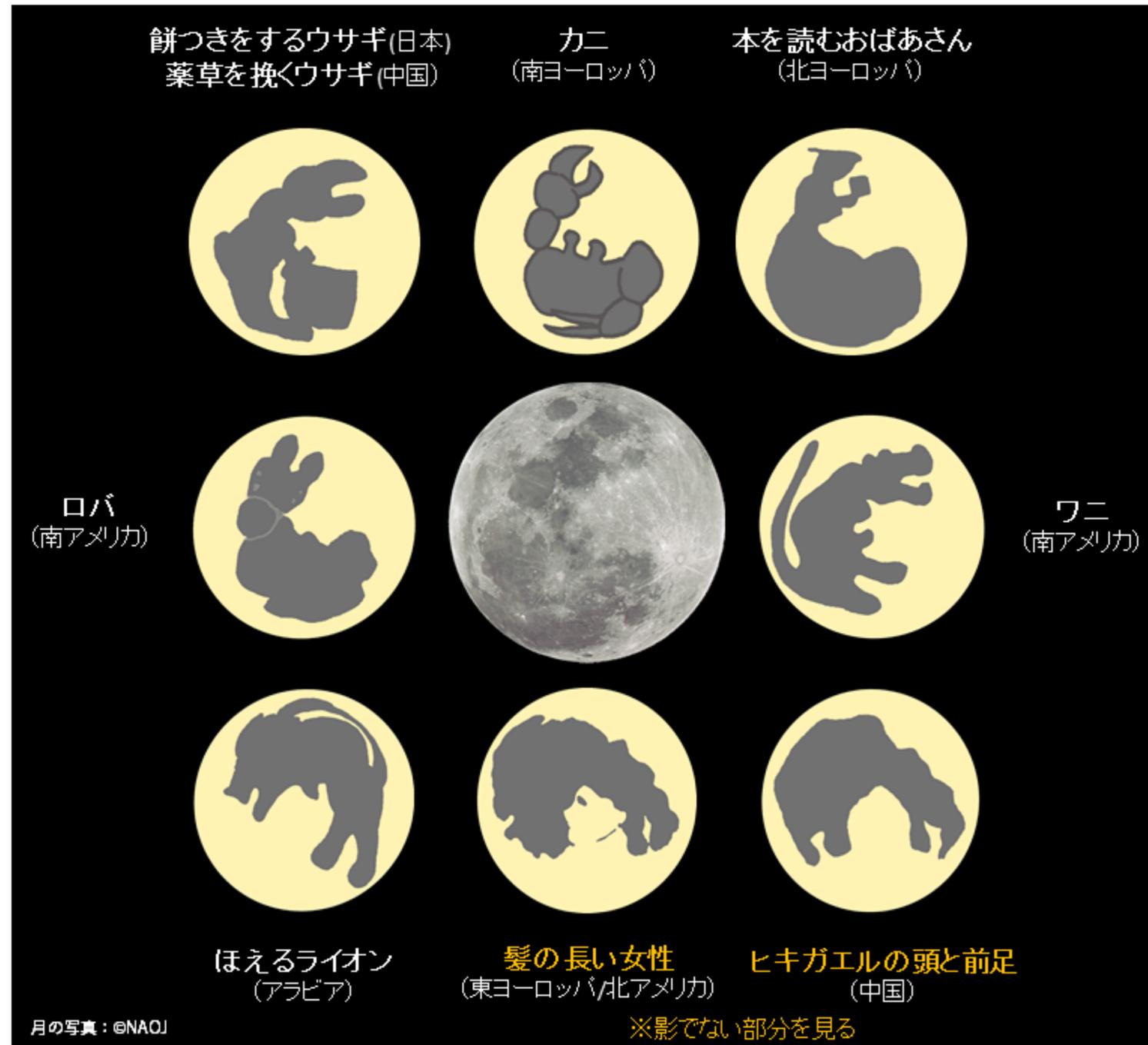


月明かりの中でも尾を伸ばして輝く「レモン彗星」。太いちり(ダスト)の尾の中に、細く伸びるイオンの尾が見える=山梨県鳴沢村で2025年10月17日午前3時51分、手塚耕一郎撮影(10秒露光、赤道儀使用)



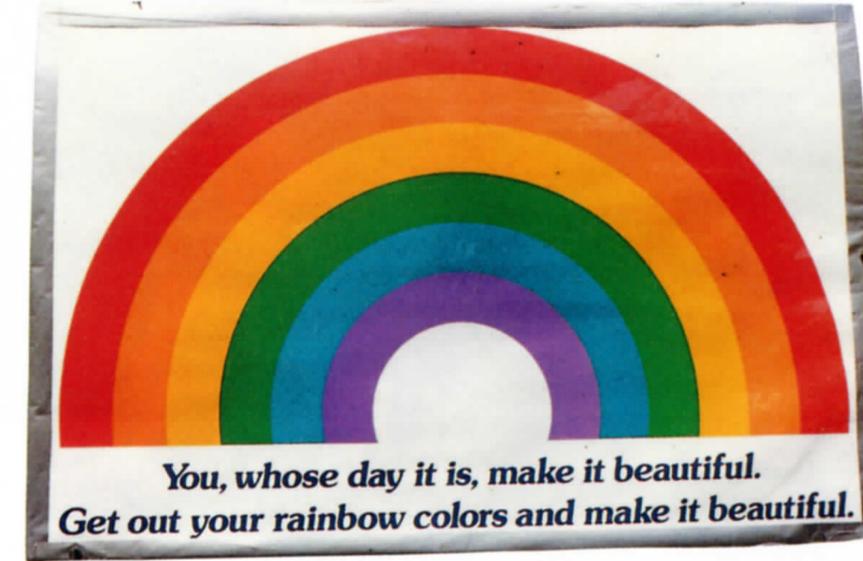
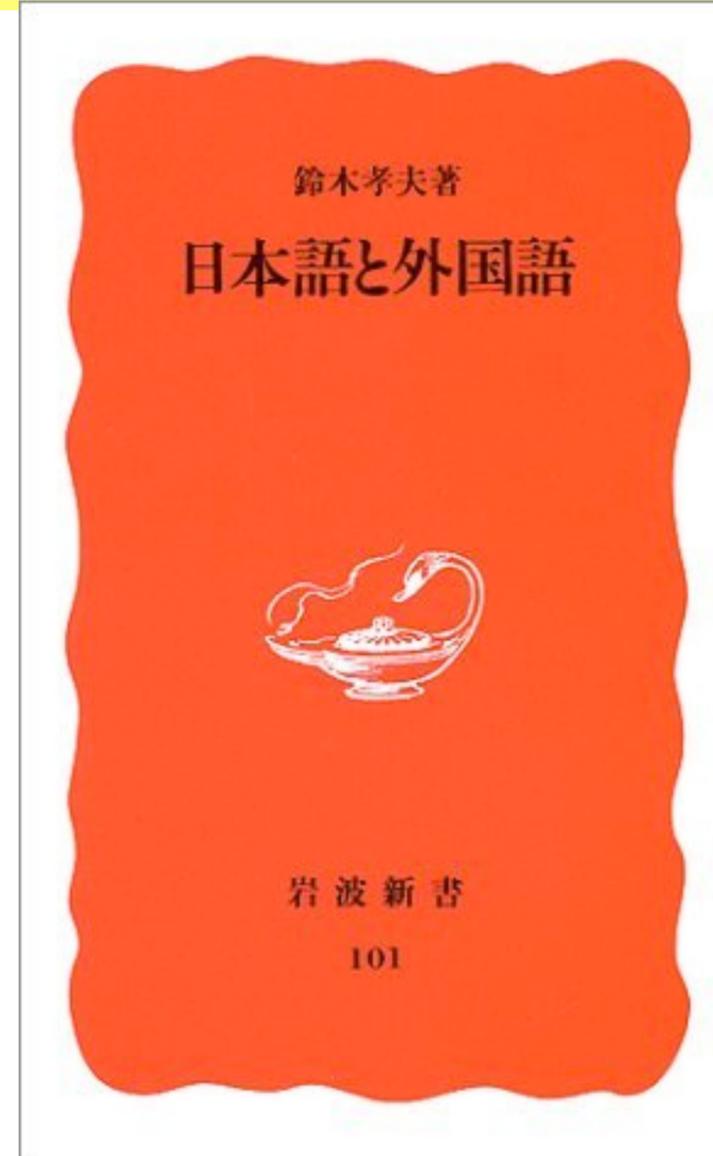
# 前回のミニッツペーパーから

月の中に見えるもの(日本など「過ぎ」が国によって異なる理由)



虹は何色？

# 虹は何色？



6色の虹の壁掛け(本文75頁)



物議をかもした6色の虹の切手(下左)ほか(本文87頁, 88頁, 101頁)



モスクワ郊外の公園に立つ看板(本文86頁)

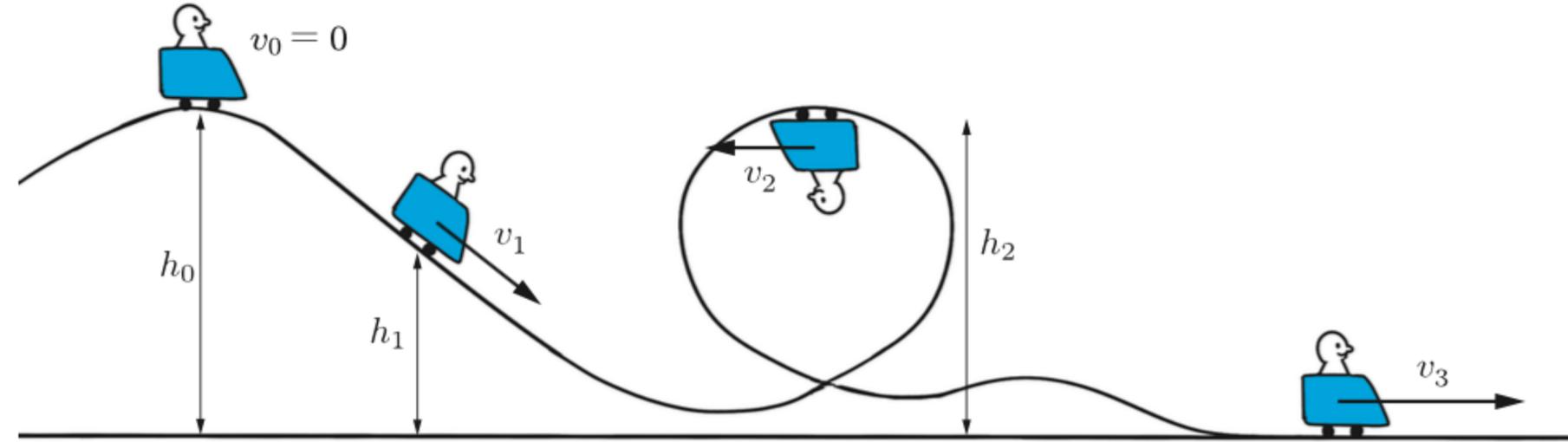
日本	7色	赤, 橙, 黄, 緑, 青, 藍, 紫
イギリス	6色	赤, 橙, 黄, 緑, 青, 紫
アメリカ	6色	赤, 橙, 黄, 緑, 青, 紫
ドイツ	5色	赤, 黄, 緑, 青, 紫
フランス	7色	赤, 橙, 黄, 緑, 青, 藍, 紫

○第2章 力学—つりあいと運動	25
2.1 速度・加速度—「いつ・どこにある」：運動を決める基本ツール	26
2.2 いろいろな運動・いろいろな力—名前を聞けば想像がつく運動状態	33
2.3 運動の法則—力を加えると、生じるのは加速度だった	48
2.4 重力による運動—リンゴの落下から惑星運動まで	58
2.5 保存則という考え方—世の中には保存する量がある	67
2.6 回転する運動—遠心力は見かけの力	75

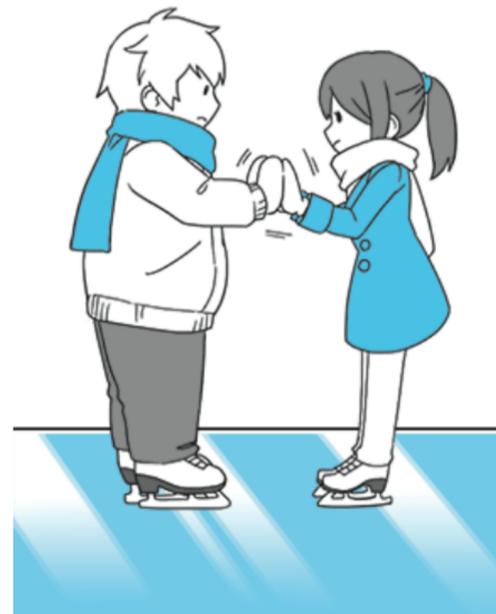
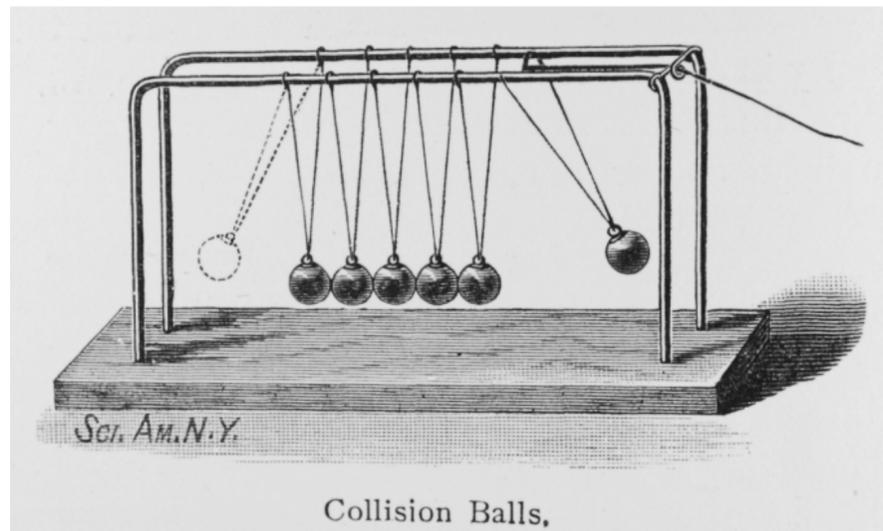
## \* エネルギー保存則

$$mgh_0 + 0 = mgh_1 + \frac{1}{2}mv_1^2 = mgh_2 + \frac{1}{2}mv_2^2 = 0 + \frac{1}{2}mv_3^2$$

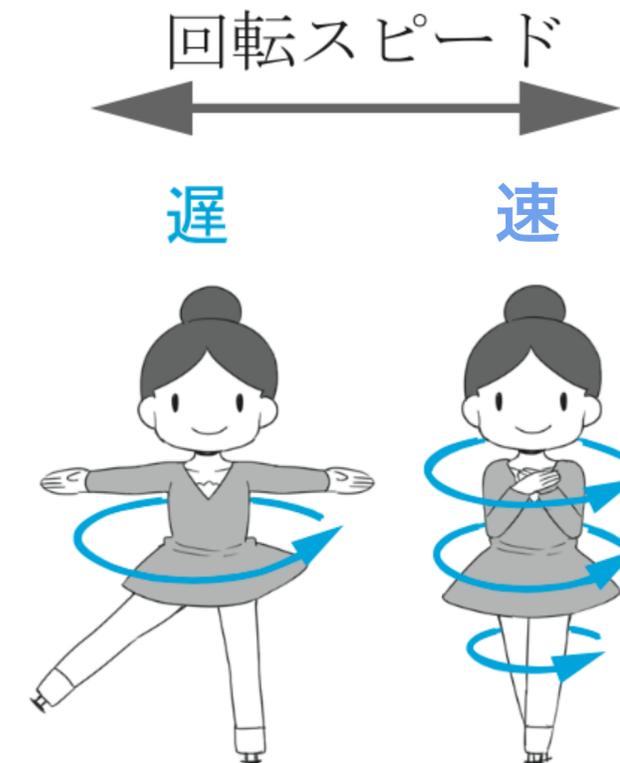
位置エネルギー + 運動エネルギー = 一定



## \* 運動量保存則



## \* 角運動量保存則



# 前回のミニッツペーパーから

〔4-1〕 運動を考えるとき、運動方程式と保存則（エネルギー保存則・運動量保存則など）の2つの考え方があるが、これらの違いは？

○ > 運動方程式は時々刻々の運動で保存則は総量は常一定という考え

○ 運動方程式 → ある1つの時点における運動の状態を示す  
保存則 → ある時点ともう1つの時点、2つの状態を表す式

時々刻々

○ 運動方程式は時々刻々の運動を行う  
保存則は「総量が一定」となる物理量がある。

△ 運動方程式が時々刻々の運動で  
保存則が総量一定の運動である。?

△ 運動方程式は物体の加速度の話で、物体の質量に反比例した加速度が生じる。  
保存則は物体が互いに力を及ぼしあうとき、運動量の和が保存される。

これでは  
運動量保存則だけ

# 前回のミニッツペーパーから

〔4-1〕 運動を考えるとき、運動方程式と保存則（エネルギー保存則・運動量保存則など）の2つの考え方があるが、これらの違いは？

運動方程式は「力と運動の関係」をそのまま数式で表して考える。保存則は「エネルギーや運動量が全体で変わらない」という見方から全体の結果をまとめて考える方がよいと思う。

運動方程式は、時刻と物体がどう運動していくか決める式だが、保存則を使うと、「最初から最後まで一定の値になる量」を知ることができ、どう運動していくか、どんな運動状態になるのかを知ることができる違いがある。

運動方程式は、次の瞬間どうなるかという考え。保存則は、はじめと最後の状態を直接結び考える。

運動方程式は、速度が0でないときにかかる力の大きさ。保存則は何らかの力がすでに与えられていて、その力がそのままには変換されて作用する。

方程式は多くのものに当てはまり、保存則は限られたものに当てはまる。

運動方程式は力から運動をどう変えるかを時間的に追う。保存則はエネルギーや運動量が変わらないことを使って結果だけを求める。

運動方程式は力から運動を求める考え方。保存則は変わらない量に注目する考え方。

運動方程式には、力から運動を追うやりかた。保存則は途中を無視して前後にして結果を出すやりかた。

運動方程式 → 力から運動を求め、詳しい運動がわかる、どんな力でも使える。保存則 → 始めと終わりの状態から考える、外力がない/保存量のときは使える。

運動方程式 → 瞬間の運動の変化を「力」と「加速度」の関係。保存則 → 「時間全体」で「エネルギー」が一定に保たれることを利用する。

運動方程式は物体に力がかかるとして、保存則は変わらない量を示す原理。

運動方程式は加速度 → 速度 → 位置というように次の瞬間どうなるかという考え方で。保存則ははじめと最後の状態を直接結び考える。

運動方程式は質量と加速度に力がかかること。保存則はエネルギーや運動量が変わらないことなので、着目点がある。

力から求めると、力を使わずに求める。

# 仕事(work) = 力 x 動いた距離

## 定義 仕事・仕事率

- 力  $F$  [N] を加えて、その方向に、物体が  $x$  [m] 移動したとき、仕事を

$$W = Fx \quad (2.50)$$

仕事 [J] = 移動方向の力 [N] × 移動距離 [m]

と定義する。仕事の単位は、[J] (ジュール) である。

- 単位時間あたり (1 秒あたり) の仕事を仕事率という。単位は [W] (ワット) である。

$$P = \frac{\Delta W}{\Delta t} \quad \text{仕事率 [W]} = \frac{\text{仕事 [J]}}{\text{時間 [s]}} \quad (2.51)$$

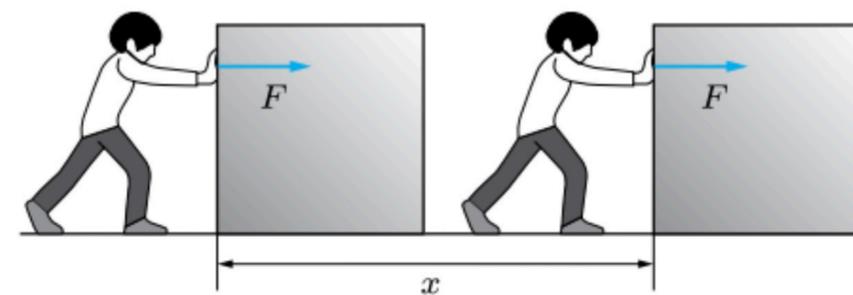
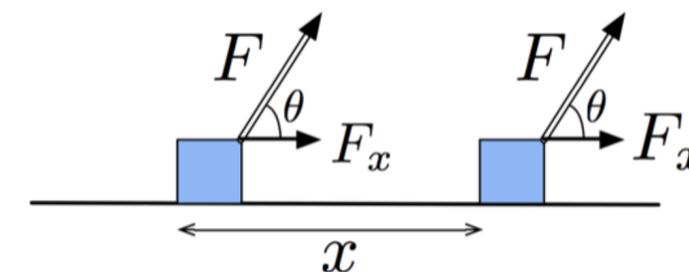


図 2.87 力の向きに移動する場合の仕事は  $W = Fx$

力の向きと異なる方向へ移動するときの仕事は  $W = F_x x$



# エネルギー(モノを動かす能力)

# エネルギーは保存する

## 公式 重力による位置エネルギー

質量  $m$  [kg] の物体が、高さ  $h$  [m] にあるとき、

$$E_P = mgh \quad (2.53)$$

の量を重力による位置エネルギーという。  $g$  は重力加速度である。エネルギーの単位は、[J] (ジュール) である。

## 定義 運動エネルギー

質量  $m$  [kg] の物体が、速度  $v$  [m/s] で動いているとき、

$$E_K = \frac{1}{2}mv^2 \quad (2.54)$$

の量を運動エネルギーという。

## 法則 力学的エネルギー保存則

重力だけがはたらくとき、位置エネルギーと運動エネルギーの和は一定値で保存する。すなわち、

$$E_P + E_K = (\text{一定})$$

$$(\text{位置エネルギー}) + (\text{運動エネルギー}) = (\text{一定}) \quad (2.55)$$

となる。これを力学的エネルギー保存則という。

$$mgh_0 + 0 = mgh_1 + \frac{1}{2}mv_1^2 = mgh_2 + \frac{1}{2}mv_2^2 = 0 + \frac{1}{2}mv_3^2$$

位置エネルギー + 運動エネルギー = 一定

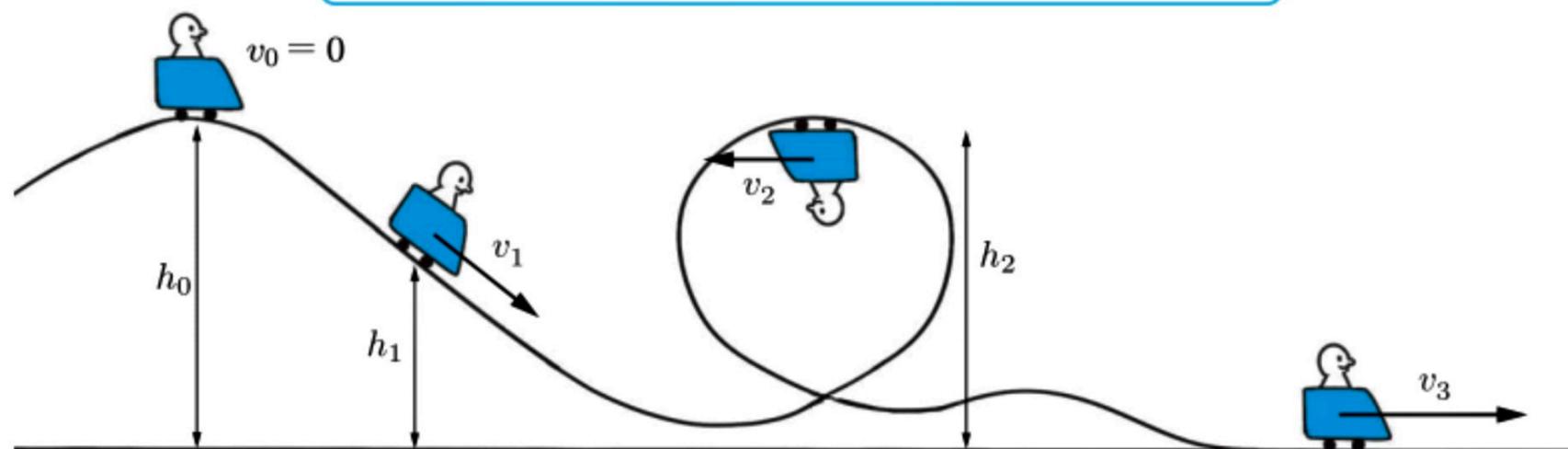


図 2.90 ジェットコースターの速さは、最初の高さだけで決まる

## コラム 15 最も短時間で転がり降りる曲線の形は？

エネルギー保存則は、ある高さ  $H$  から転がり始めたボールは、地面に到達したときには、どんなルートを取ったとしても、速さ  $v$  が同じ値  $v = \sqrt{2gH}$  になることを示している。しかし、坂道の形状によって、地面に到達する時間は違ってくる。どんな形状の坂道が最短時間でボールを地面に到達させるのだろうか。

この問題は、**最速降下線問題**とよばれ、ヨハン・ベルヌーイ (Johann Bernoulli, 1667–1748) が、1696 年に「世界中の数学者への挑戦状」として提示した問題である。この問題は、微分方程式を解く必要があるが、その答えは美しく、**サイクロイド曲線**といわれる曲線になる。これは、自転車のタイヤの一点にライトを付けて、タイヤの動きとともにライトが描く軌跡と同じ曲線である。

この挑戦状には、出題者本人を含め、兄のヤコブ (Jacob Bernoulli, 1654–1705)、ライプニッツ (Leibniz, 1646–1716)、ロピタル (de l'Hopital, 1661–1704) のほかに匿名者の計 5 名がサイクロイドであることを証明した。匿名で応募したのはニュートン (Newton, 1642–1727) だったが、ベルヌーイはニュートンと見抜いていたという。

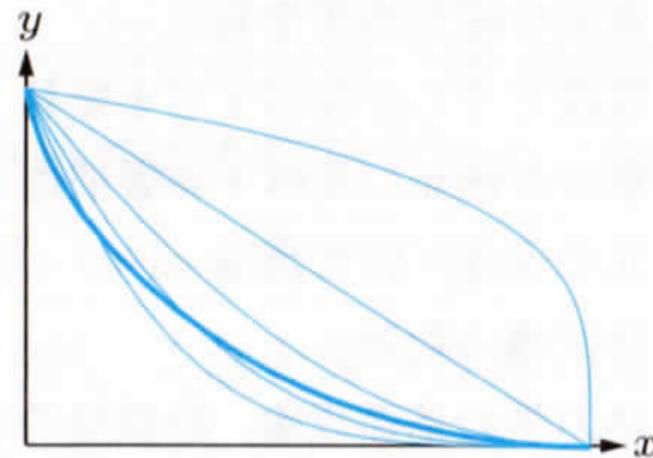
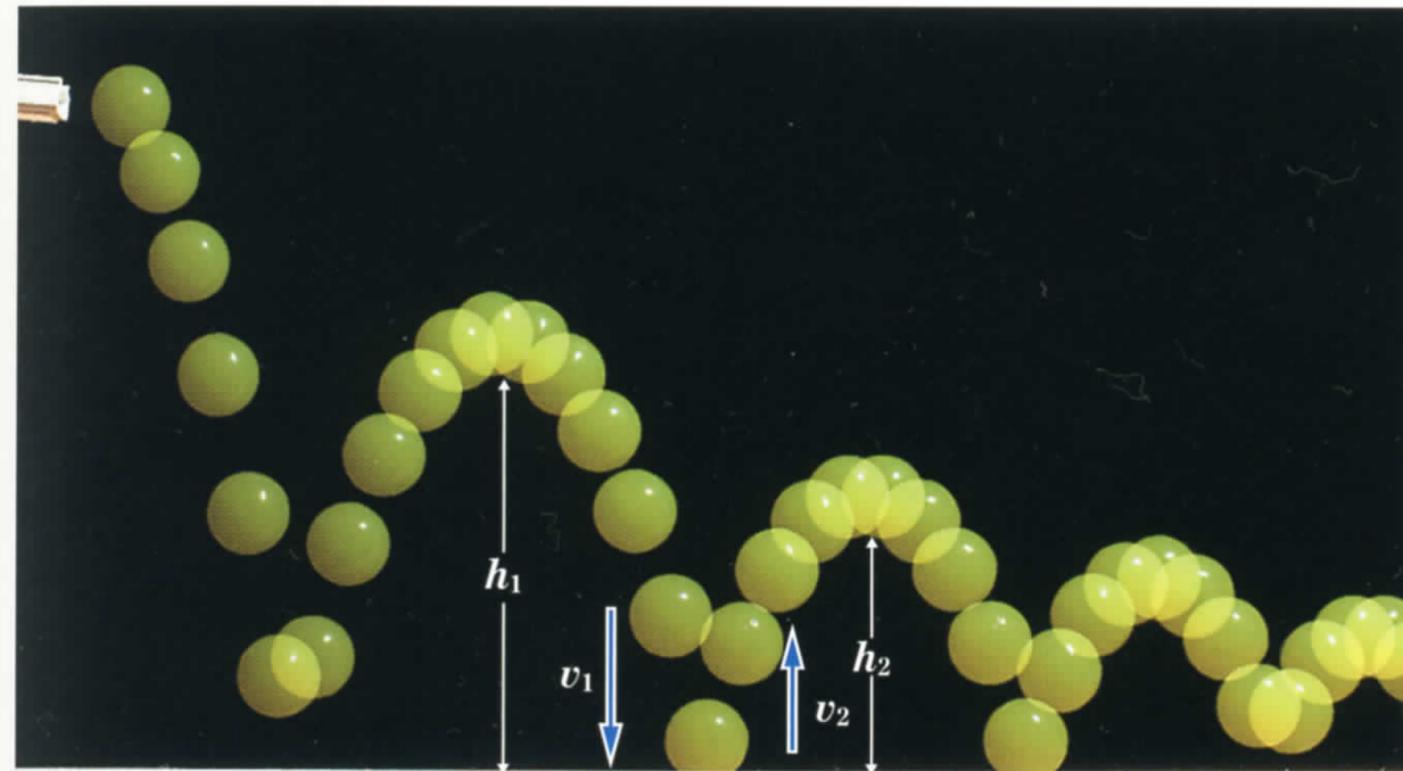


図 2.124 ボールが最短時間で転がる曲線 同じ高さから地面の一点へ結ぶ曲線はいろいろ考えられるが、一番短い時間でボールが転がるのは、図の太線で示したサイクロイド曲線である。

# 摩擦があると、エネルギーは保存しない

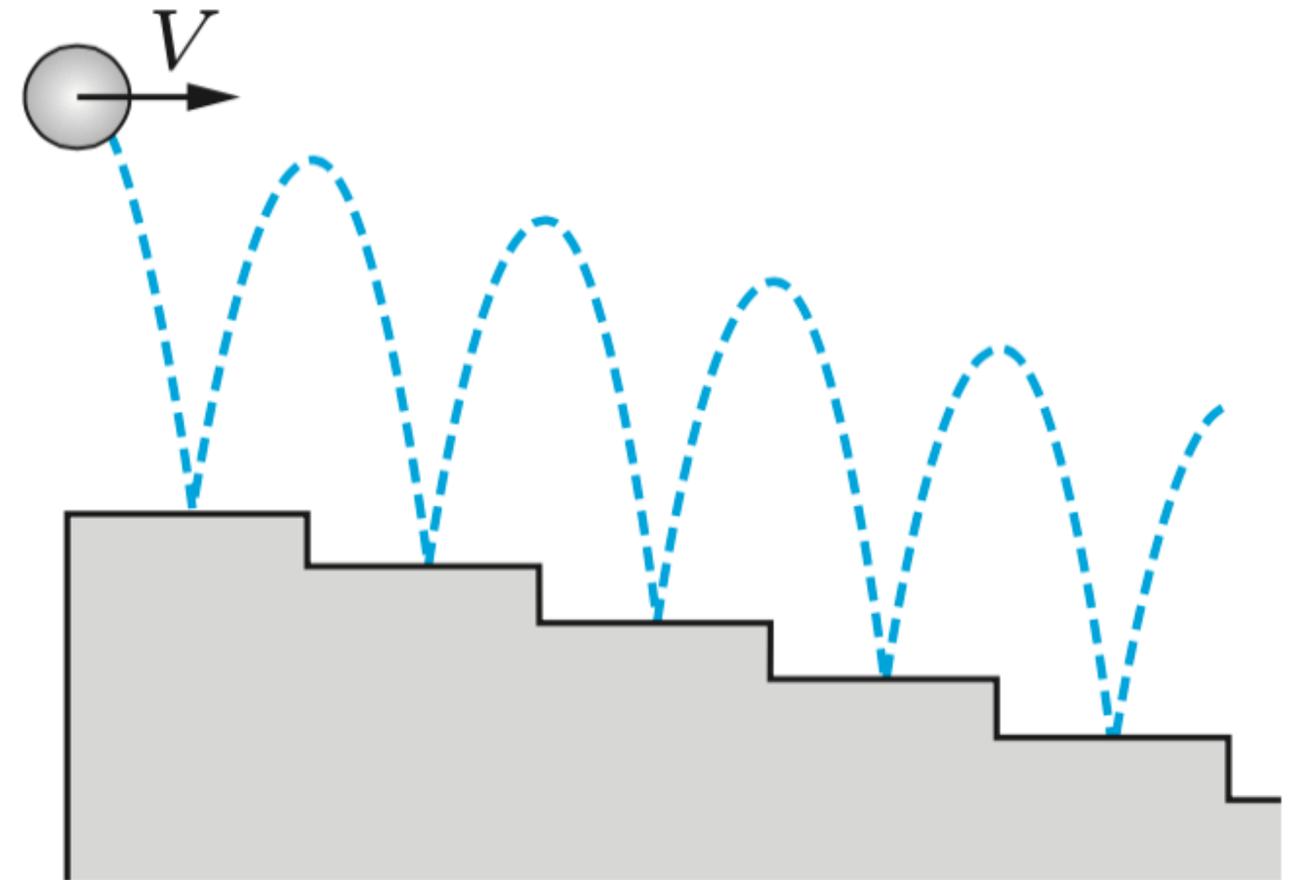
バウンドするボールはだんだん高さが低くなる

● ゴムボールのバウンド



ボールは衝突の前後で速さ  $v$  が  $e$  倍になる。はね上がる高さは  $v^2$  に比例するので  $e = \frac{v_2}{v_1} = \sqrt{\frac{h_2}{h_1}}$  となり、 $h_1$ 、 $h_2$  から反発係数が求められる。

(数研出版 物理図録)



階段下降するときは、うまく調整できれば段差の分だけ最高点も低くなり、運動が継続する。

# 運動量 = 質量 × 速度

## 定義 運動量・力積

- 質量  $m$  [kg] の物体が、速度  $v$  [m/s] で動いているとき、運動量を次のように定義する。

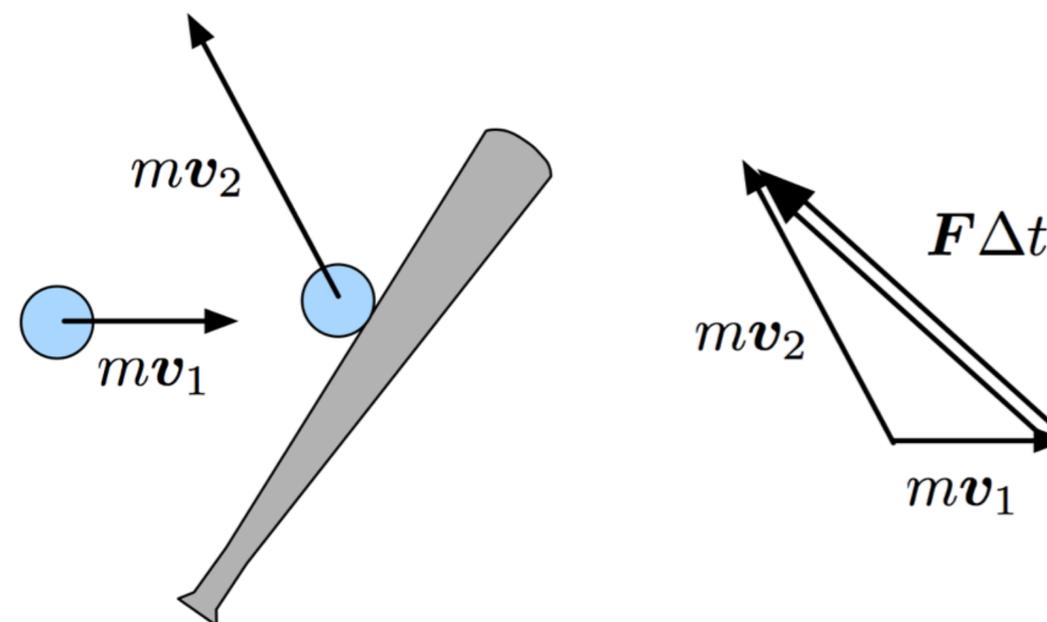
$$\mathbf{p} = m\mathbf{v} \quad (2.57)$$

$$\text{運動量 [kg m/s]} = \text{質量 [kg]} \times \text{速度 [m/s]}$$

- 物体に一定の力  $F$  [N] を時間  $\Delta t$  [s] だけ作用させたとき、力積を次のように定義する。

$$\mathbf{I} = \mathbf{F}\Delta t \quad (2.58)$$

$$\text{力積 [Ns]} = \text{力 [N]} \times \text{時間 [s]}$$

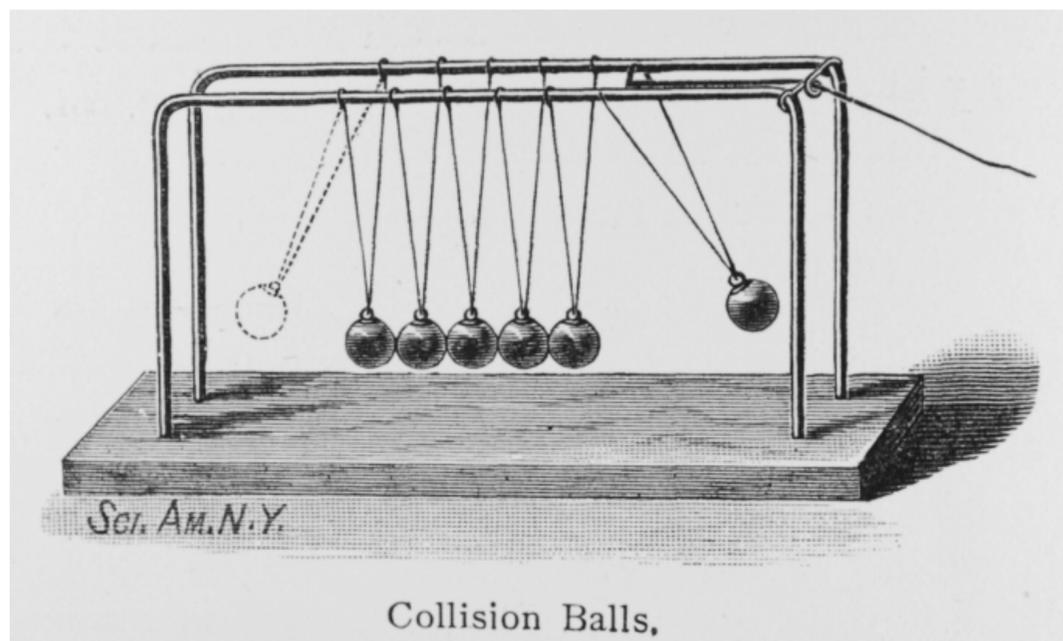


## 運動量保存則(作用反作用の帰結)

### 法則 運動量保存則

二つの物体が互いに力を及ぼしあうとき(すなわち、衝突、合体、分裂、貫通するようなとき)、その前後で、2物体の運動量の和は保存する。

$$m_A v_A + m_B v_B = m_A v'_A + m_B v'_B \quad (2.61)$$

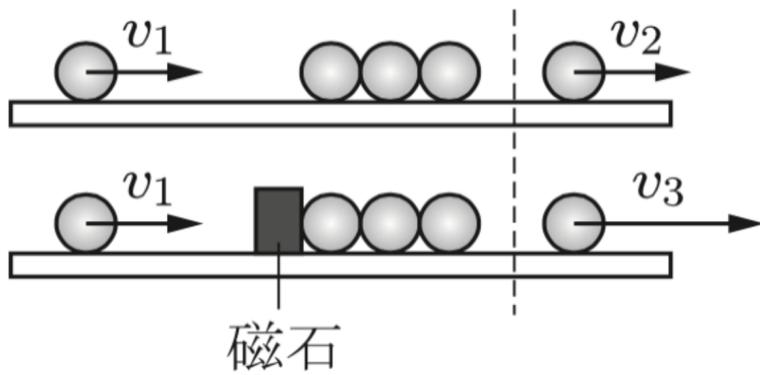


Newton's Cradle

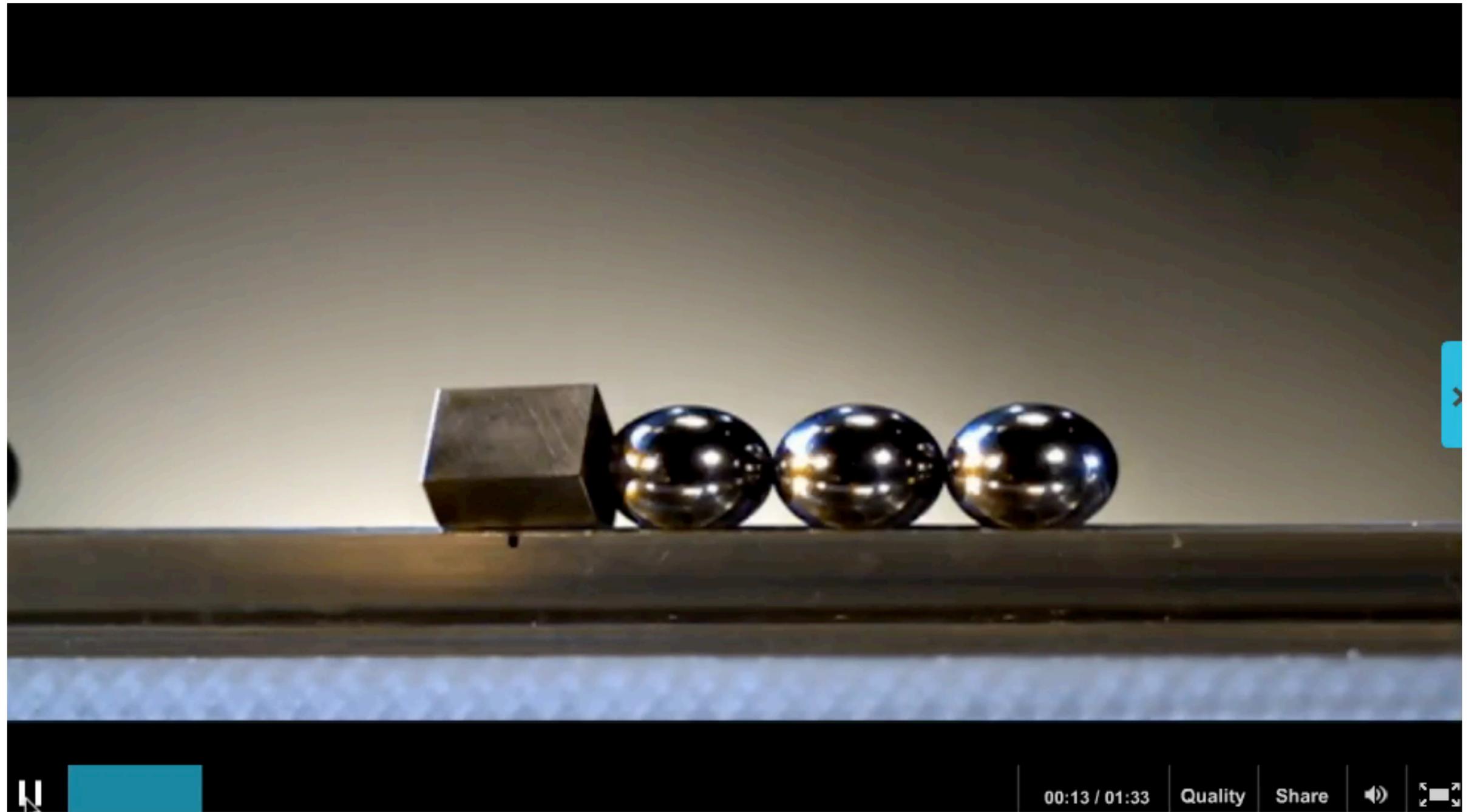
### Topic ニュートンのゆりかご

「ニュートンのゆりかご」とよばれる実験装置がある。2個のボールをぶつけると反対側から2個のボールが飛び出し、3個のボールをぶつけると反対側から3個のボールが飛び出す。運動量保存則である。

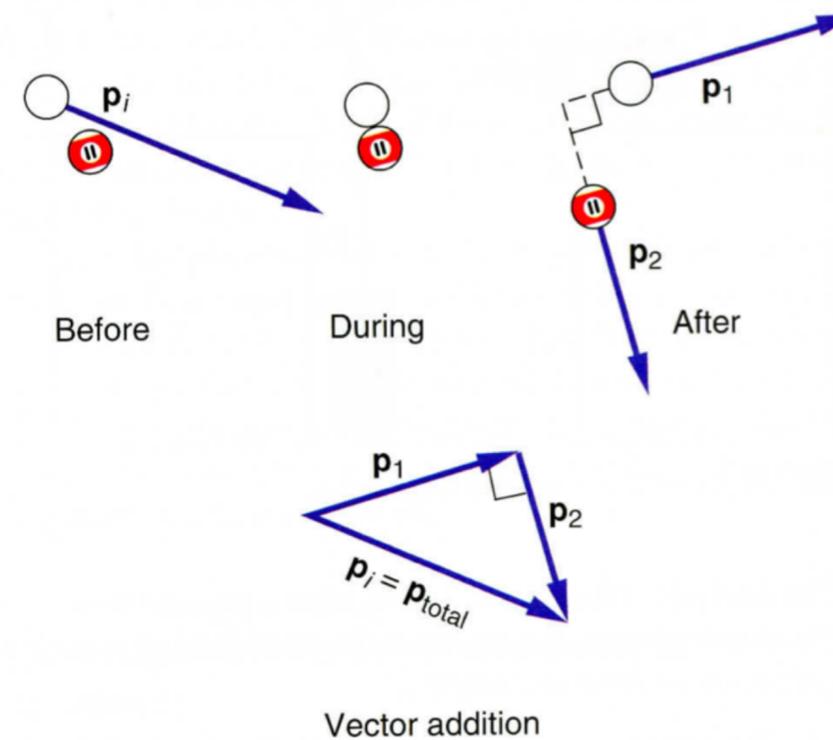
# Gauss gan



接近すると、磁石の引力で  
加速する  
予想以上に飛び出す



# 運動量保存則(作用反作用の帰結)



**figure 7.20** The momentum vectors of the two balls after the collision add to give the total (initial) momentum of the system. The paths of the two balls are approximately at right angles after the collision.

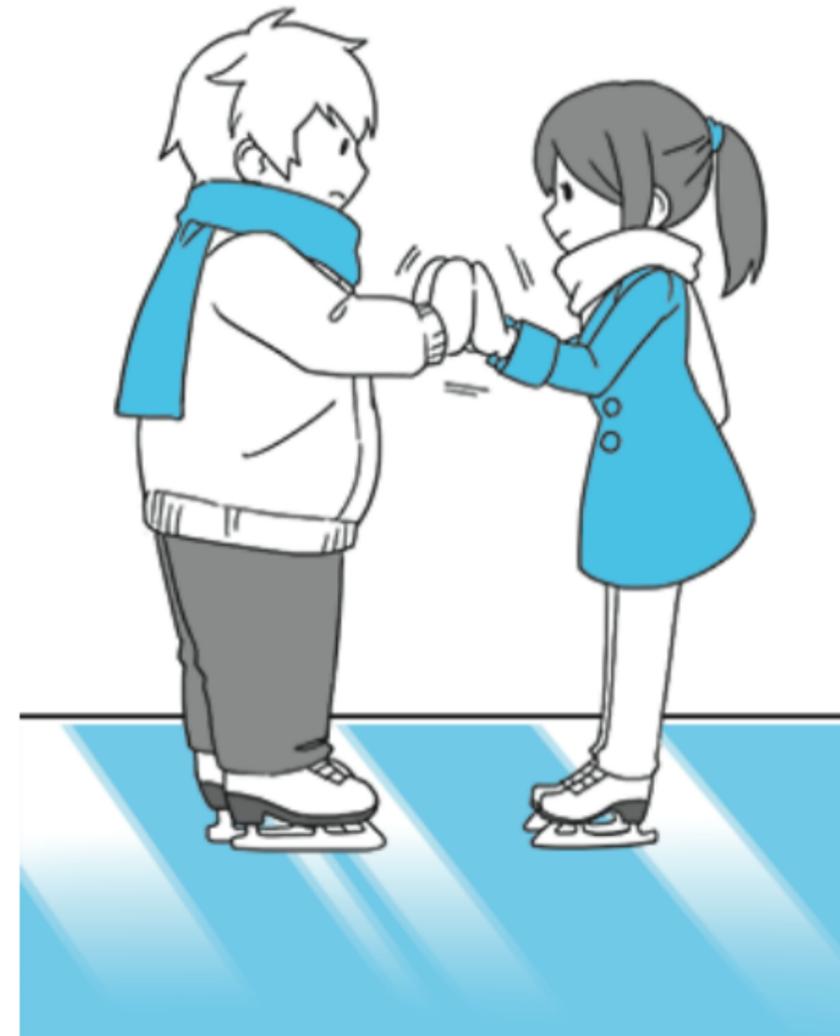
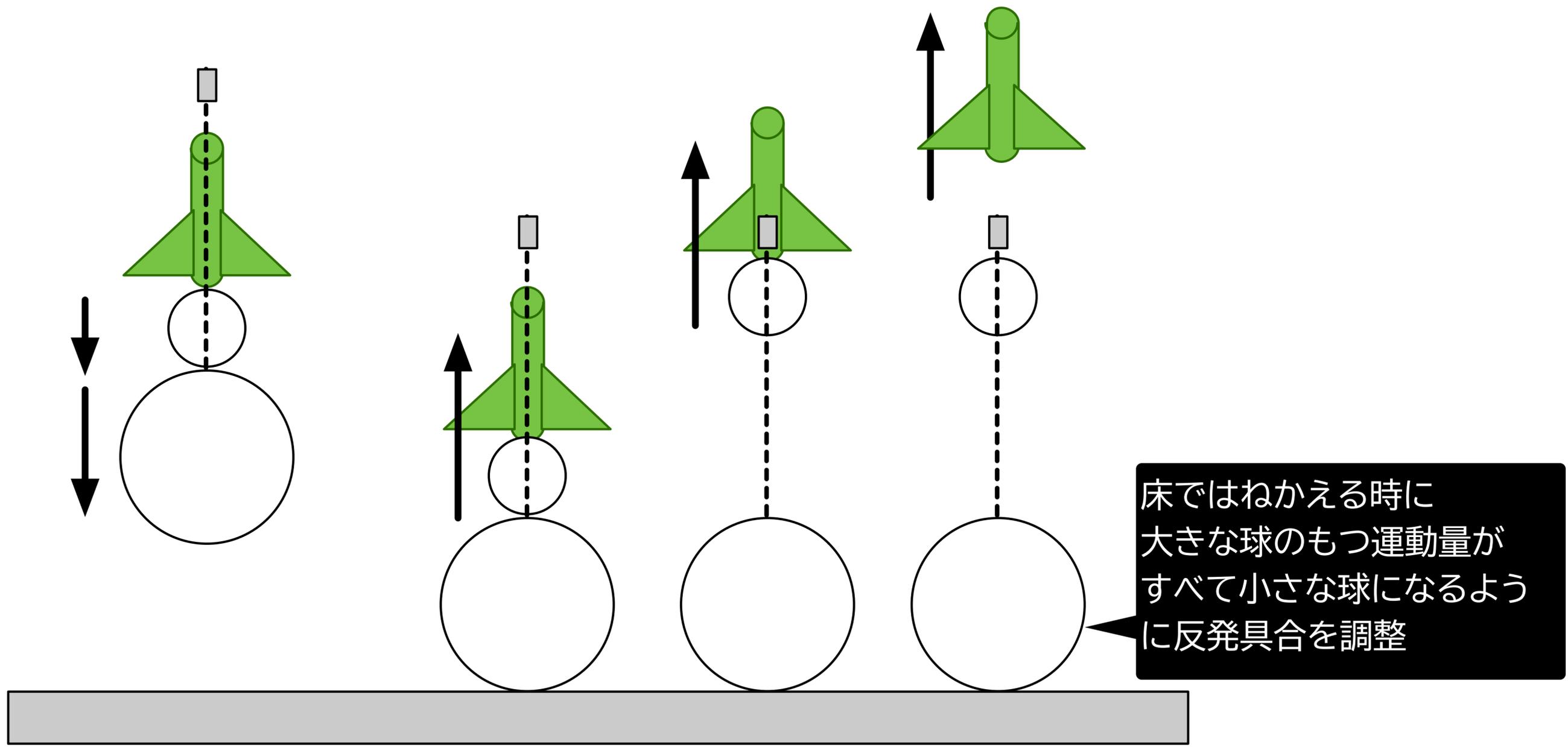


図 2.23: 〔左〕ビリヤードの球の衝突前後で, 全運動量は保存する. 〔右〕体重の違う氷の上の 2 人が互いに力を入れて押すと?

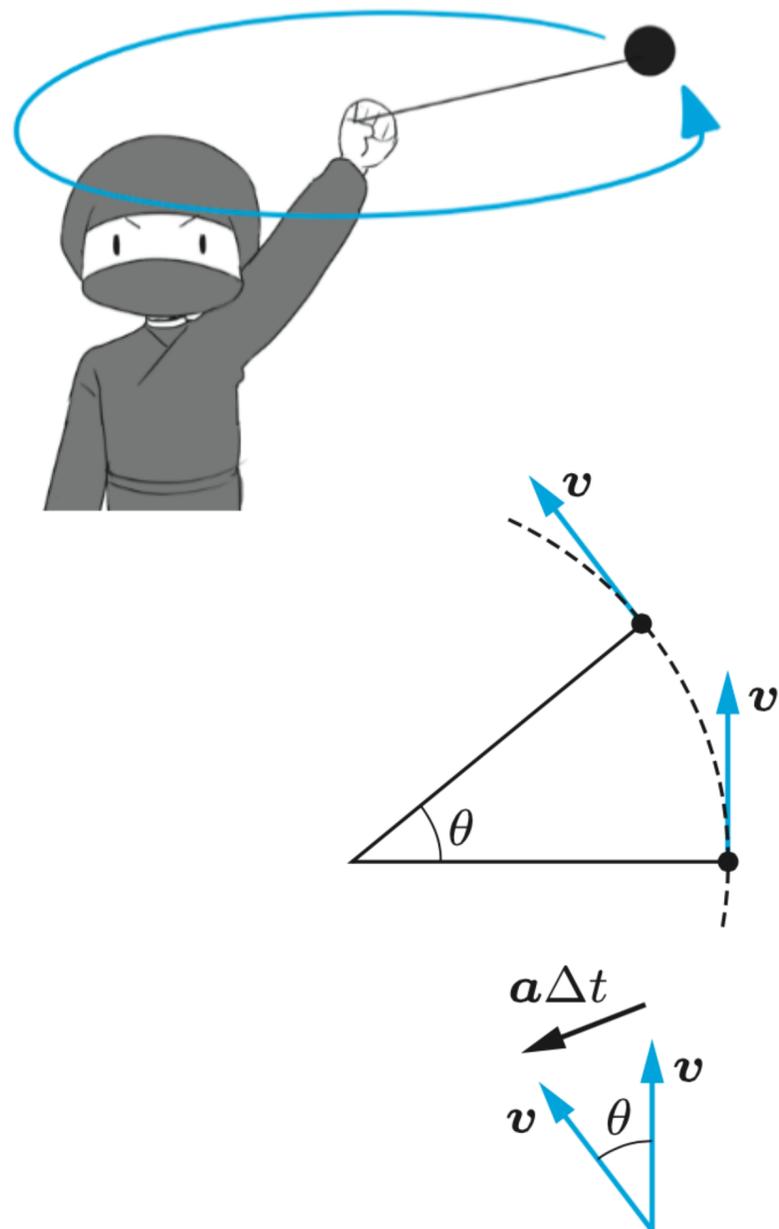
# すっとびロケット発射実験



初めの位置よりも高く飛ばすことができるロケット

## 運動9

## 円運動



## 公式 円運動と向心力

円運動をしている物体には、円の中心方向に向心力がはたらいていることになる。物体の質量を  $m$ 、回転速度を  $v$ 、回転半径を  $r$  とする。

- 円運動するための中心方向の加速度を向心加速度という。

大きさは幾何学的に、 $\frac{v^2}{r}$  となる。

- したがって、向心力の大きさは、 $F = m \frac{v^2}{r}$  となる。

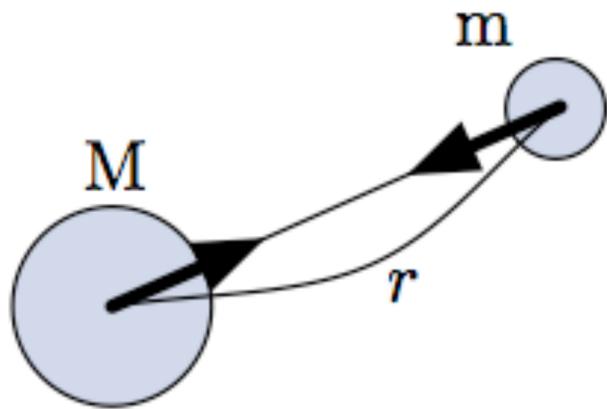
- 円運動しているときは、物体にはたらく力の総和が向心力になっていて、運動方程式は次式になる。

$$m \frac{v^2}{r} = \text{中心方向の力の和} \quad (2.64)$$

円運動を一周するのに要する時間を**周期**といい、 $T$  [s] で表す。円周は、 $2\pi r$  だから、

$$T = \frac{2\pi r}{v}$$

# 地球半径をぎりぎり円運動



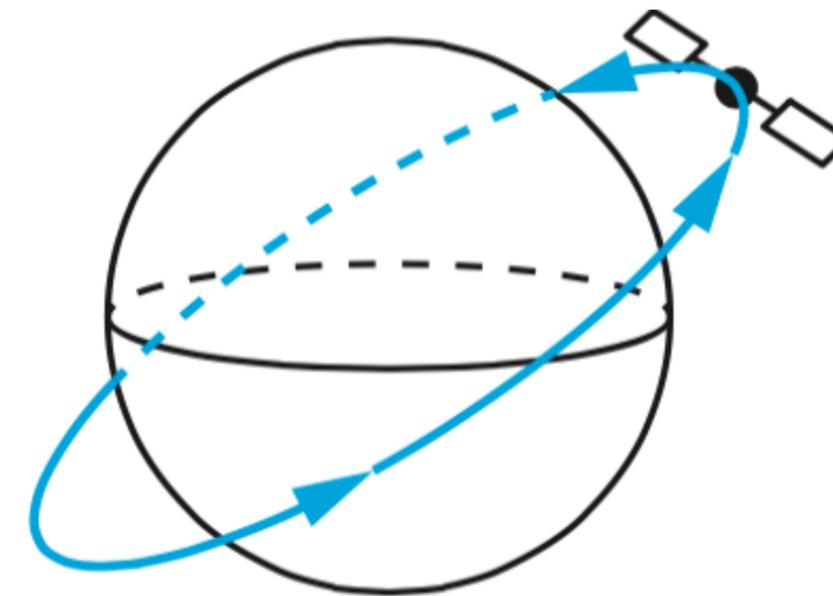
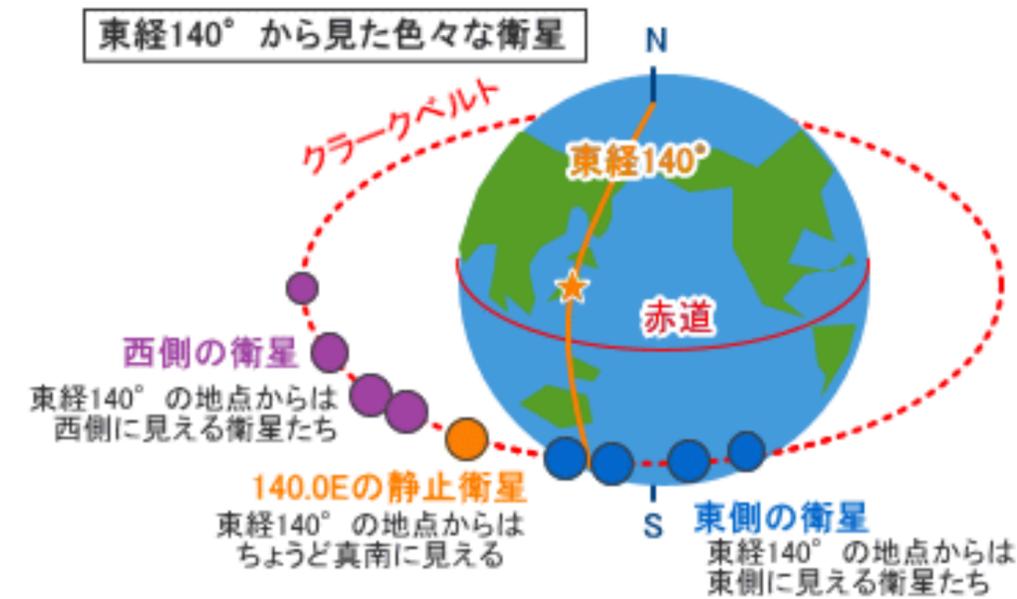
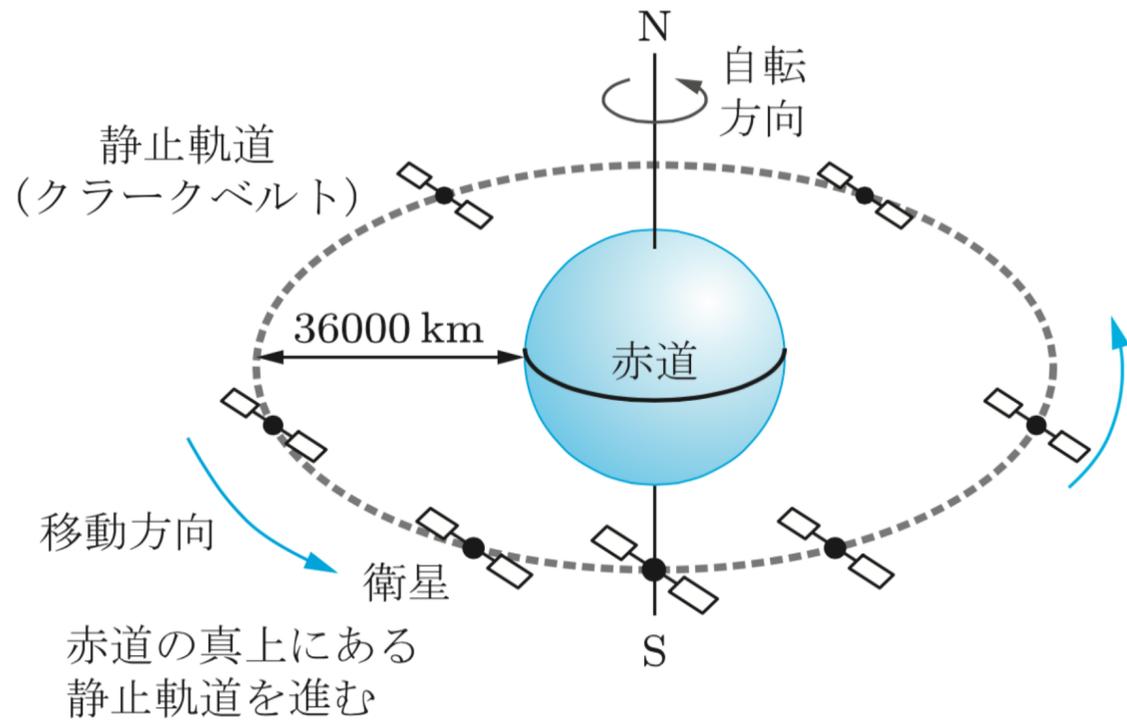
## Topic 地球半径をぎりぎり円運動

地球表面の重力  $mg$  が向心力となって、地球半径  $R$  をぎりぎり円運動しているロケットを考えよう。円運動の式は、

$$m \frac{v^2}{R} = mg$$

となるので、 $v = \sqrt{gR} = 7.90 \text{ km/s} = 28400 \text{ km/h}$  となる。この値を第 1 宇宙速度ともいう。この値での 1 周に要する時間は、約 85 分になる。この速さ以上でボールを投げれば、地面に落ちずに地球を一周することになる（速度が大きければ楕円運動をする）。

ちなみに、地球の重力圏を脱出するのに必要な初速度は第 2 宇宙速度（脱出速度）とよばれ、 $v_2 = \sqrt{2gR}$  の値になる。地球の場合は、 $v_2 = 11.2 \text{ km/s}$  である。



**Topic 静止衛星軌道は赤道上空だけ**

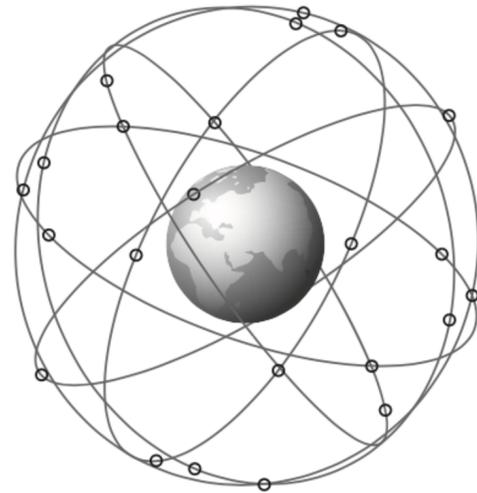
地球からの万有引力は常に地球の中心方向にはたらくため、人工衛星の軌道は地球中心を含んだ大円になる。赤道上空以外では、必ず緯度が増えることになり、上空に静止させておくことができない。

BS/CS デジタル放送のアンテナは赤道上空の東経 110 度方向（春分の日午後 2 時の太陽の方向）に向ける。CS 放送は東経 124 度あるいは 128 度方向（春分の日午後 1 時の太陽の方向）に向ける。どちらも衛星のある方向である。



# GPS (Global Positioning System)

3機以上から電波を受信できれば、3点測量で位置がわかる。  
4機以上から電波を受信できれば、高度までわかる。



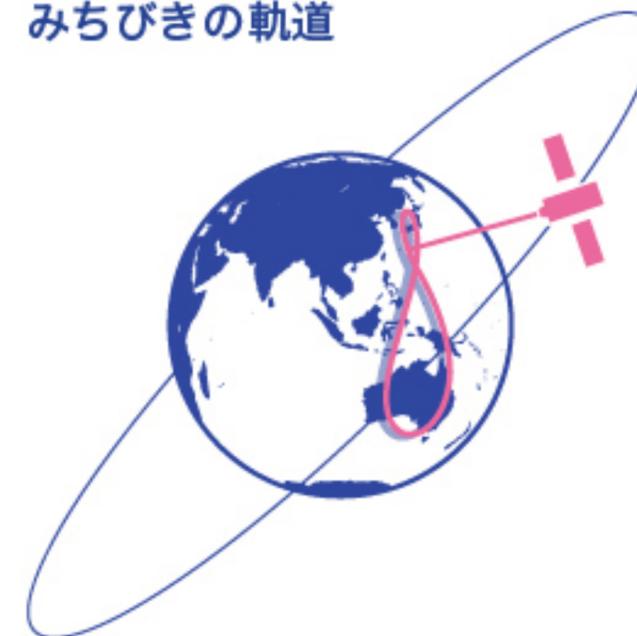
ビルの谷間でも受信できるように  
日本の上空に衛星がほしい。  
しかし日本の上空に静止させることは不可能だ。

8の字を描く衛星を7機打ち上げる

GPSの精度は、数m から 数 cm へ



みちびきの軌道



力7

## 見かけの力:遠心力

## 法則 遠心力

回転運動している人の立場で考えると、回転の外向きに遠心力を受けるように感じる。その大きさ  $F$  は、物体の質量を  $m$ 、回転の速さを  $v$ 、回転半径を  $r$  とすると、 $F = m \frac{v^2}{r}$  となる。

- 遠心力のように、見ている人の立場によって、あつたりなかつたりする力を**慣性力**という。

ブランコ

空中ブランコ



遊園地の空中ブランコ



## カ7

## 見かけの力:遠心力



**例 1** 水の入ったバケツを上下に円運動させる。

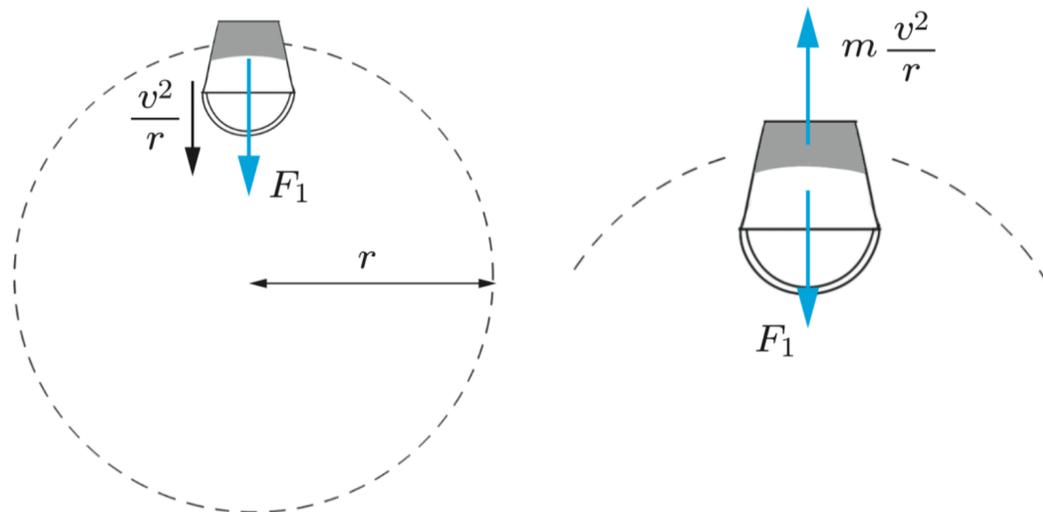
勢い良くまわせば、水はバケツから流れ落ちずにぐるぐる回る。

- **バケツを眺めている人の立場**では、水はバケツと共に円運動をしている。はたらいている力は、人がバケツを回す手の力  $F_1$  である。だから運動方程式は

$$m \frac{v^2}{r} = F_1 \quad (2.66)$$

- **バケツ内の水の立場**では、水はバケツ内に静止している。バケツは中心方向に向心力  $F_1$  で引っ張られているが、水はその中で静止しているので逆向きに力（遠心力  $m \frac{v^2}{r}$ ）がはたらいてつりあっている、と考える。だから、運動方程式は（つりあいの式であり）

$$m \cdot 0 = F_1 - m \frac{v^2}{r} \quad (2.67)$$



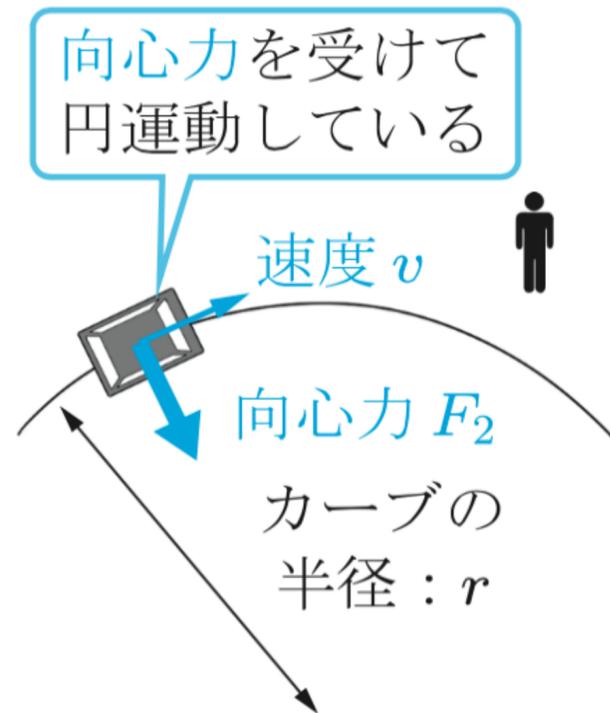
(a) バケツが円運動をしているとみる立場

(b) バケツとともに運動している立場

# 車がカーブするとき, どちらに力がかかる?

外から見る人 (静止系)

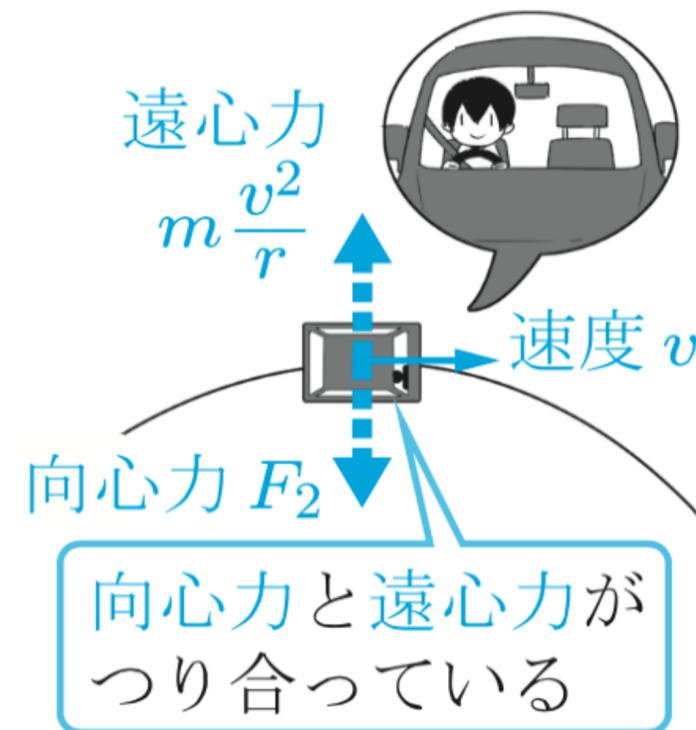
車は円運動



向心力を受けて,  
円運動している.

車内の人 (加速度系)

運動なし



向心力と遠心力が  
つりあっている.

# 車がカーブするとき、どちらに力がかかる？

## Topic 線路のカーブは斜めに敷設される

列車や自動車がカーブを曲がる時には車両や乗客は外向きに遠心力を受けるので、バランスが崩れやすい。鉄道線路では、カーブでは外側がやや上になるように傾きがつけられてレールが敷設され、カーブを走行する列車の重力と遠心力の合力がレールを押し方向になっている。

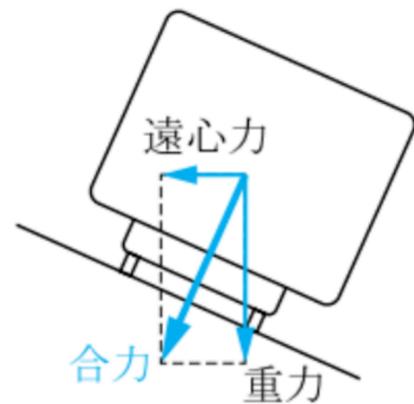
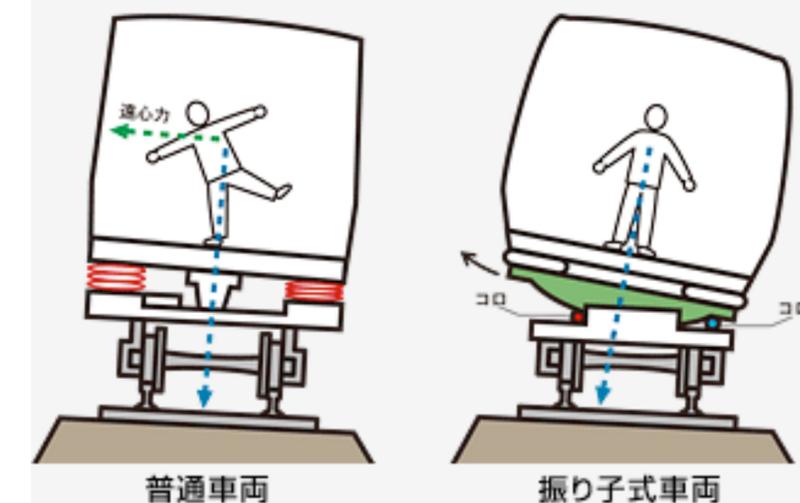


図 2.106 重力と遠心力の合力がレールを押し方向になれば、列車は安定する

## 振り子式車両でスピードアップ



スピードアップを実現した振り子式車両のメカニズム



<http://www.toretabi.jp/train/vol08/01.html>

# 遠心力を利用した身の回りのもの



洗濯機

洗濯機

洗たく機



洗たく機の脱水

洗濯機 (脱水時)

洗濯機の脱水機能

洗濯機の脱水



レタス等の水切り 



野菜の水切り、(サラダスピナー)



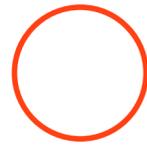
ミキサー? (蓋が壊れたときは、混ぜる材料が拡散して大変なことがあります。)

# 遠心力を利用した身の回りのもの



公園のあれ 

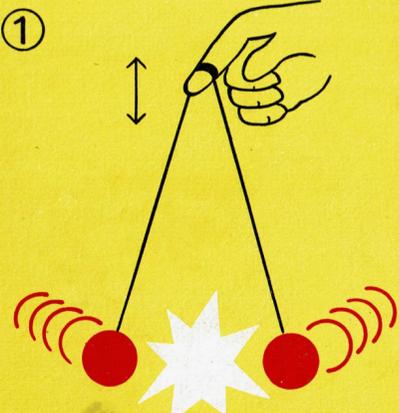
公園にあそびたい回す遊具 

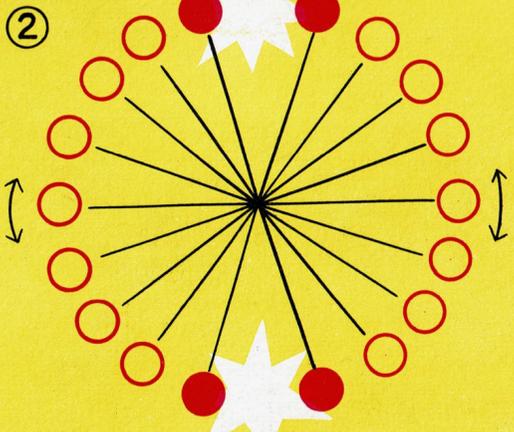


アメリカクラッカー

〈遊び方〉

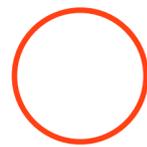
屋内や人やガラスのそばで遊ばない様に注意して下さい

① 

② 

図のようにして軽く上下に動かすと球がぶつかりあいます

強く上下に動かすと円をえがいてはね上り、上と下でぶつかりあいます



ハンマー投げ

ハンマー投げの道具



陸上競技の「ほうかん投げ」とか「円はね投げ」

砲弾投げ

砲弾は投げないで

# 遠心力を利用した身の回りのもの



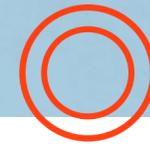
・残り少なくなったマヨネーズ等を振り  
遠心力で出かす




・お風呂で手をグルグルまわると、うみを巻く。 **X**

・ラケットでボールを保持できるといわれる。グルグル技術でボールをキープできる。

・台風(?) **X**



傘を回ると水滴が外に飛ぶ。



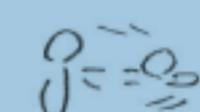
道具じゃないんだけど、  
ピザまわし



Hand tossing a pizza at Nick-N-Willy's



道具ではないですが、大人が子供と遊ぶときに  
振り回して子供を浮かせる遊び。  
卵の中を回すと...



# 遠心力を利用した身の回りのもの



調剤薬局でぬり薬を器にきれいに入れるための機械が遠心力を使ってる。



遠心分離機



## 【2015年カタログ商品】

【品番】

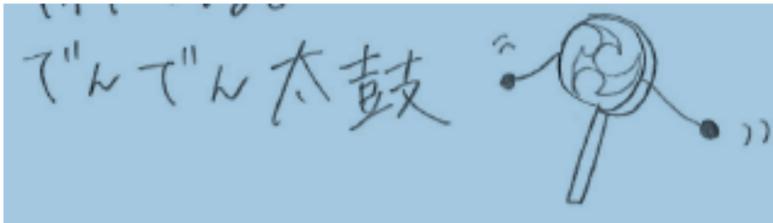
KN-100F

【仕様】

●混練容量：10?100g ●サイズ：W300×D360×H425mm ●重量：約23kg ●電源：AC100V 50/60Hz ●付属品：指定軟膏容器アダプタ ●誰が使用しても同じスピードで、同じ品質の軟膏調剤ができ、調剤作業の軽減とミスの防止に役立ちます。 ●フリーバランス機能搭載で10?100gのミックス時はバランス調節の必要がありません。

注文番号	タイトル	(定価)販売価格 (税別)	
	数量	単位	
23-6692-00-01	軟膏混練機 マゼリータ KN-100F 軟膏容器メーカー：純正容器・シンリョウ		(¥780,000) <b>¥738,462</b>
	1	個	<b>カートに入れる</b>

# 遠心力を利用した身の回りのもの



バター製造過程

生乳や牛乳などから遠心分離により、乳脂肪分を分離します。乳脂肪分35~40%に調整した原料がバター



777-7°



昔ながらの製造方法で作られるバター



よつ葉乳業株式会社  
チャンネル登録者数 2110人

チャンネル登録

81



共有

オフライン



18,881 回視聴 2015/11/30

バターの製造は、今では効率的な連続式（原料クリームからバターをつくる一連の流れをすべて機械で行う製法）が主流ですが、オホーツク北見工場では、チャーと呼ばれる巨大な立方体が特徴の装置を用いる、伝統的なバターづくりを行っています。チャーの中にクリームを入れて回転させ、人が直接機械を操作しながらバターをつくっていくため、手間暇がかかり、熟練を必要とする技術でもあります。

<https://www.youtube.com/watch?v=WD1clk-vRRI>

# 遠心力を利用した身の回りのもの



いかを干す機械



## 干物干し機 角太郎



(天日干しシシャモ 600匹~800匹/台)

AC100Vモーター搭載の回転式  
干物乾燥機

特徴：小魚のいわし・シシャモ  
の天日干しに最適です。

価格 7万円



## 干物干し機 丸太郎SP付

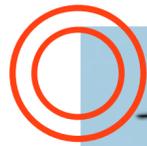
AC100V、3Wモーター搭載の回  
転数可変干物乾燥機

特徴：ホッケ、アジ、秋刀魚、天  
日干し魚、干物作りに最適です

参考価格 10万円



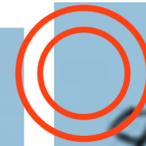
# 遠心力を利用した身の回りのもの



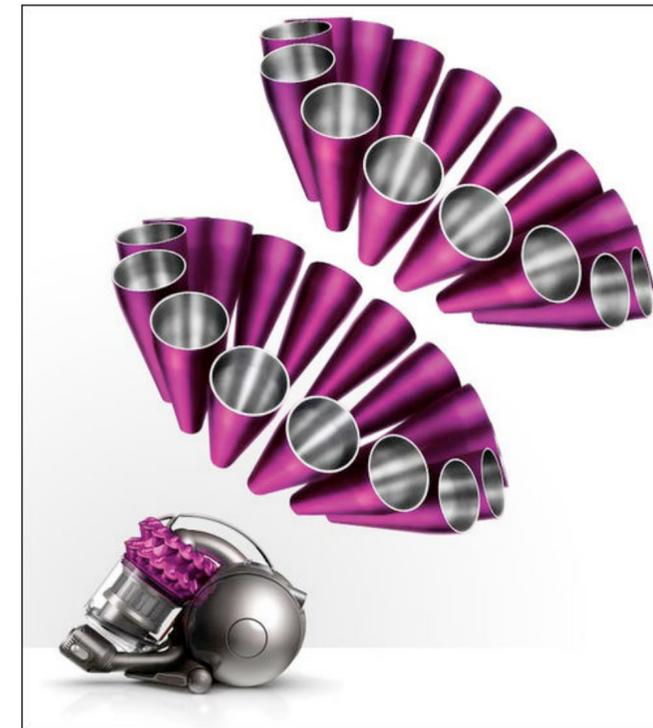
サイクロン掃除機



サイクロン  
ぞうじき



ダイソンの掃除機



Dyson Cyclone CM JPNversion

[http://www.youtube.com/watch?v=uqbyj\\_VNCgw](http://www.youtube.com/watch?v=uqbyj_VNCgw)

千葉県 Rさんからの出題

エアコンをつけたまま  
左にカーブすると...

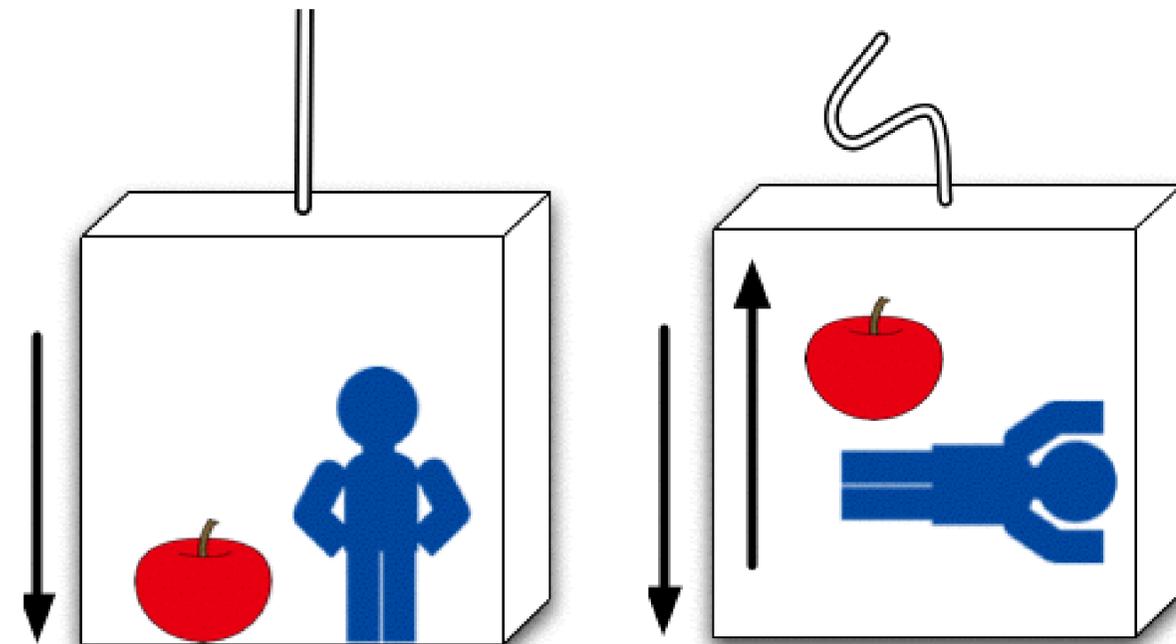
風が右に曲がる時と  
左に曲がる時がある



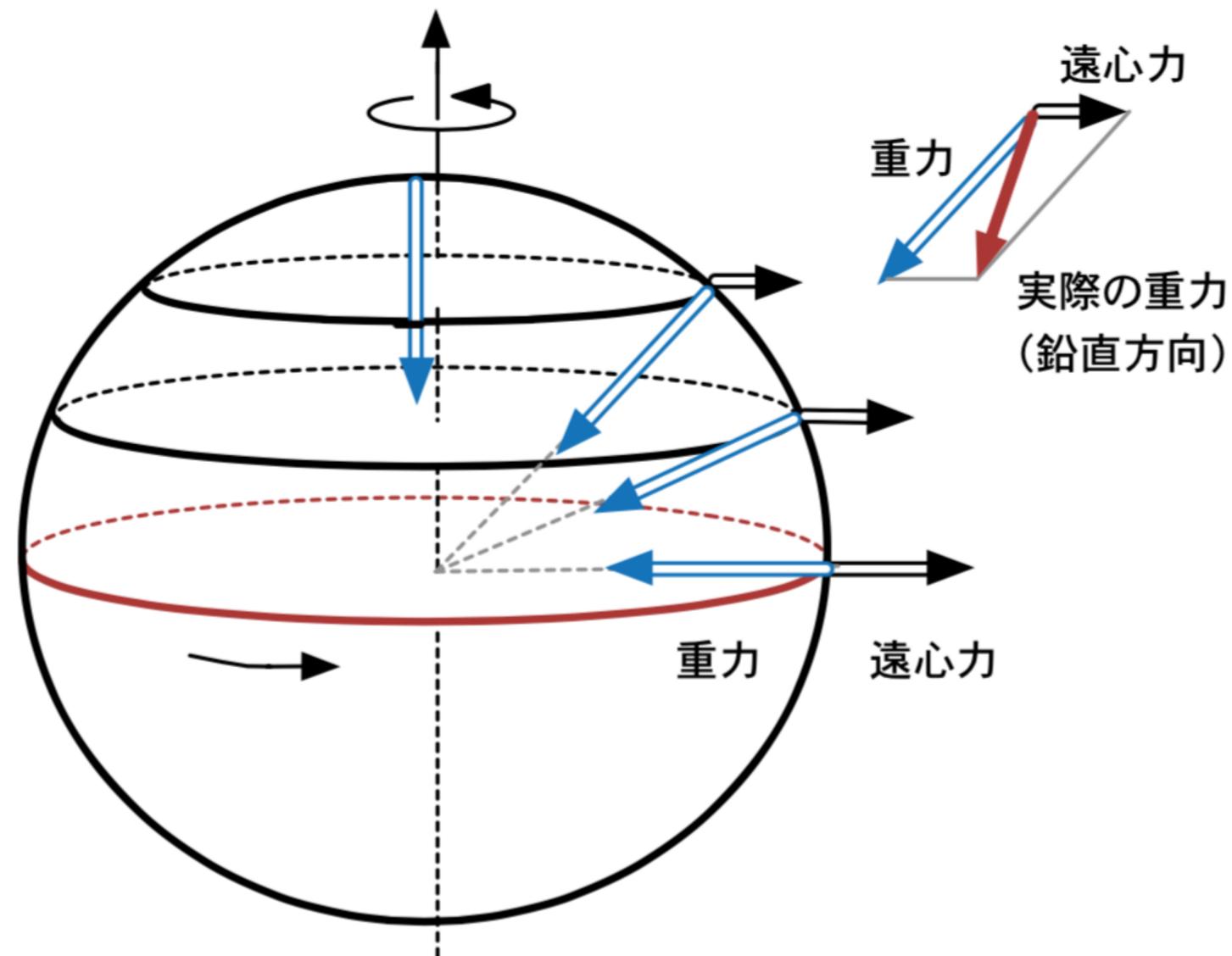
一般化して、「慣性力」

**法則** 慣性力

加速度  $a$  で動いている人の立場で運動を考えるときには、物体（質量  $m$ ）の運動には、その加速度と逆向きに大きさ  $-ma$  の慣性力を加えて考えないとつじつまが合わない。遠心力は慣性力の一つである。



# 地球の遠心力

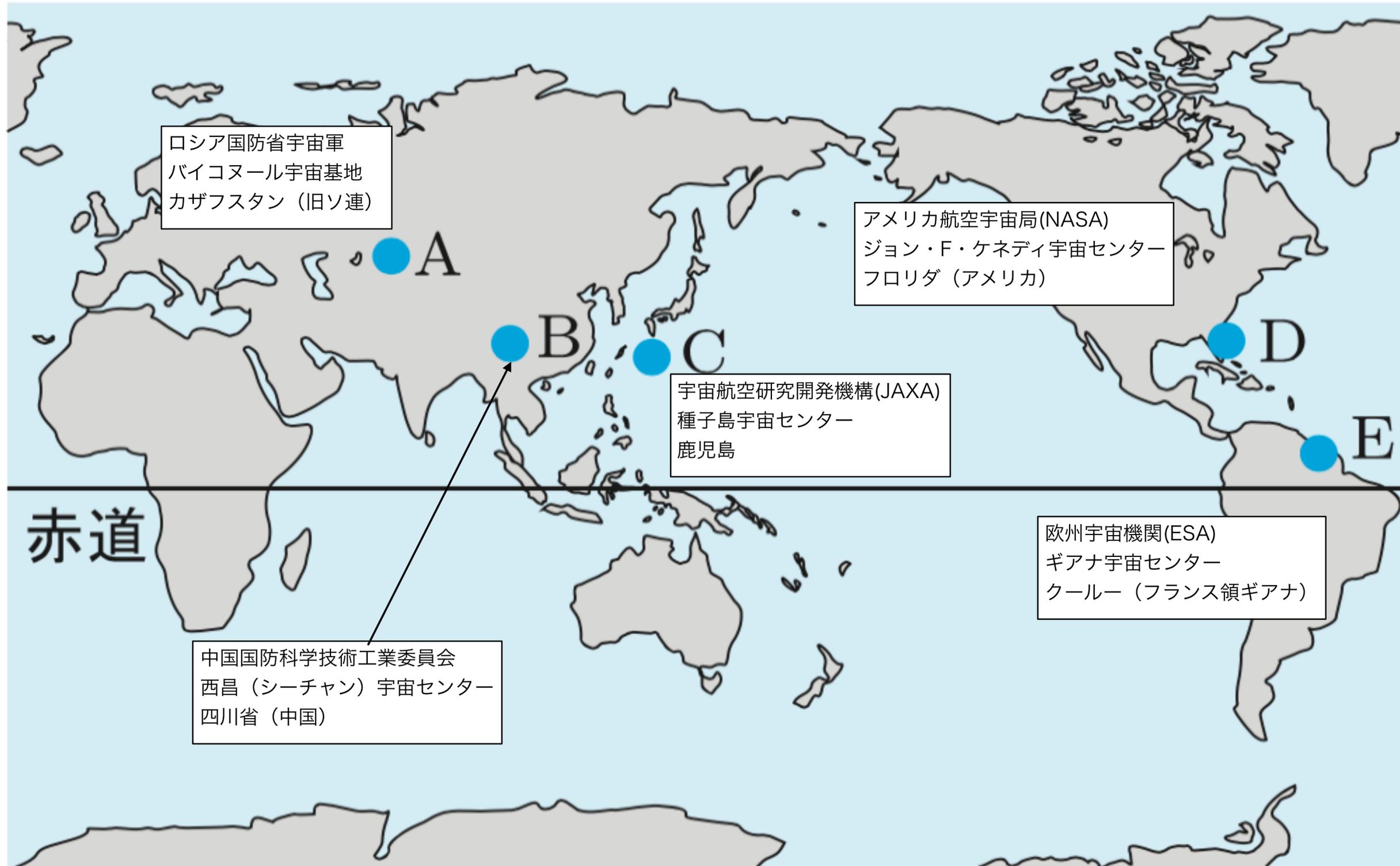


リンゴの落ちる方向は、  
地球の中心向きではない。

問 2.32

遠心力の大きさを考えて、北極点と赤道上で体重計に乗ると、違いは何%生じるだろうか。

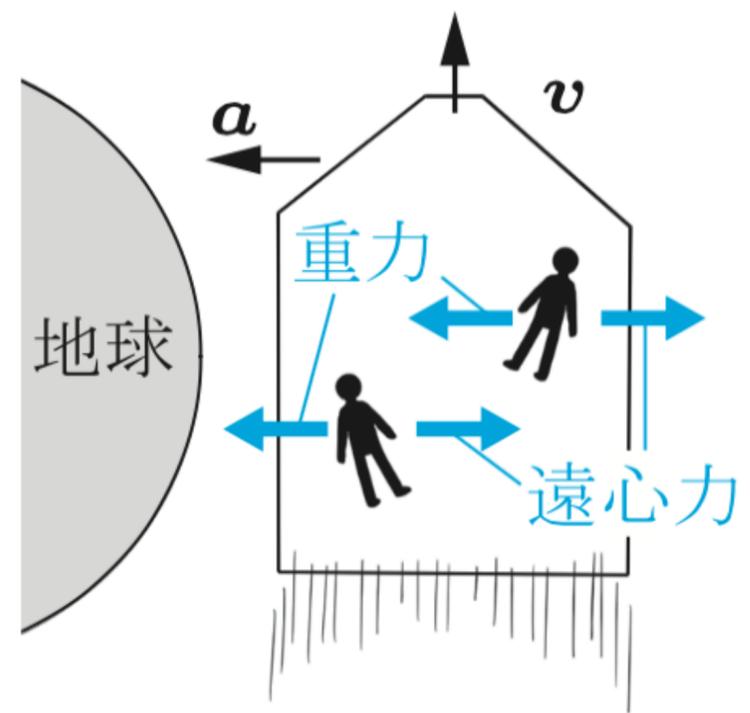
# ロケット発射場はなるべく赤道近くに



# 宇宙ステーション内が無重量になる理由？



国際宇宙ステーション想像図 (提供: 米国航空宇宙局 (NASA))



- 無重量状態
- × 無重力状態

# 無重量状態をつくることは可能か？



## 無重力体験 ～アメリカ～



ボーイング727による宇宙体験・無重力体験飛行がアメリカ・ラスベガス、ケネディースペースセンターなどで楽しめます。

天井や壁を歩いてみたり、スーパーマンのように宙を飛んだり、水球になった水を飲んだり(?)... などなど。楽しみ方は、自由！無重力状態でどんな事を試してみますか？

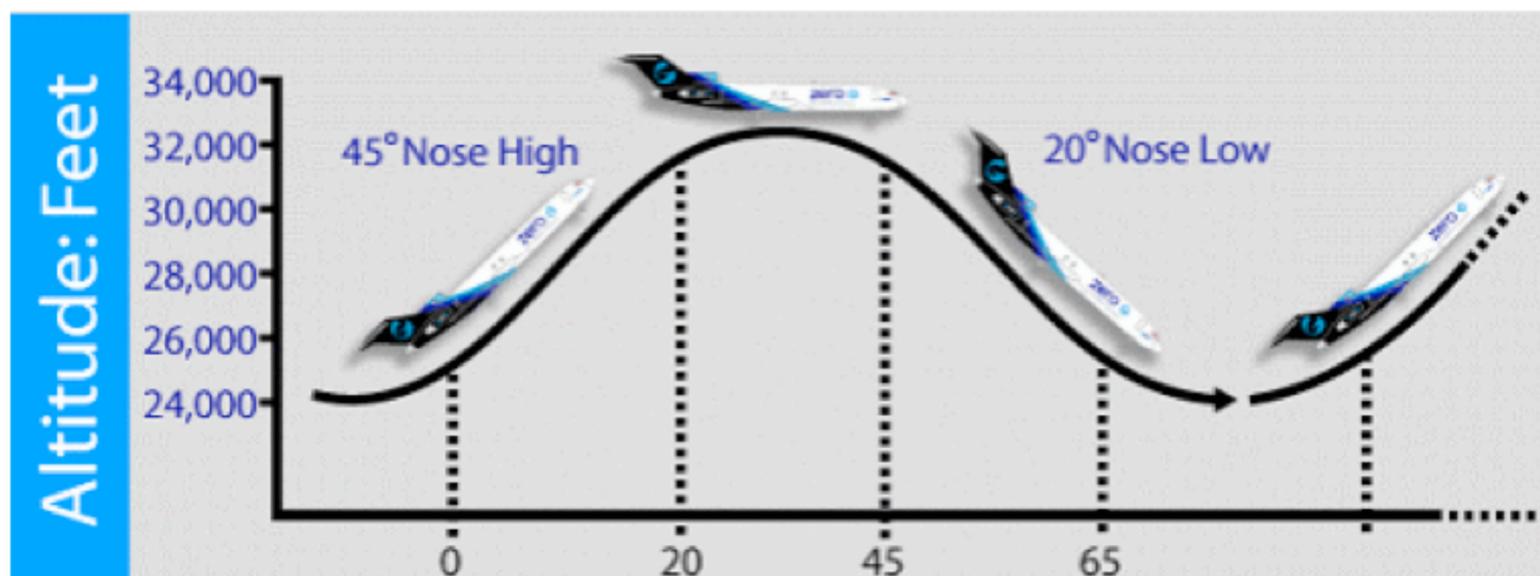
このプログラムでは、無重力体験のみでなく火星や月の重力も体験できます。

### 無重力体験・概要

高度24,000ft (約7,315m) から45度の角度で34,000ft (約10360m) まで地上の1.8倍 (1.8G) の重力を感じながら、一気に上昇し、その後下降します (パラボラテック飛行)。この時に無重力を25-30秒程度お楽しみいただけます。

30秒という時間は短いようですが、通常スカイダイビングでのフリーホールの時間 (バンジージャンプの5回分より長い) 時間とほぼ同じです。無重力の間は、スーパーマンになったように空を飛ぶなど思い思いにお楽しみ下さい。

また、このプログラムでは、10回の無重力が予定されていますが、それ以外に3回の月 (地球の1/6) や2回の火星 (地球の1/3) の重力も同じフライトでお楽しみいただく予定です。



[http://www.ctn-japan.com/tracon/space/zerog\\_us.html](http://www.ctn-japan.com/tracon/space/zerog_us.html)

# 前回のミニッツペーパーから

[4-3] ゆでた卵は、ゆでていない卵よりも回転する。その理由は？

生  ← 黄身と白身それぞれの運動がある  
or  1つのかたまりとしての運動  
↑ 2つの運動の方が大きいから回りやすい？

?

中身が固まっているゆでた卵は、重心が「はねない」が、生の卵は中身に円運動がはたらくため、重心がぶれることにより、回転しにくい。  
 

 → 液体だてあるころはさう (きろんと加速しない?)  
 → ある程度の固さがあると加速しやすそう

内身が遠心力で外側へよるから、生玉子は茹で玉子より回転しにくい。  
 

ゆでていない状態だと、中の黄身が固まっているため、重心が安定しているから。反対に生卵は中身ごと揺れるため、外側の反対の動きをするから？

ゆでていない卵は中身が動くから、

中身が液体から固体に変わるから？



密度が高いから。

表面が熱によって変化できるから？  
重心が変化？



黄身の状態しか違いが分からないので、それが理由だと思ったけれど、どのように作用して回転数に影響するのか？

ゆでたまご「食べる」について!!

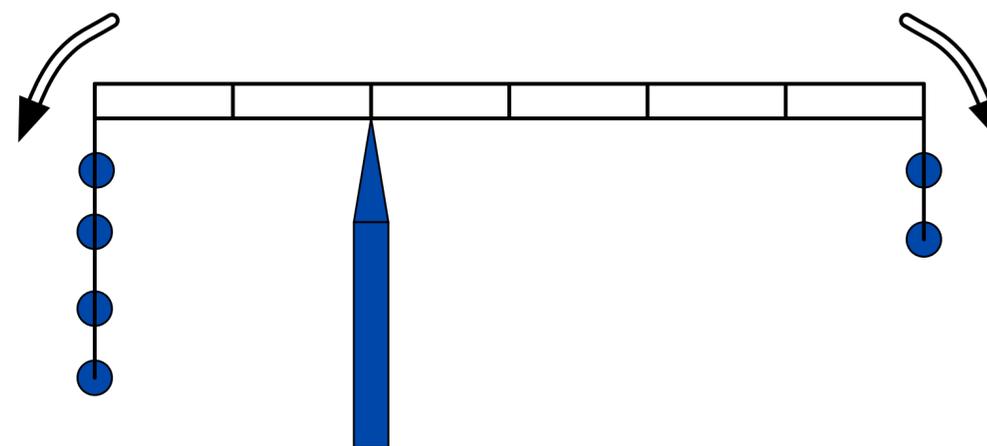
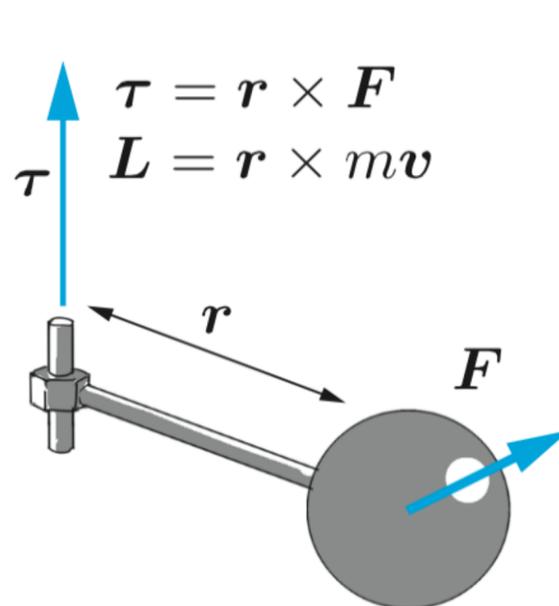
# トルク = 回転させようとする力

## トルクと角運動量

回転運動させようとする力をトルク，回転運動の運動量を**角運動量**という。

$$(\text{トルク } \tau) = (\text{回転半径 } r) \times (\text{力 } F)$$

$$(\text{角運動量 } L) = (\text{回転半径 } r) \times (\text{運動量 } mv)$$

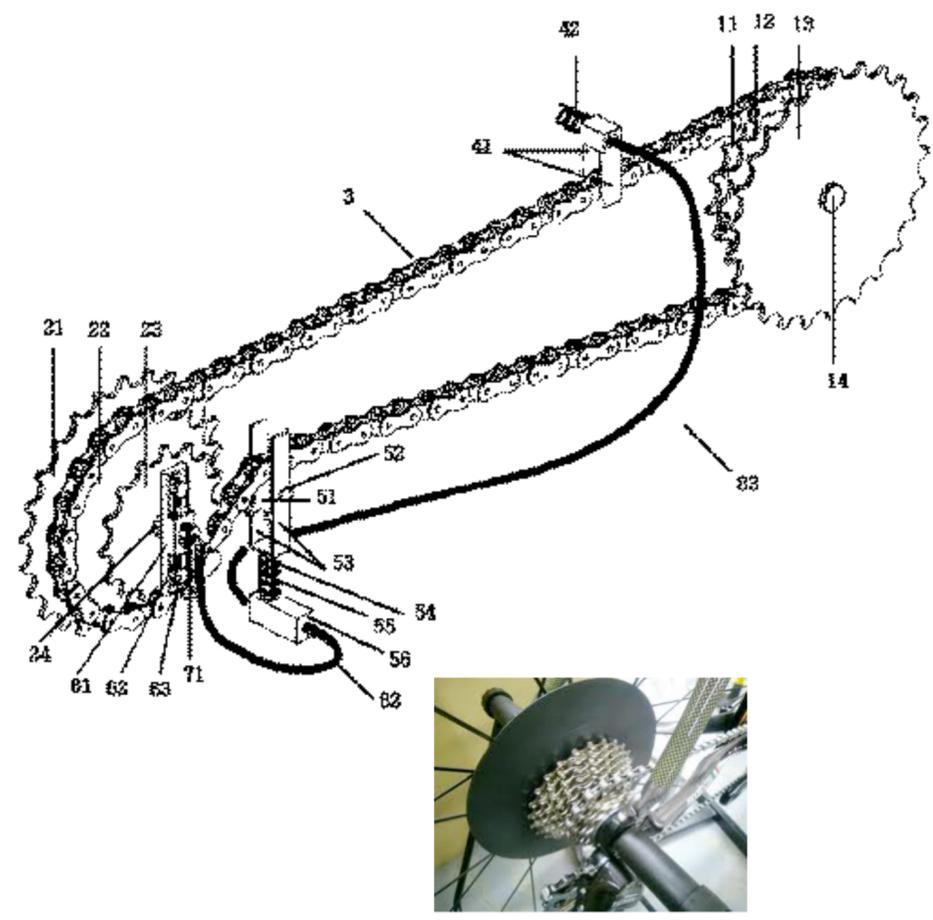


トルク (torque) は、  
回転モーメントとも呼ばれる

# トルク = 回転させようとする力



工具



自転車のギア比

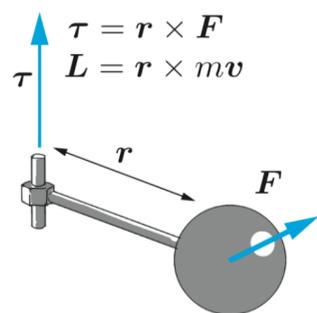
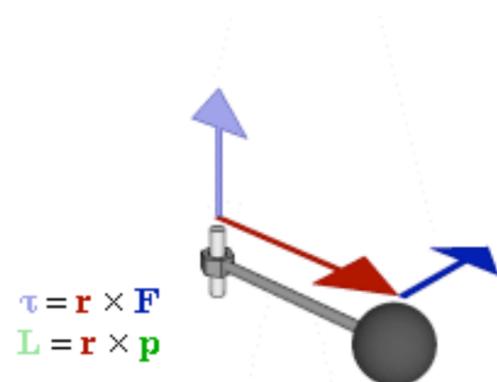
# 角運動量 = 回転運動の運動量

## トルクと角運動量

回転運動させようとする力をトルク，回転運動の運動量を**角運動量**という。

$$(\text{トルク } \tau) = (\text{回転半径 } r) \times (\text{力 } F)$$

$$(\text{角運動量 } L) = (\text{回転半径 } r) \times (\text{運動量 } mv)$$



トルク = 回転させようとする力  
角運動量 = 回転している運動量

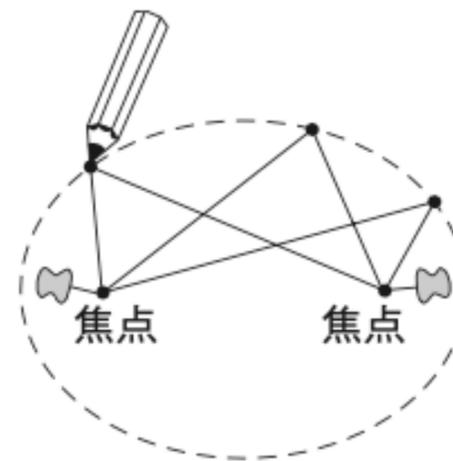
# ケプラーによる惑星の運動法則

Johannes Kepler  
(1571-1630)

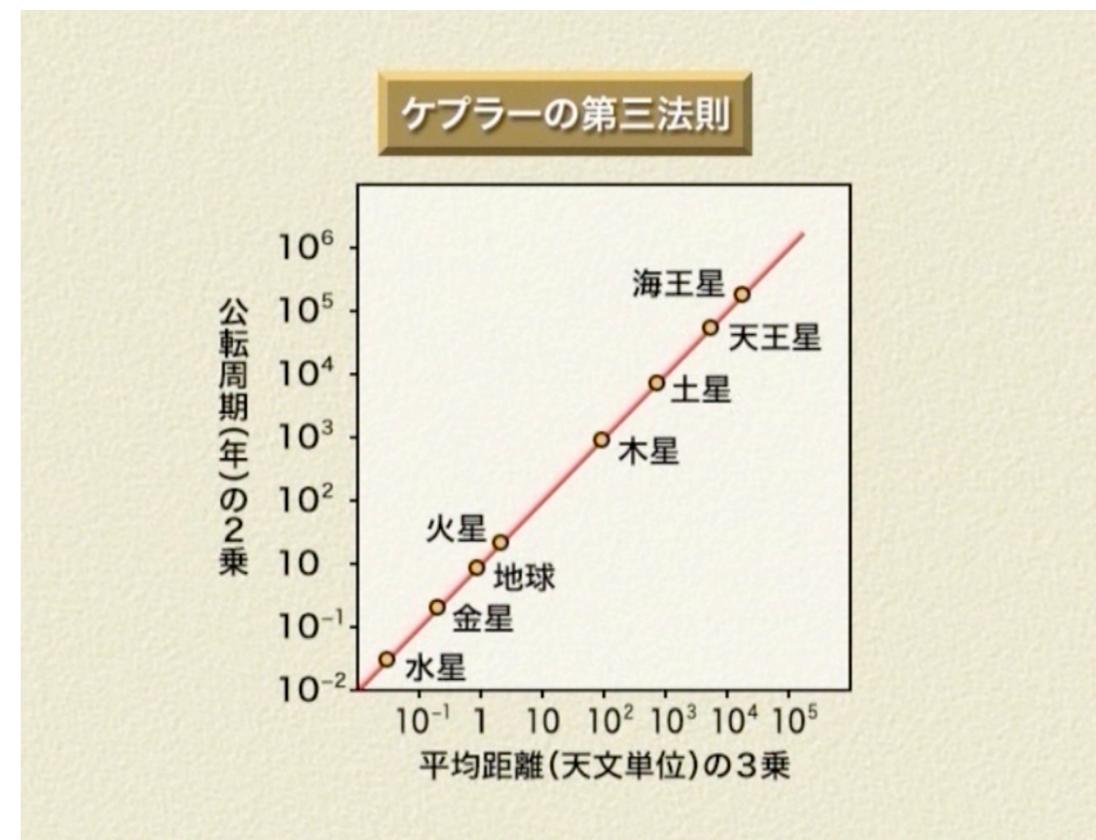
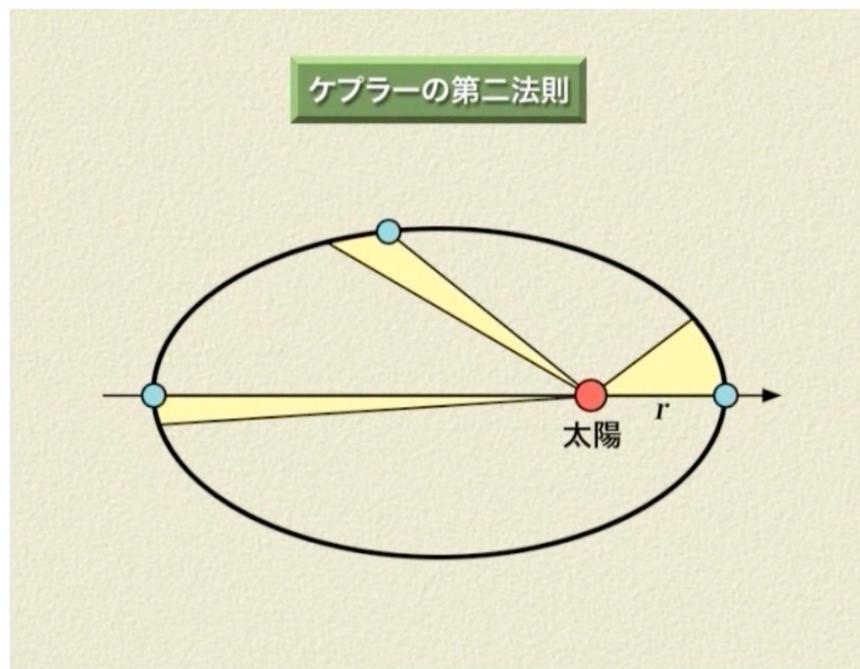
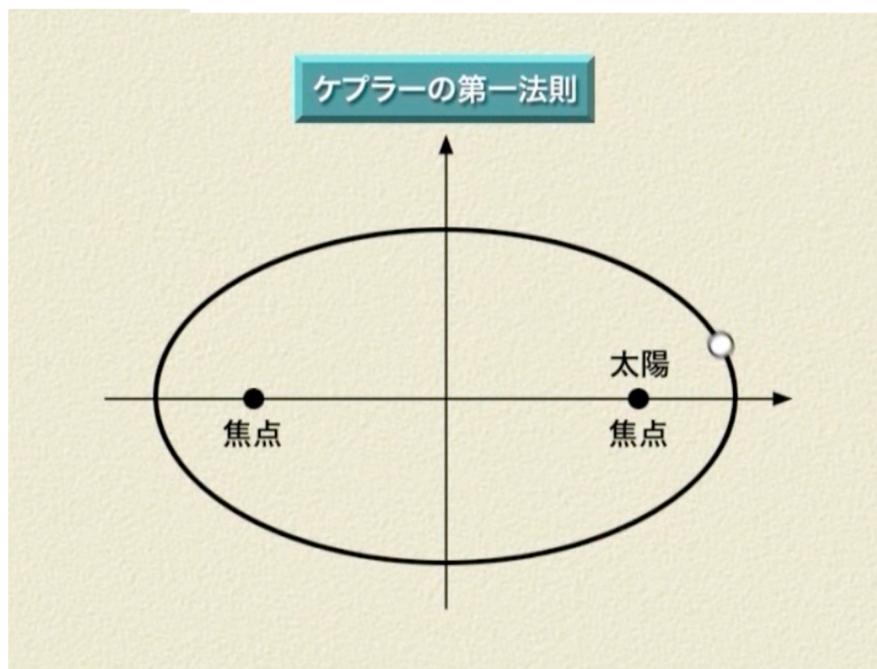


## ケプラーによる惑星の運動法則 (1609年, 1619年)

- 第1法則 楕円軌道の法則**  
 惑星は太陽を1つの焦点とする楕円軌道を描く。
- 第2法則 面積速度一定の法則**  
 太陽と惑星を結ぶ線分が単位時間に描く扇形の面積(面積速度)は、惑星それぞれについて一定である。
- 第3法則 調和の法則**  
 惑星の公転周期  $T$  の2乗と、惑星の描く楕円の長軸半径(長軸の長さの半分)  $R$  の3乗の比  $T^2/R^3$  は、惑星によらず一定である。



**図 2.13** 楕円は2つの焦点から糸を張り、ペンで一周すると描ける形である。焦点が1つに重なっていけば円になる。円は特殊な楕円である。



教科書 p83

**実験 7 回転する椅子で足をつけずに回転する**

角運動量保存則は、初めに回転がなければ、その後もずっと回転がないことを示している。回転できる椅子に座っている人が、後ろを振り向くときには、足をつけて回すことが必要だ。足をつけずに回転する方法はあるだろうか。試してみよう。

教科書 p84

**実験 8 よく回り続けるコマ**

CD 盤の中央にビー玉をつけるとコマになる。安定して長い時間回り続けるようにするには、トルクを大きくすればよい。CD 盤におもりを貼り付けておくと、安定して回るようになる。おもりの位置を中心付近、端の部分と変えてものをつくり、比較してみよう。

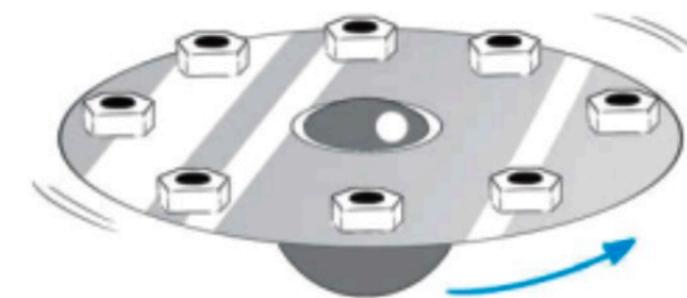


図 2.119 角運動量大きいコマ

# 前回のミニッツペーパーから

自転車に乗っても倒れないのはなぜか？

4-4  
回転椅子に座った状態で回して車輪を持ち、それを傾けると  
人間が回るのと同じ





WIKIPEDIA  
The Free Encyclopedia

Main page  
Contents  
Featured content  
Current events  
Random article  
Donate to Wikipedia

Interaction  
Help  
About Wikipedia  
Community portal  
Recent changes  
Contact Wikipedia

Toolbox  
Print/export

Languages  
العربية

Article [Talk](#)

Read [Edit](#) [View history](#)

## Falling cat problem

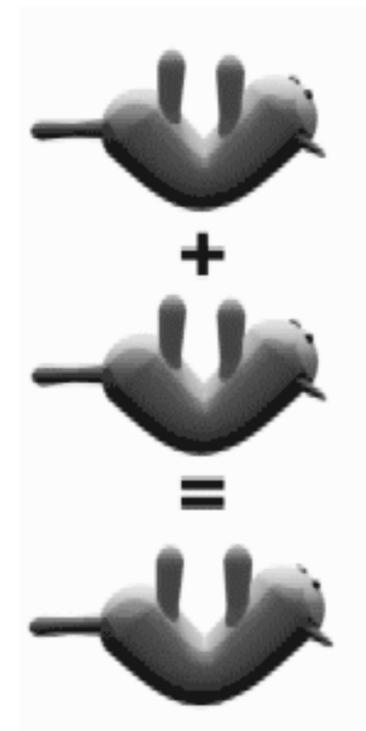
From Wikipedia, the free encyclopedia

The **falling cat problem** consists of explaining the underlying [physics](#) behind the common observation of the [cat righting reflex](#): how a free-falling [cat](#) can turn itself right-side-up as it falls, no matter which way up it was initially, without violating the law of [conservation of angular momentum](#).

Although somewhat amusing, and trivial to pose, the solution of the problem is not as straightforward as its statement would suggest. The apparent contradiction with the law of conservation of angular momentum is resolved because the cat is not a [rigid body](#), but instead is permitted to change its shape during the fall. The behavior of the cat is thus typical of the mechanics of deformable bodies.

The solution of the problem, originally due to ([Kane & Scher 1969](#)), models the cat as a pair of cylinders (the front and back halves of the cat) capable of changing their relative orientations. [Montgomery \(1993\)](#) later described the Kane–Scher model in terms of a [connection](#) in the configuration space that encapsulates the relative motions of the two parts of the cat permitted by the physics. Framed in this way, the dynamics of the falling cat problem is a prototypical example of a [nonholonomic system](#) ([Batterman 2003](#)), the study of which is among the central preoccupations of [control theory](#). A solution of the falling cat problem is a curve in the configuration space that is *horizontal* with respect to the connection (that is, it is admissible by the physics) with prescribed initial and final configurations. Finding an optimal solution is an example of [optimal motion planning](#) ([Arbyan & Tsai 1998](#); [Xin-sheng & Li-qun 2007](#)).

In the language of physics, Montgomery's connection is a certain [Yang-Mills field](#) on the configuration space, and is a special case of a more general approach to the dynamics of deformable bodies as represented by [gauge fields](#) ([Montgomery 1993](#); [Batterman 2003](#)), following the work of Shapere and [Wilczek \(Shapere and Wilczek 1987\)](#).



猫が着地できる理由は何か？

(角運動量保存則に違反していないか？)

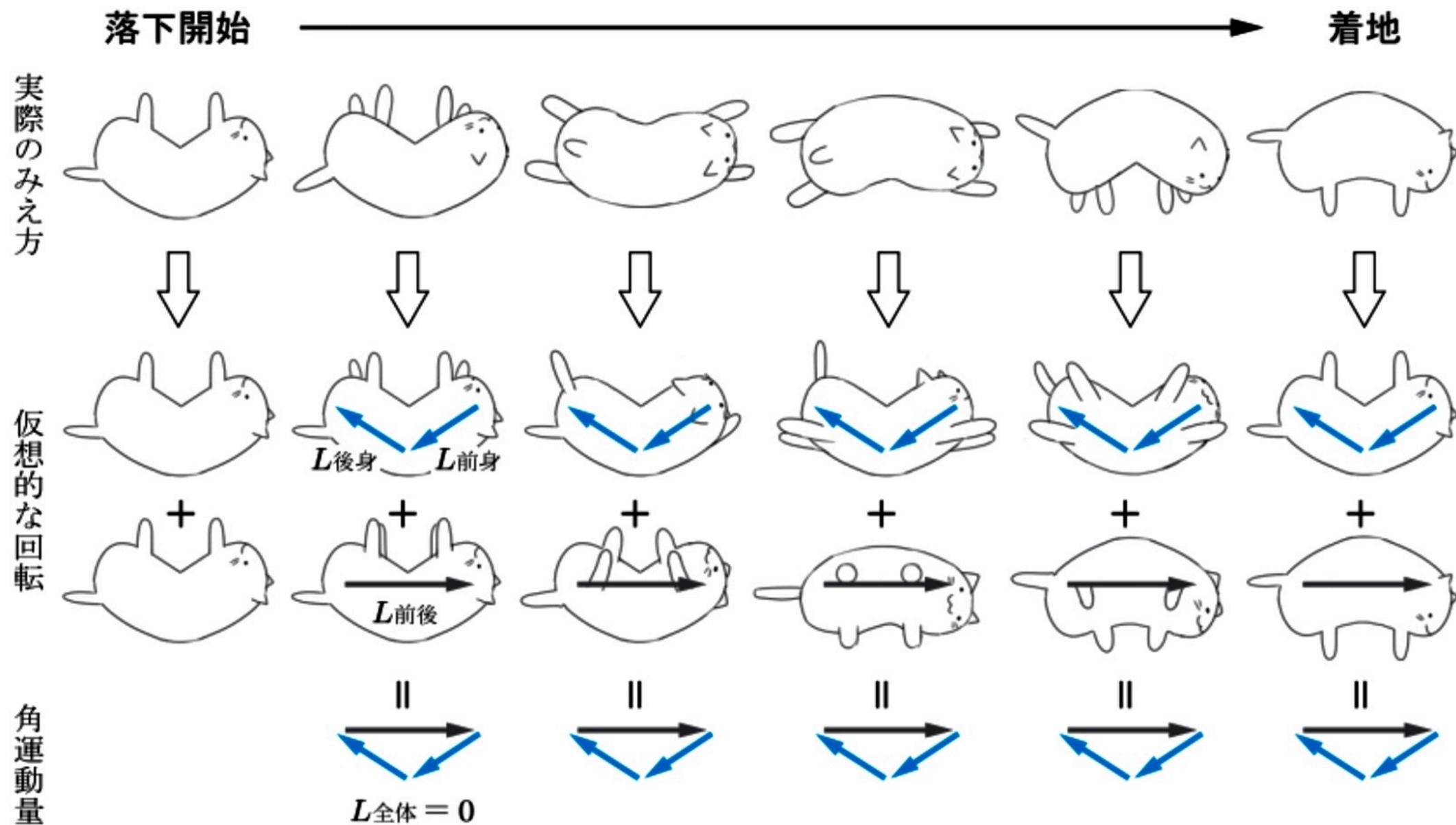
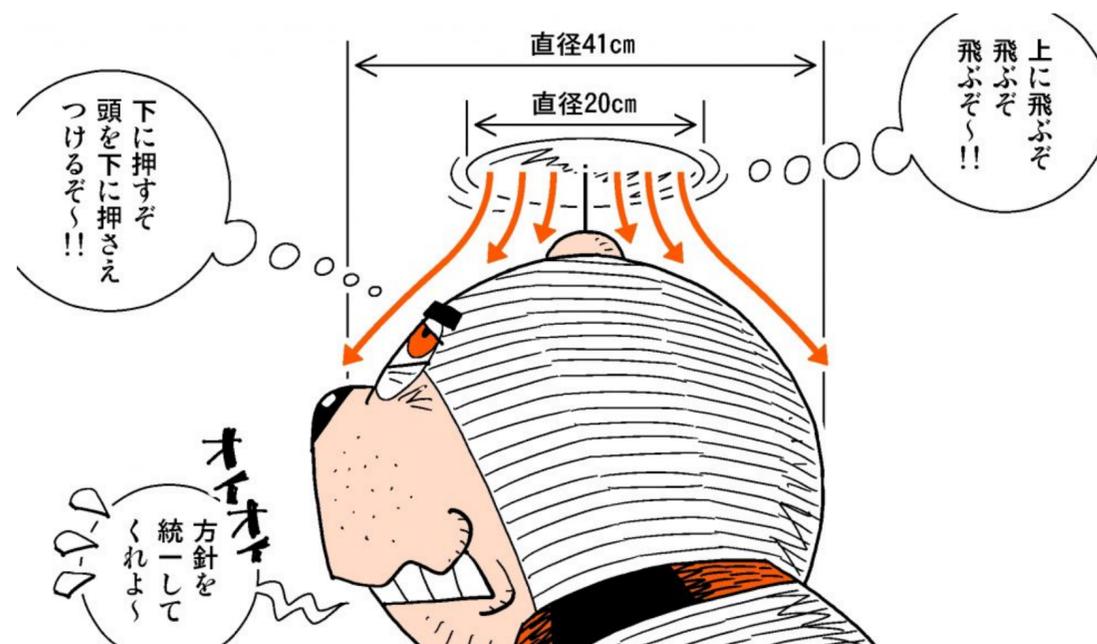


図 2.120 猫の落下問題の解決 図は左（落下開始）から右（着地）への時間変化を示し、上段は、実際の猫の体勢である。2段目と3段目は、猫の回転を分解して示した図である。猫は「く」の字に体を曲げ、前身と後身でそれぞれ体を回転させる（2段目の図）ことで、全体の角運動量をゼロにしたまま水平軸方向の回転（3段目の図）を得ていた。最下段は、すべての回転ベクトルの合成がどの瞬間でももとに戻る（すなわち、和はゼロに保たれている）こと、すなわち全角運動量はゼロのままに保たれていることを示している。

# タケコプターは可能か

## 問題点 1 :

上昇しようとする力と、風によって下へ押しつける力が相殺する。



空想科学研究所 <https://www.kusokagaku.co.jp/info/630.html>



ドラえもん 藤子限定 タケコプター ドラえもんカラー

3,959円 +送料520円

39ポイント(1倍)

39ショップ

amax 楽天市場店



バンダイスピリッツ PROPLICA タケコプター (ドラえもん) [代引不可]

2,500円 +送料550円

25ポイント(1倍)

翌日配達 39ショップ

ソフマップ楽天市場店



## 問題点 2 :

角運動量保存則により、体がプロペラと逆回転を始める

# タケコプター欲しい



# タケコプターは可能か



タケコプターで飛び上がるドラえもん。プロペラのサイズは頭をはみ出るほど大きくなければならないし、2重のプロペラは逆回転で全角運動量をゼロにする工夫がされている。手を添えると下向きの風が折り返して上向きを加速する。狭い自宅よりも大学のゼミ室の方が気流が安定している。あくまでも、物理教材のビデオの撮影。

<https://www.facebook.com/hisaaki.shinkai/posts/4174800462535205>

Doraemon jumps up with a bamboo copter. The size of the propeller must be large enough to stick out of the head, and the double propeller is devised to reduce the total angular momentum to zero by rotating in the reverse direction. When you add your hand, the downward wind turns back and accelerates upward. The airflow is more stable in the university seminar room than in a small home. We are shooting a video of physics teaching materials, not playing with.

# 力8 コリオリの力(転向力) = 回転に応じた慣性力

**法則** コリオリの力 (転向力)

回転運動をする物体に沿って運動を考えると、慣性力としてコリオリ力が加わる。反時計まわり (時計まわり) に回転する盤上では、運動する物体は進行方向に対して右向き (左向き) に力を受ける。

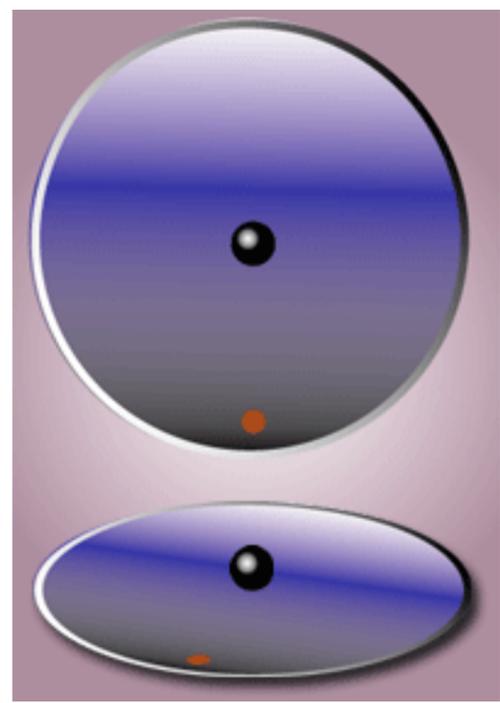
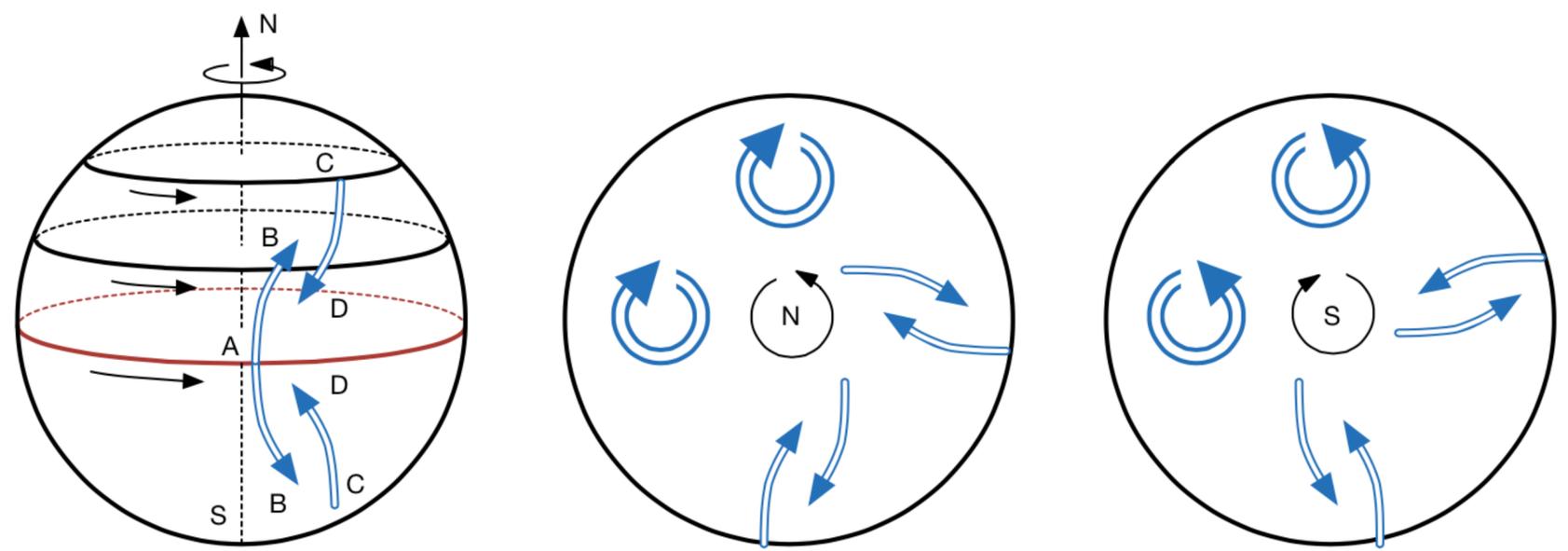


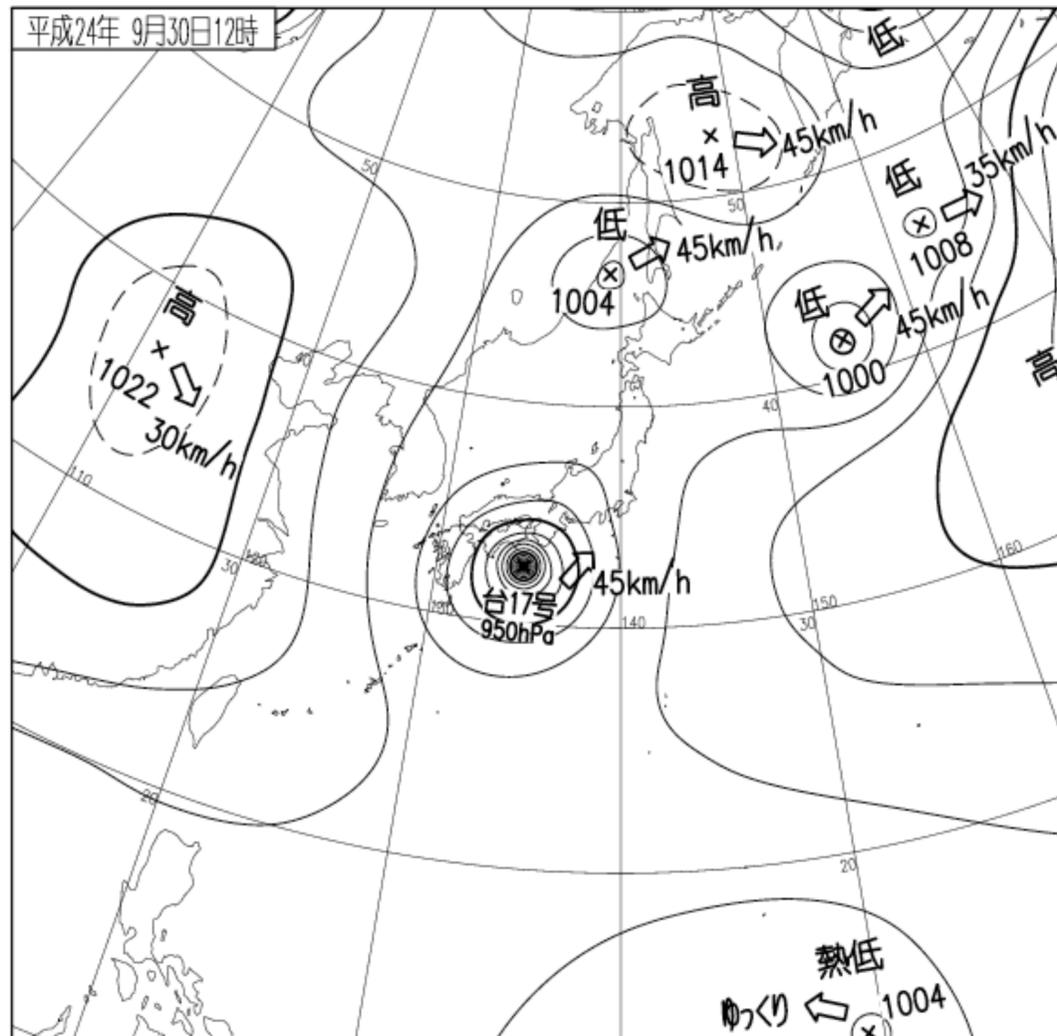
図 2.121 〔左〕 回転する物体上で運動すると、回転する速度成分の違いから、物体の運動方向は曲がる。〔中〕 北極方向から見た図 (左回り回転盤上の運動)。〔右〕 南極方向から見た図 (右回り回転盤上の運動)。



体感型実験装置群「台風」8 11 台風の科学2-3「コリオリの力」

<https://www.youtube.com/watch?v=QLW2Vo2QN6o>

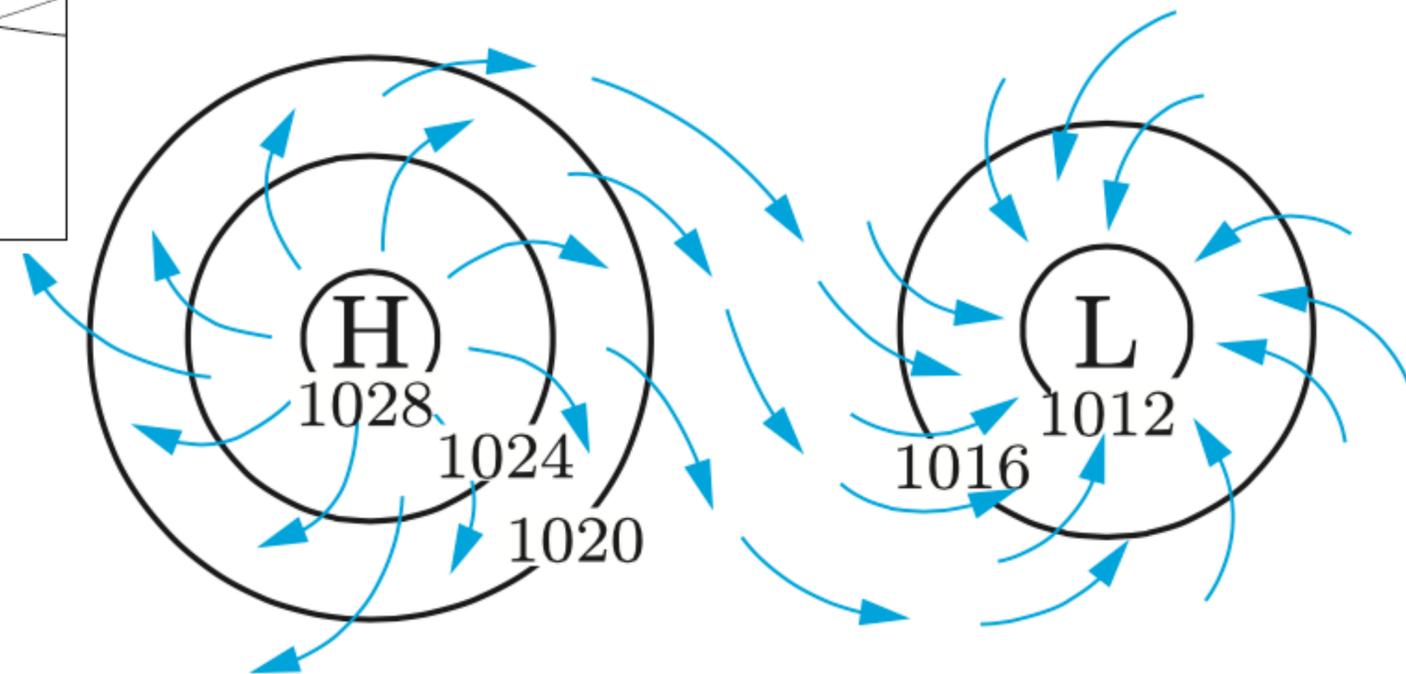
# 高気圧と低気圧



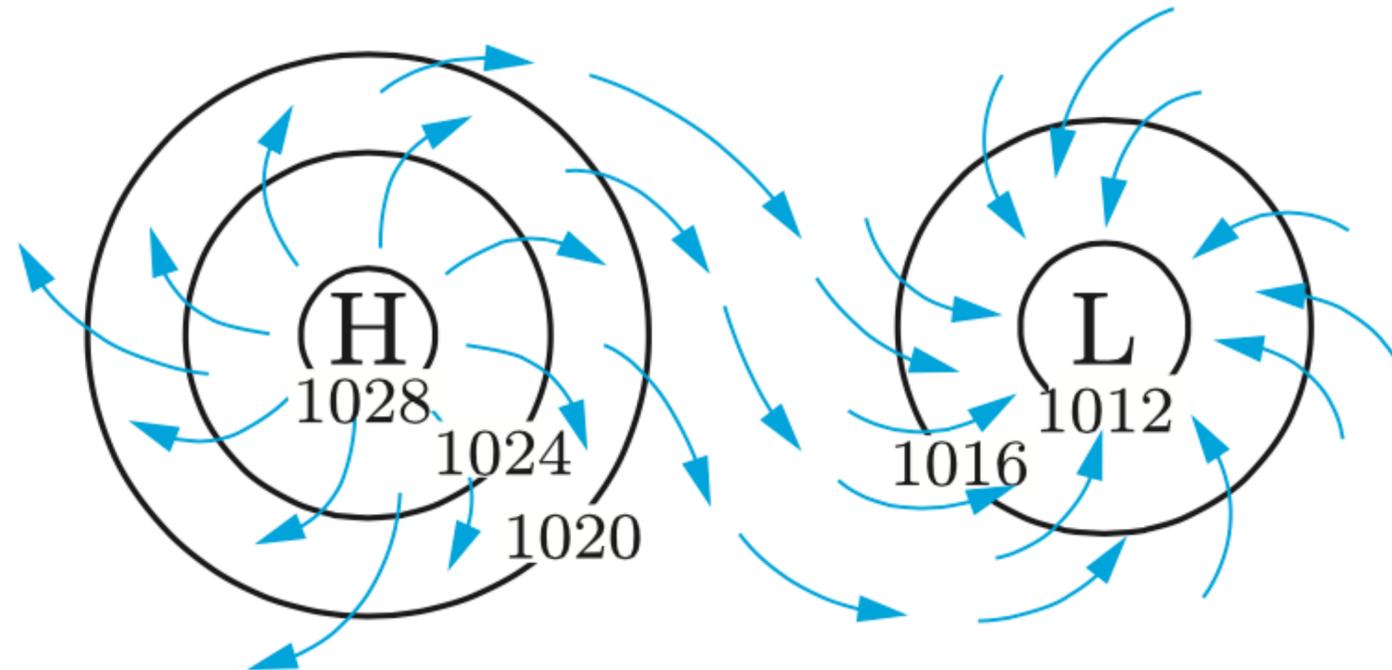
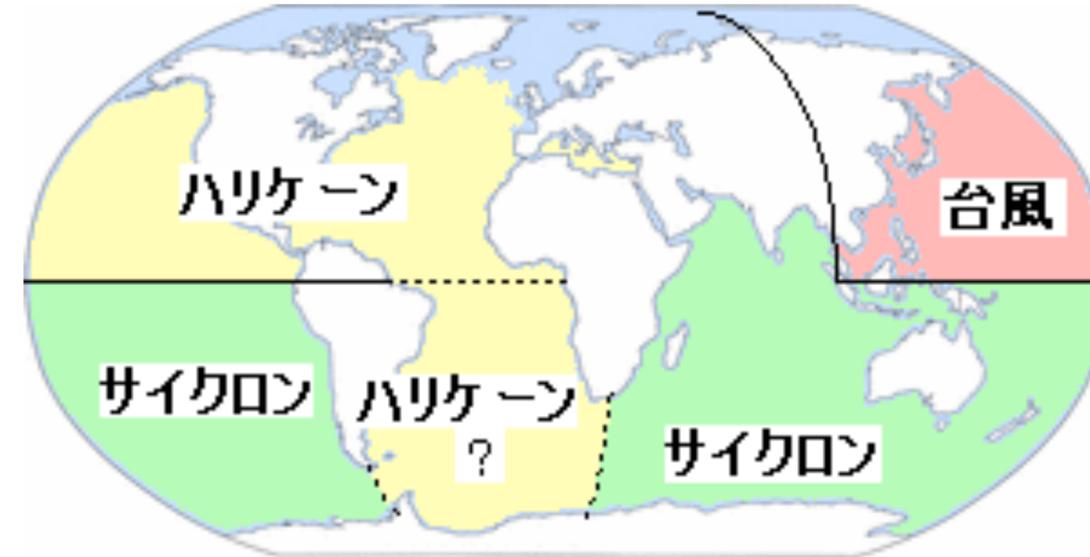
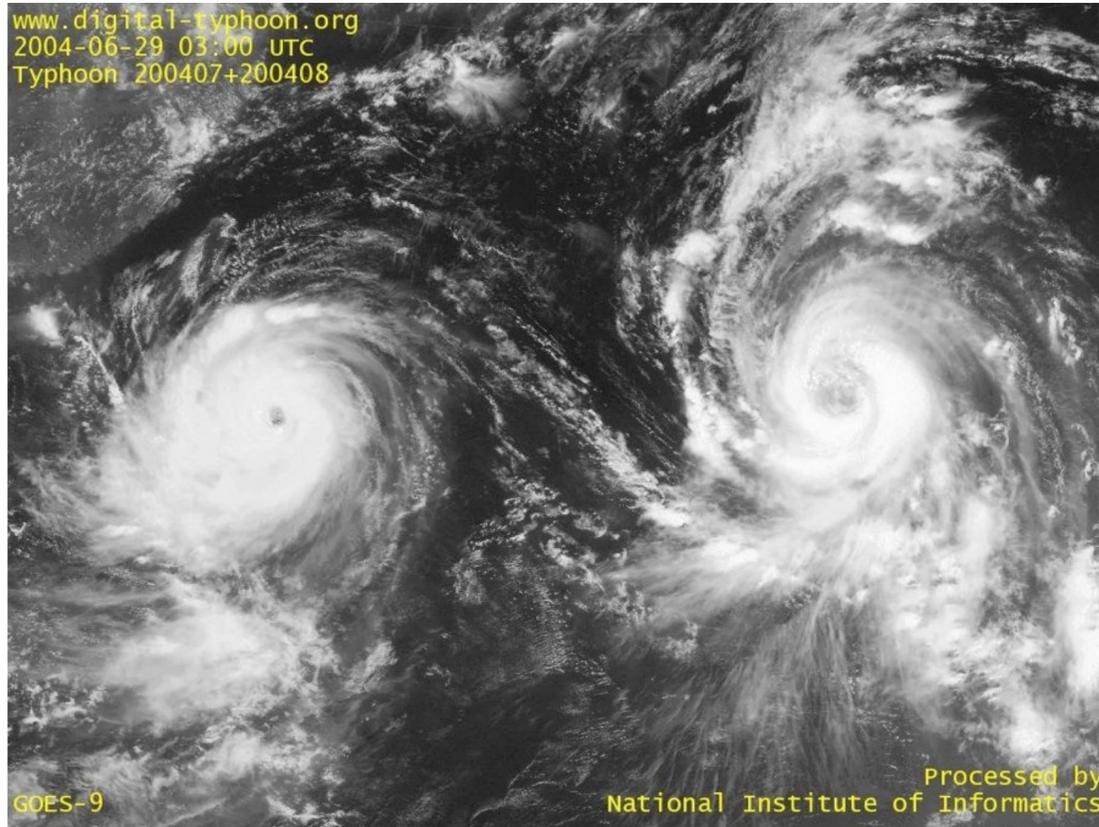
## Topic 高気圧, 低気圧

天気予報の気圧配置でいう高気圧, 低気圧とは, 地表付近での気圧の大小を相対的に述べたものである。地表付近では, 高気圧から低気圧へ大気は流れる (コリオリの力によって, 高気圧から低気圧に向かって風は傾いた経路で流れる)。

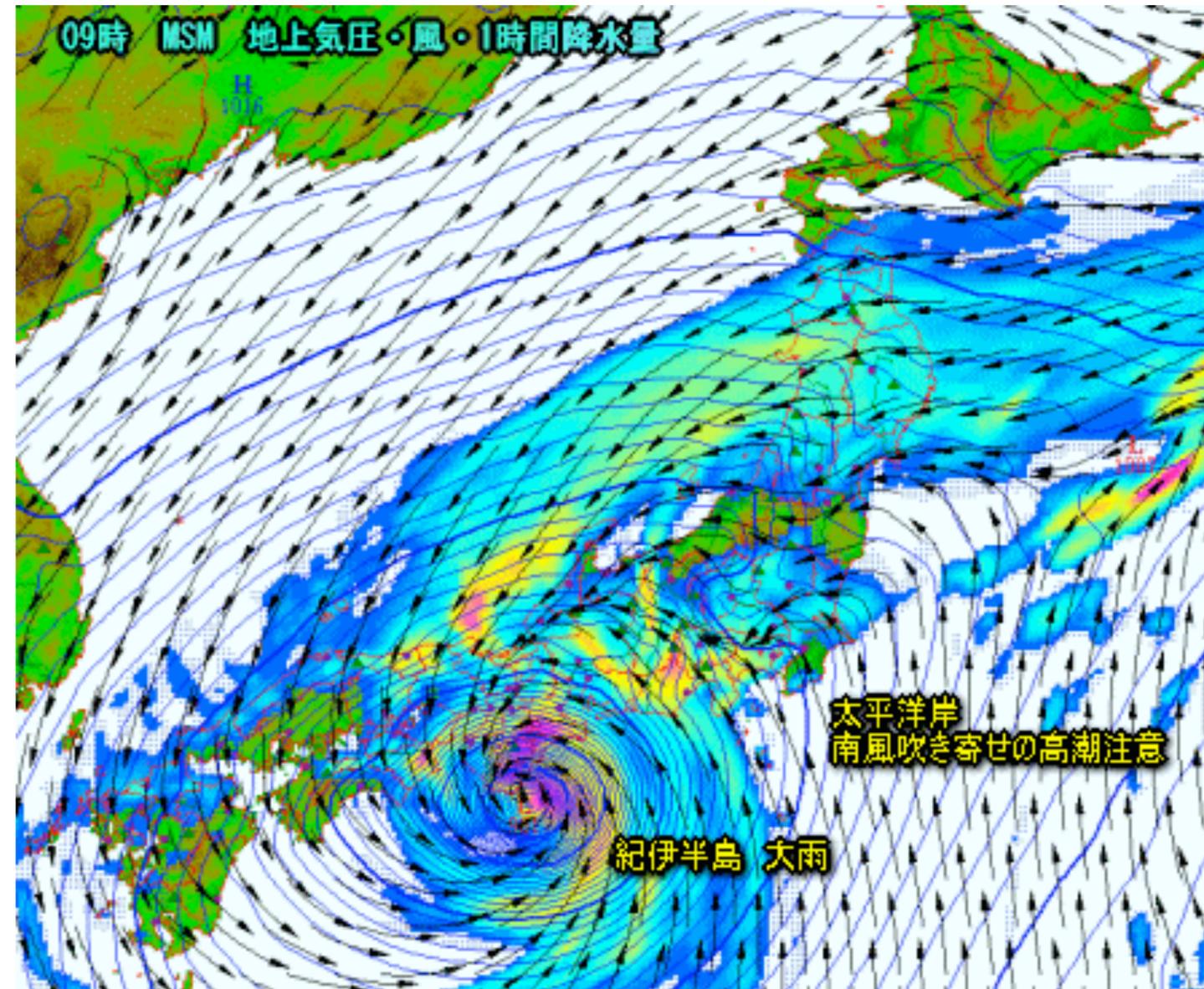
高気圧の部分では, 上空から大気の流れる下降気流になる。下降気流では, 雲が発生しにくいいため好天になりやすい。一方, 低気圧の部分では, 流れ込んだ大気は上昇気流となって上空へ移動するが, 今度は, 雲ができ雨が降りやすくなる。



# 台風はなぜ反時計まわりか？

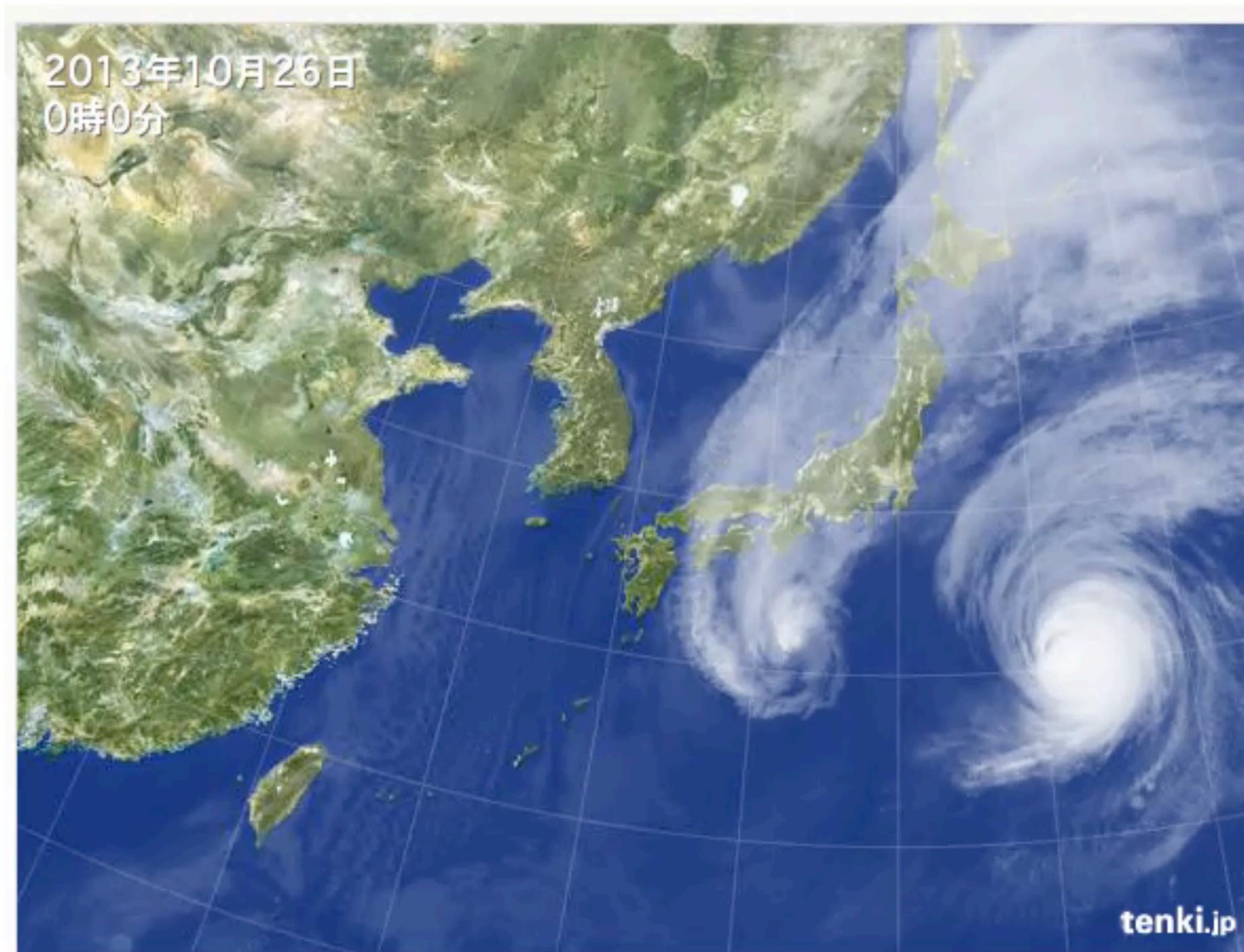


# 台風はなぜ反時計まわりか？



<http://kasayan.naganoblog.jp/e831684.html>

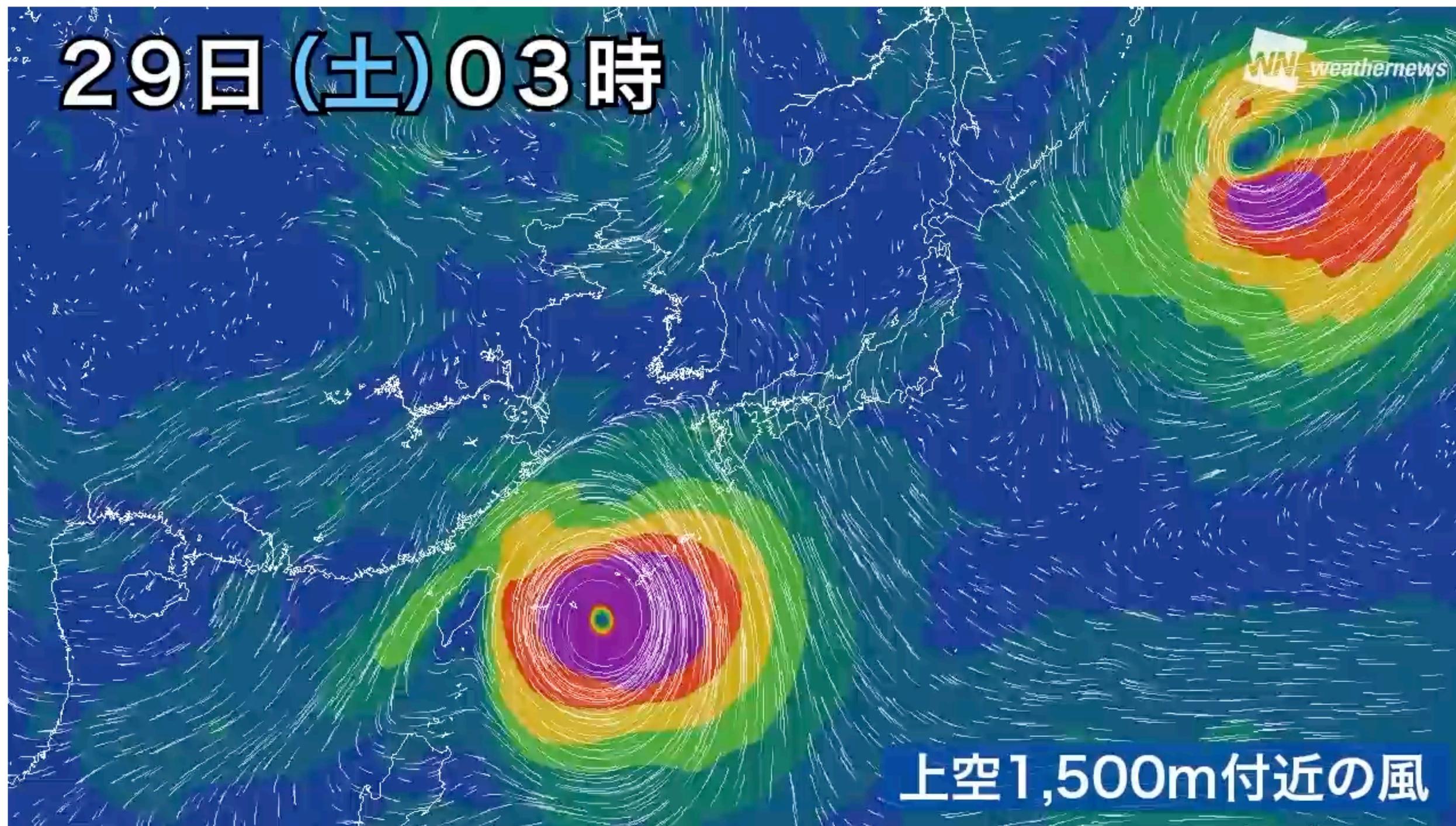
# 2013年10月24日から26日



日本気象協会

[http://tenki.jp/past/detail/?day=25&month=10&selected\\_image=satellite&year=2013](http://tenki.jp/past/detail/?day=25&month=10&selected_image=satellite&year=2013)

2018年9月28日 台風24号 上空1500m 予想シミュレーション



ウェザーニュース

<https://www.youtube.com/watch?v=OaMudtNHd80>

## コリオリの力(転向力)の日常生活への影響？

### Topic 風呂の栓を抜いて水が回り込む方向

風呂や洗面台に水を溜め、栓を抜いて流れる様子を確認してみよう。「低気圧と同じように吸い込まれていく水は、北半球では、反時計回りになっている」…という説明が書かれている本がよくあるが、コリオリの力はとても弱く、地球規模の運動でようやく出現するものである。風呂や洗面台では、栓の場所や初期の水の回転運動などがその後の回転運動を決めてしまうようだ。洋式水洗トイレの水の流れの向きも構造上のものである。



<https://www.youtube.com/watch?v=vMSbZQ46W14>

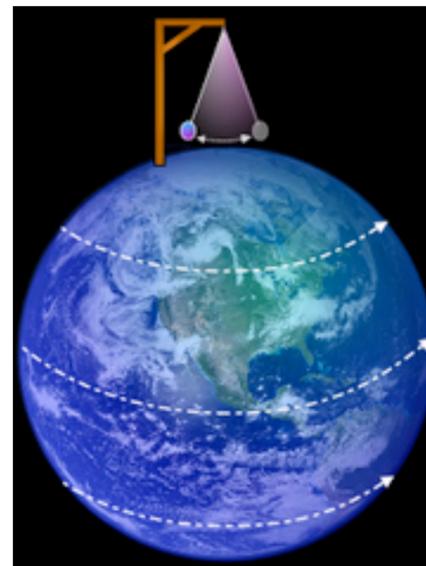
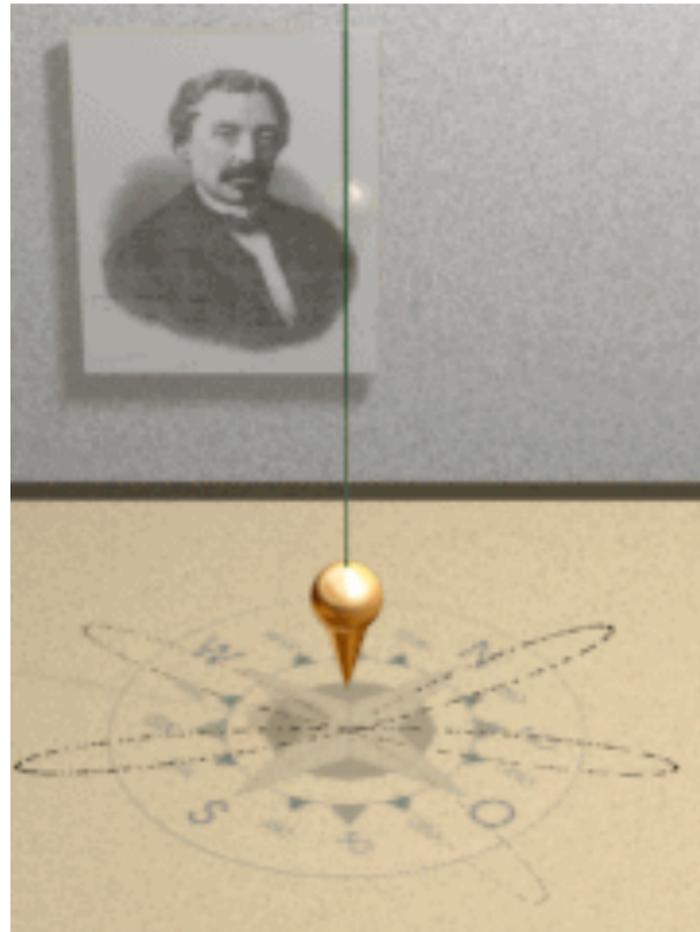
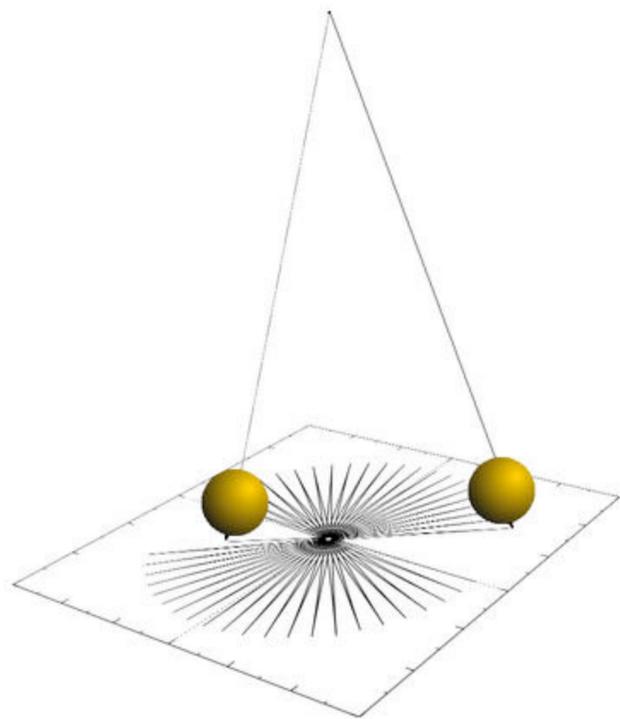


【赤道のハナシ】 #02 『「赤道」実験の真実』

<https://www.youtube.com/watch?v=sqHwSKo6l4k>

# フーコーの振り子

Foucault pendulum



1851年，地球が自転していることを証明した。

## Topic フーコーの振り子

地球が自転していることを証明した実験として，フーコーが行った振り子が有名である．長いひもにおもりを付けて長時間振り子を振れさせると，振動方向が見かけ上回転していくという現象である．1851年，パリ天文台とパンテオンにて公開実験が行われ，人々を感心させた．パンテオンの実験では，全長 67 m のワイヤーで 28 kg のおもりを吊るしたものが使われたそうだ．回転する原因はコリオリ力である．北半球では右回りに振動面が回転し，1 周するのに必要な時間  $T$  は，緯度  $\theta$  の地点では， $T = 24 \text{ 時間} / \sin \theta$  になる．北極点では 24 時間，赤道上では回転しない．北緯 35 度ではおよそ 41.8 時間である．

## [5-1](本日の講義から)

国際宇宙ステーションで、宇宙飛行士が無重量状態となる理由を説明せよ。

## [5-2](次回向けのクイズ)

どこでもドアで大阪から富士山の山頂へ行く。

気圧の違いを考えると、ドアは引き戸がよいか、押し戸がよいか。理由も。

## [5-3](次回向けの計算)

ハイヒールvsゾウ 踏む圧力は何倍違うか？

圧力は、総重力÷総面積 で定義される

1cm角 (面積  $1 \text{ cm}^2$ )

足2本

体重 40kg



足は直径50cmの円

(面積  $2000 \text{ cm}^2$ )

足4本

体重 5000kg



## [5-4]通信欄. (講義で取り上げて欲しい疑問・要望・連絡事項など、何かあれば)