生活の中の物理学
Physics in Everyday Phenomena

第5回　2026/10/19

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

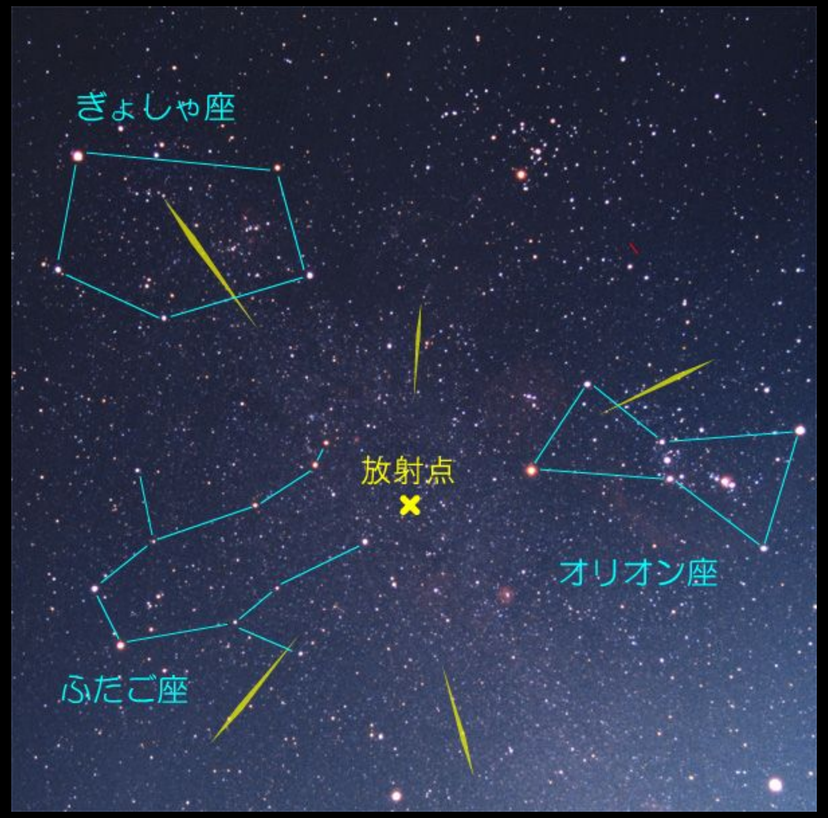
オリオン座流星群

★2026年は条件　良好

★1時間に10個

（昨年予報は，20個/時間）

もとは，ハレー彗星



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

レポート課題



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（土）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 XXXXXXX 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

羽とボウリング球（真空ver）でなぜ真空時は球が落下後弾んでいたのか？

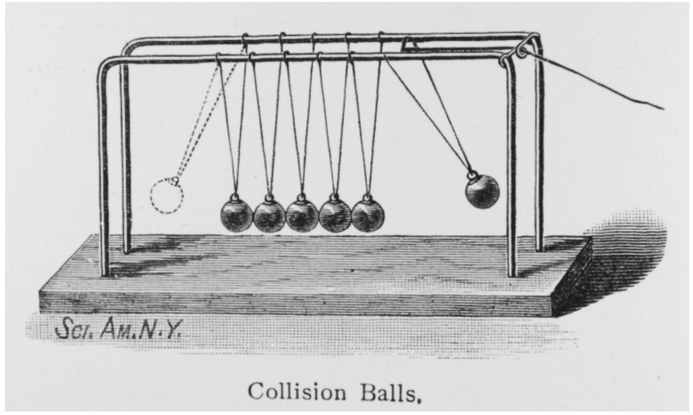
無重力で落下した後、跳ねますか？
跳ねる場合、重さで跳ねる具合は変わりますか？

【実験ですよ】 すべての物体は同じ重力加速度で落下する

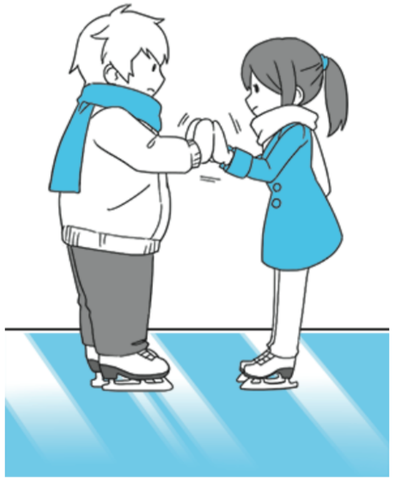


Brian Cox visits the world's biggest vacuum chamber
- Human Universe: Episode 4 Preview - BBC Two
https://www.youtube.com/watch?v=E43-CfukEgs (4'40")

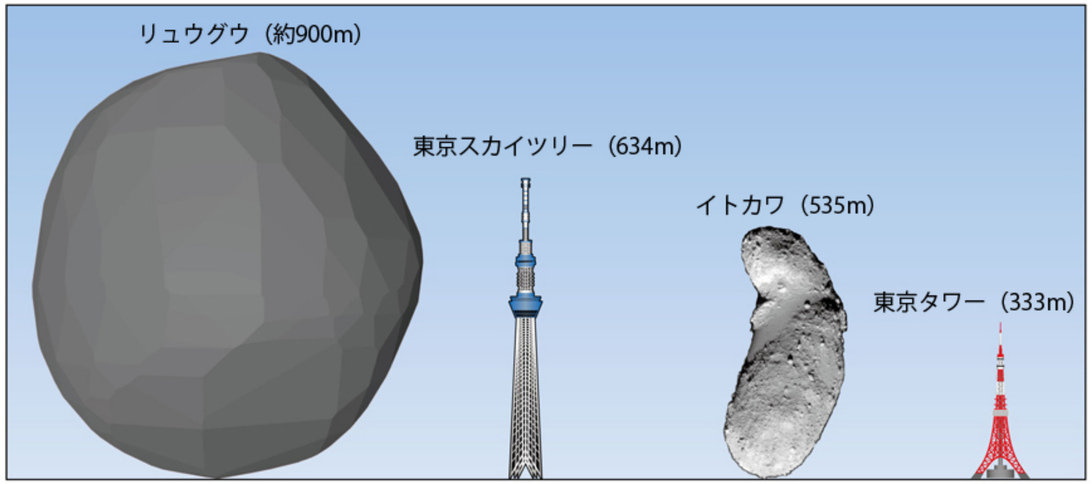
運動量保存則



Collision Balls.

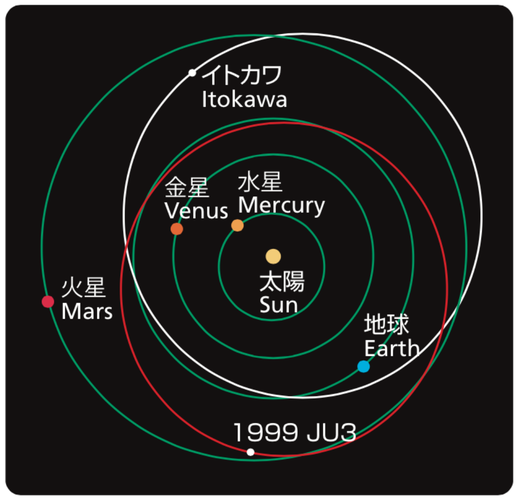


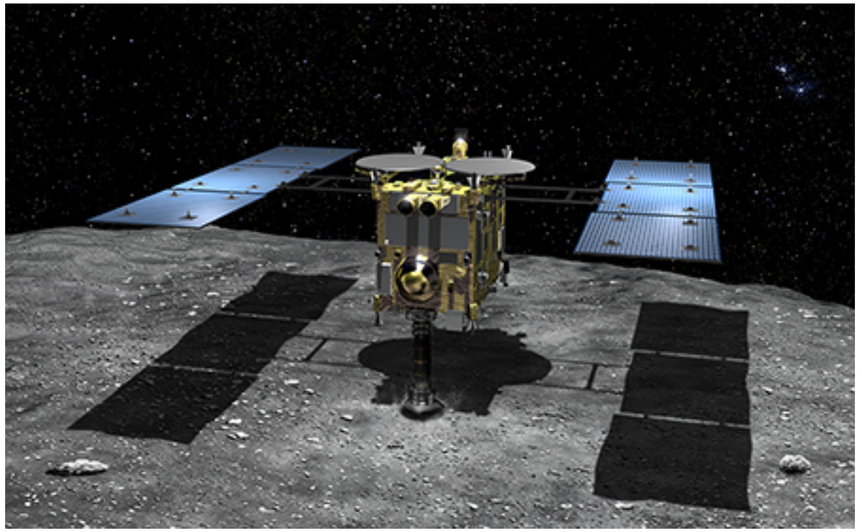
小惑星探査機 はやぶさ２ （2014年12月打ち上げ）



http://www.hayabusa2.jaxa.jp/topics/20180323/

リュウグウへ







http://www.hayabusa2.jaxa.jp/galleries/

start on click 1:50’

前回のミニッツペーパーから

空気抵抗がなかったら雨の日に外に出るのは危ないのかなと思った。

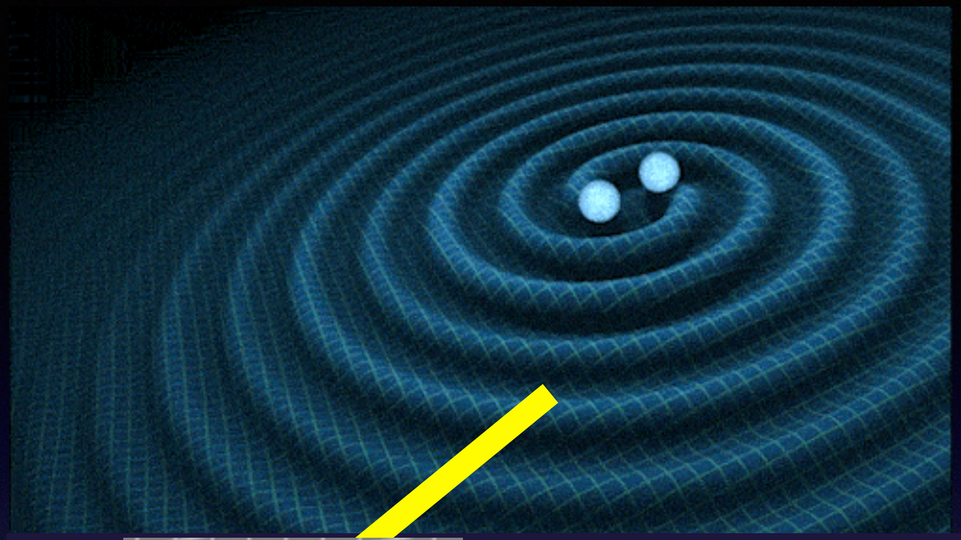
高さ2000mから自由落下（初速度ゼロ）すると，地表まで約20秒で到達
地表到達時の速さは，秒速200 m/s (＝時速720 km)

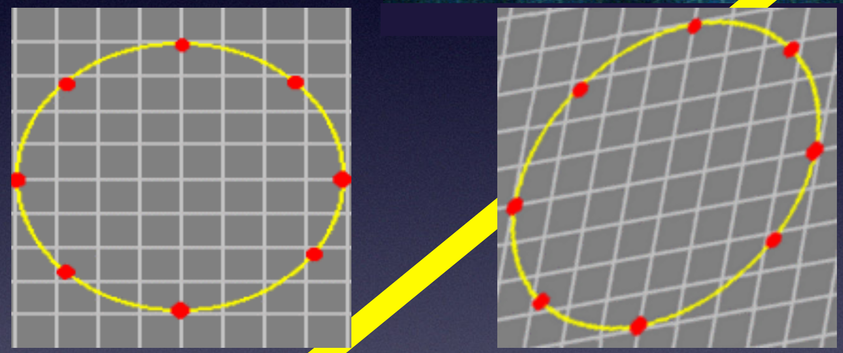
地震のときに吊るされた球体が揺れないと言いますが，
巨大な球体にみんなが入れば動かすかもしますか？



重力波の発生と伝播

連星ブラックホールや
連星中性子星







レーザー干渉計

LIGO＝Laser Interferometer
Gravitational-Wave Observatory

KAGRA(かぐら:大型低温重力波望遠鏡)

Kamioka Gravitational-Wave Observatory, (Large-scale Cryogenic Gravitational wave Telescope)



望遠鏡の大きさ：基線長 3km

望遠鏡を神岡鉱山内に建設
地面振動が小さい岐阜県飛騨市にある神岡鉱山

鏡をマイナス250度（20K）まで冷却
熱雑音を小さくするため

鏡の材質としてサファイア
光学特性に優れ、低温に冷却すると熱伝導や機械的損失が少なくなる

http://gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/plan/history

KAGRA(かぐら:大型低温重力波望遠鏡)



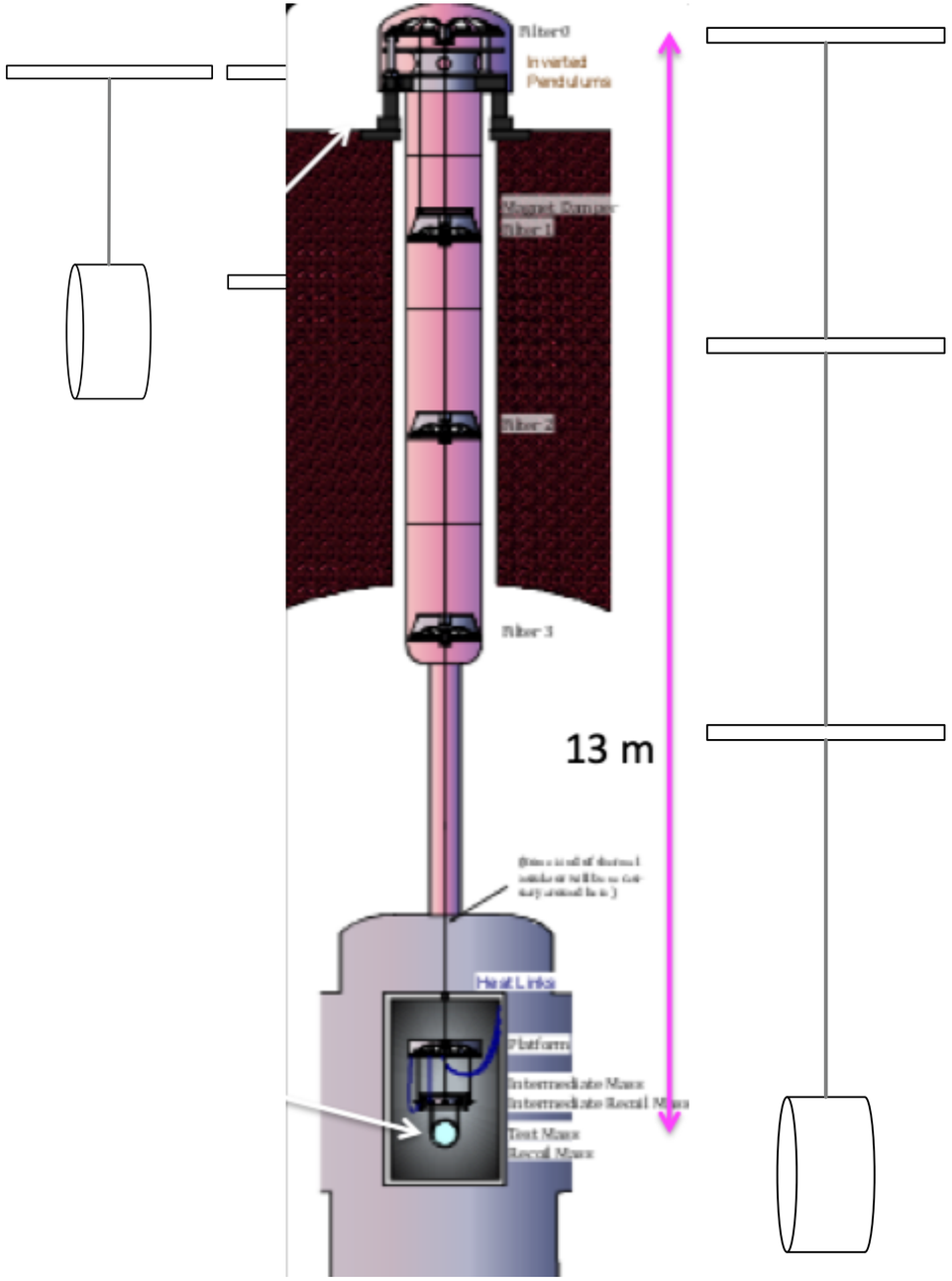








KAGRA(かぐら:大型低温重力波望遠鏡)　干渉計の工夫



鏡が地面振動で揺れたら困る

▶ 吊り下げよう

高周波振動抑えたい

▶ ２段にしよう

▶ ３段にしよう

▶ ４段にしよう

低周波振動抑えたい

▶ ひもを長くしよう

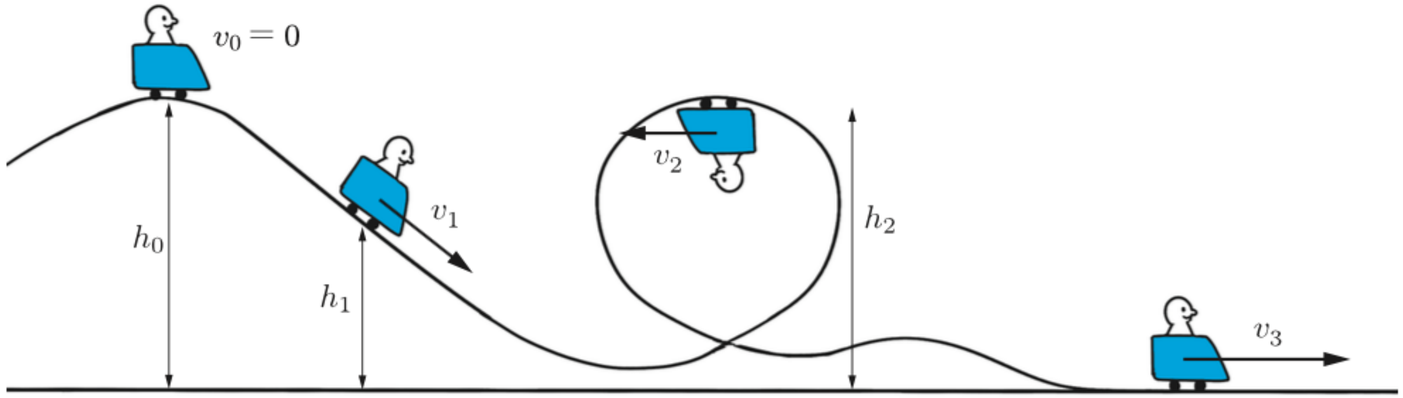
高さ13.5m
トンネルの2層目から吊り下げる

○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

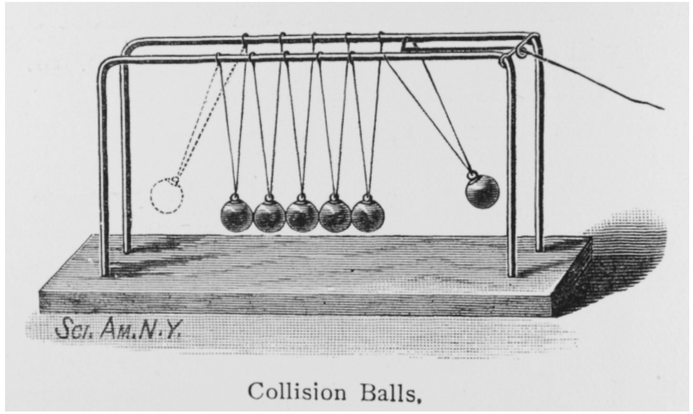
＊エネルギー保存則

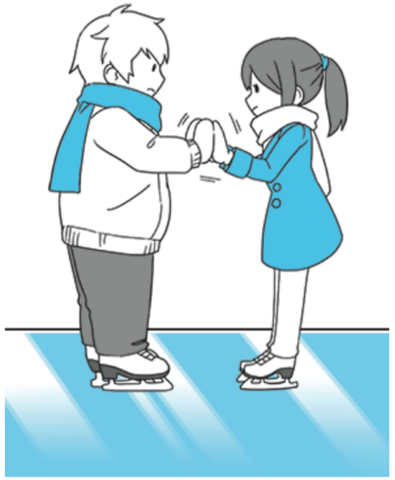
$$mgh_0 + 0 = mgh_1 + \frac{1}{2}mv_1^2 = mgh_2 + \frac{1}{2}mv_2^2 = 0 + \frac{1}{2}mv_3^2$$

位置エネルギー＋運動エネルギー＝一定

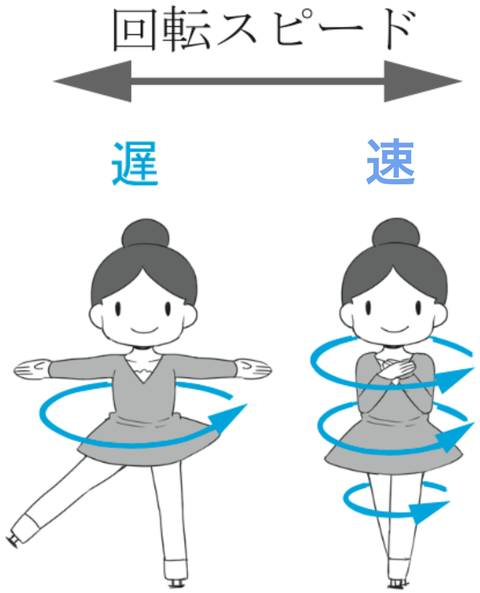


＊運動量保存則





＊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？

(4-1) 運動方程式と保存則の違いは、「物体の運動がどう変化するか」を表すが「ある量が変化せず一定に保たれるか」を表すかという違い ○

運動方程式は、物体に力が加わったとき、その物体がどのように動くかを考えたもの。保存則は一定に保たれることを利用して運動の前後の状態を考えるもの。

運動方程式は1秒後どうなっているかを導き出すもの。保存則は全体の運動やエネルギーに着目するのも 氏名

運動方程式は物体に力を及ぼすと、物体の質量に反比例した加速度が生じると保存則は最初から最後まで一定の値になる量があることを使っている。

運動方程式は力と運動の関係、保存則は変化のない量に注目している。

運動方程式は物体の動きを観測できる考え。保存則は位置エネルギーと運動エネルギーの合算が一定であるため力学的エネルギーが働く際2つのエネルギーの転換が生じていると考えるもの。 氏名
野球バット・テニスラケット

運動方程式は力から運動の変化を求め
保存則はエネルギーや運動量が保存されることを利用して運動を考える

運動量保存則はいつでも成り立つがエネルギー保存則は摩擦、空気抵抗で使えなくなる。 △

〔〕運動方程式
…物体に力が加わった時に、物体がどう変化するか。
保存則
…エネルギーと運動などが一定に保たれる。 △

以下✕

(4-1) 運動方程式は次の有印の予則で、保存則はエネルギーの移動の法則、しか？ の計算式

運動のうごきの状態が変化 氏名 のらがい。

運動方程式はエネルギーの動きで、保存則は、エネルギーが働いた物体・物質のことについて考えている。 氏名

運動方程式＝外からの影響を含めた運動の式
保存則＝上記の運動をするうえでの位置や他の物体との衝突などの要因をその後に続く保存された状態

運動方程式は一瞬に働いている力、保存則は最初と最後の状態間の変化

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

$$W = Fx \tag{2.50}$$

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．

$$P = \frac{\Delta W}{\Delta t} \qquad \text{仕事率 [W]} = \frac{\text{仕事 [J]}}{\text{時間 [s]}} \tag{2.51}$$

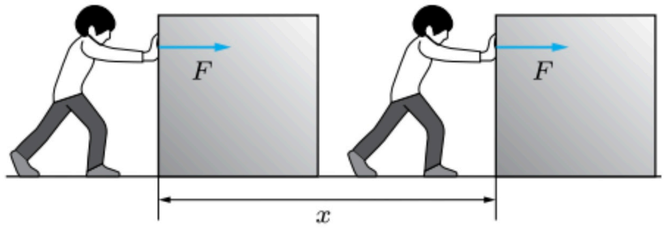
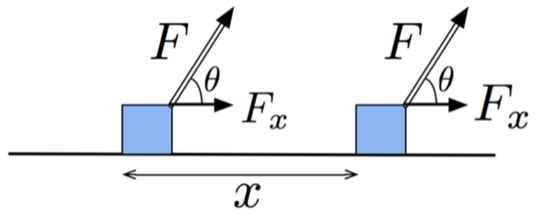


図 2.87　力の向きに移動する場合の仕事は $W = Fx$

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）

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，

$$E_P = mgh \tag{2.53}$$

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，

$$E_K = \frac{1}{2}mv^2 \tag{2.54}$$

の量を**運動エネルギー**という．

エネルギーは保存する

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，

$$E_P + E_K = (\text{一定})$$

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

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

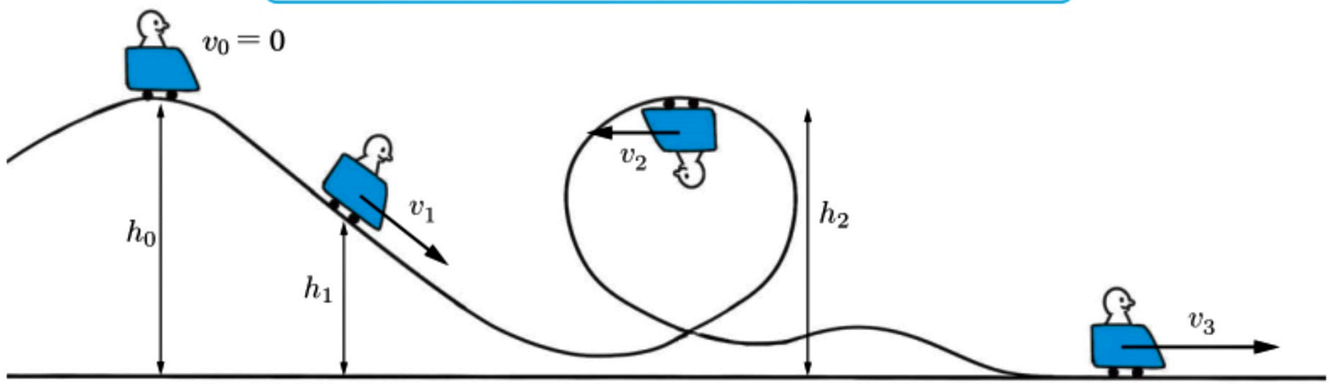


図 2.90　ジェットコースターの速さは，最初の高さだけで決まる

前回のミニッツペーパーから

【読書の時間】　フレーベル館『うごく』2026年7月発売





https://book.froebel-kan.co.jp/book/detail/9784577054611

"うごく"の絵本、読んでみたいなと思いました。

52

ジェットコースターの物理

コロナ時代の正しいジェットコースターの乗り方



Fuji-Q Highland Official富士急ハイランド公式
チャンネル登録者数 1.65万人

富士急ハイランドが誇る"キングオブコースターFUJIYAMA"

遊園地の感染防止ガイドラインでは大声での発声を控えていただくようお願いしておりますが「楽しい」「不可能だ」といった声を頂戴しましたので、弊園では同社長からお手本動画をお届けいたします。

短縮にて、「ずっと真顔ではなかったでしょう」とお言葉を頂戴いたしましたので、3分30秒のFUJIYAMAをご覧ください。

みなさんの挑戦お待ちしております_

https://www.youtube.com/watch?v=PMm5QVZ6QeY

ジェットコースターで手をあげている人が多いですが
前のバーをつかむよりも怖く感じるのですか？何かがかけやすいとか？

私はまだジェットコースターが怖くてのれていないので、初めてのときは
がテガラのジェットコースターの真ん中にのってみたいと思います。

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．

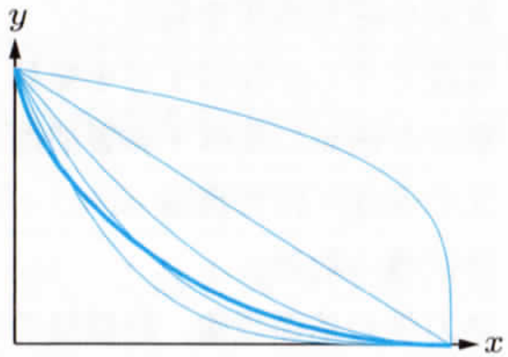


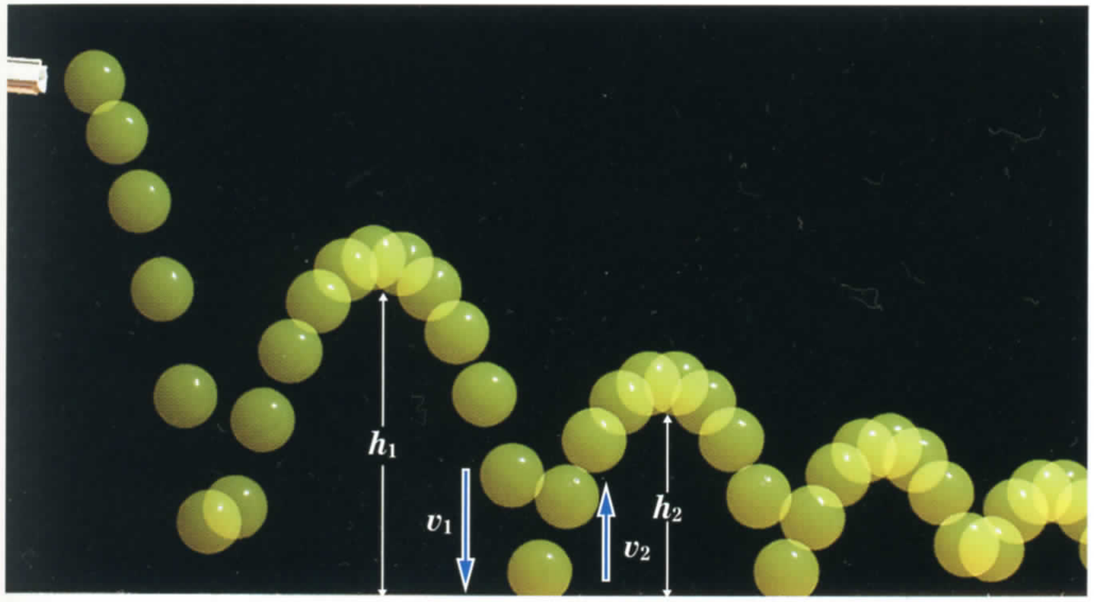
図 2.124　ボールが最短時間で転がる曲線　同じ高さから地面の一点へ結ぶ曲線はいろいろ考えられるが，一番短い時間でボールが転がるのは，図の太線で示したサイクロイド曲線である．

摩擦があると，エネルギーは保存しない

教科書 p74

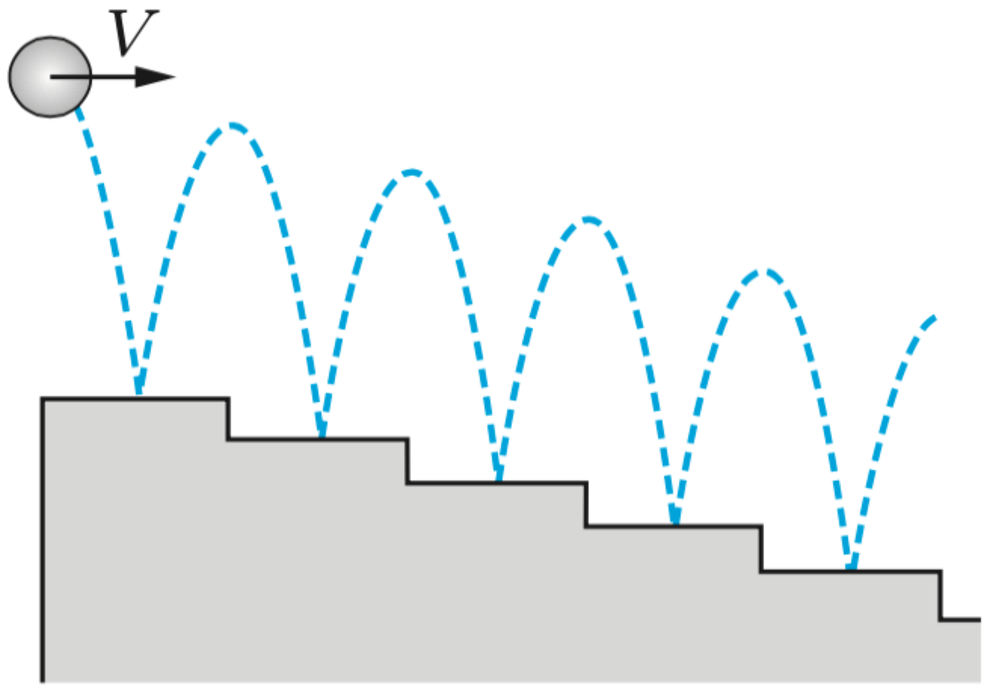
バウンドするボールはだんだん高さが低くなる

●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 x 速度

定義　**運動量・力積**

- 質量 m [kg] の物体が，速度 $\boldsymbol{v}$ [m/s] で動いているとき，**運動量**を次のように定義する．

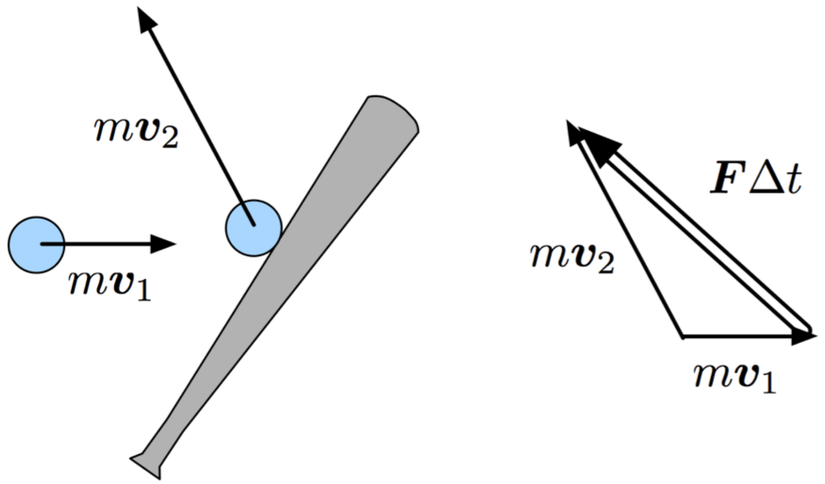
$$\boldsymbol{p} = m\boldsymbol{v} \tag{2.57}$$

運動量 [kg m/s] = 質量 [kg] × 速度 [m/s]

- 物体に一定の力 $\boldsymbol{F}$ [N] を時間 Δt [s] だけ作用させたとき，**力積**を次のように定義する．

$$\boldsymbol{I} = \boldsymbol{F}\Delta t \tag{2.58}$$

力積 [Ns] = 力 [N] × 時間 [s]

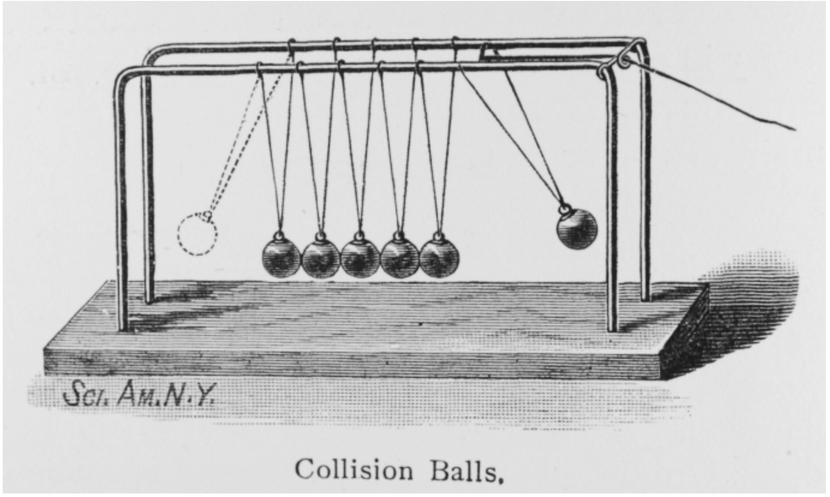


運動量保存則(作用反作用の帰結)

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．

$$m_{\mathrm{A}}\boldsymbol{v}_{\mathrm{A}} + m_{\mathrm{B}}\boldsymbol{v}_{\mathrm{B}} = m_{\mathrm{A}}\boldsymbol{v}'_{\mathrm{A}} + m_{\mathrm{B}}\boldsymbol{v}'_{\mathrm{B}} \qquad (2.61)$$



Collision Balls.

Newton's Cradle

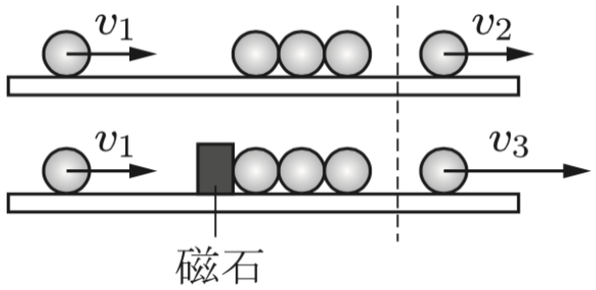
Topic　**ニュートンのゆりかご**

「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．

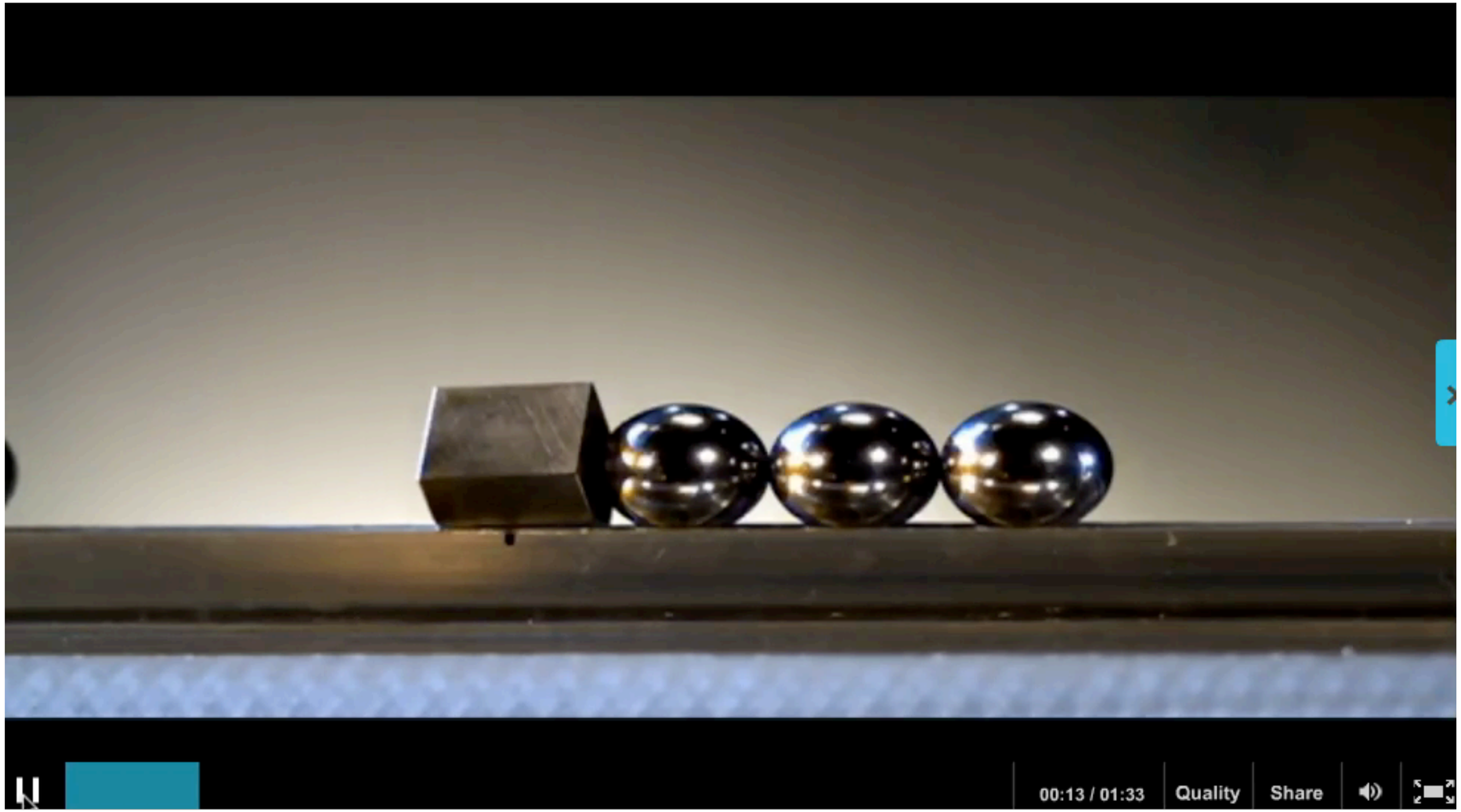
【実験ですよ】

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



Time Warp: **Gauss Gun** : Video : Discovery Channel

運動量保存則(作用反作用の帰結)

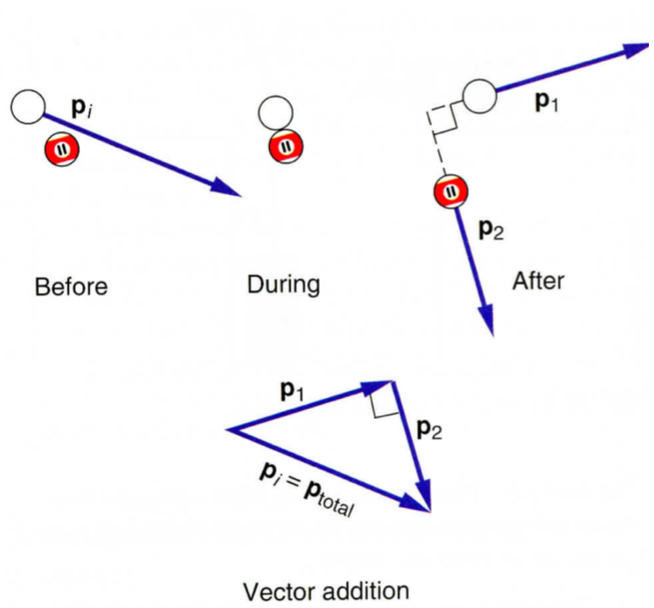


figure 7.20 The momentum vectors of the two balls after the collision add to give the total (initial) momentum of the system. The paths of the two balls are approximately at right angles after the collision.

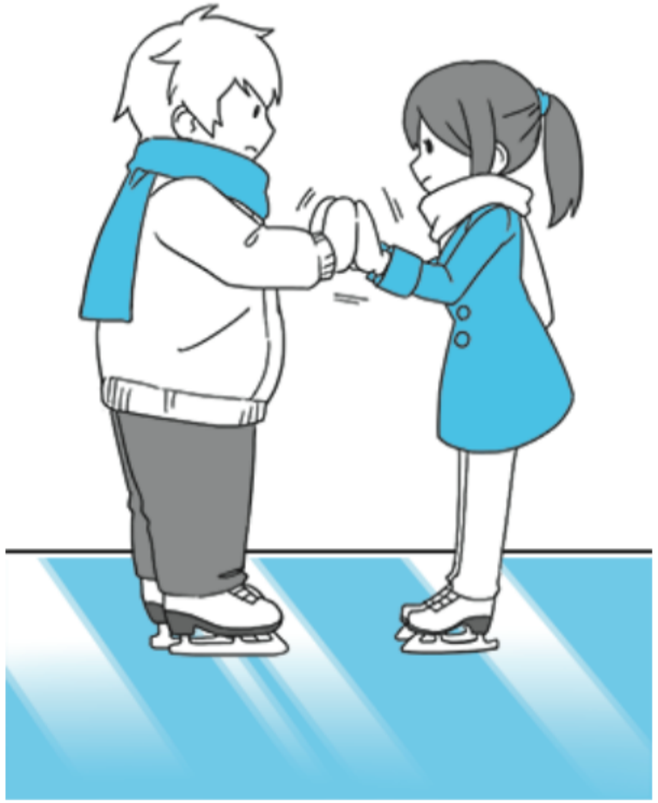
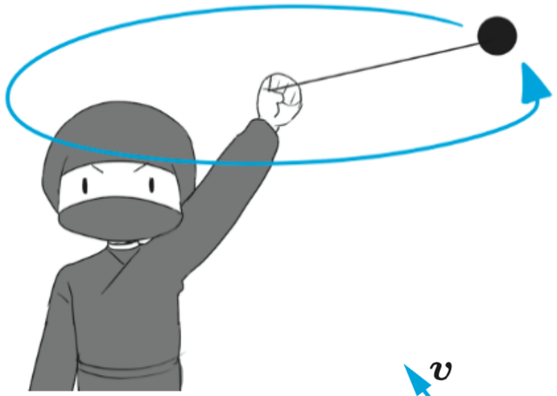
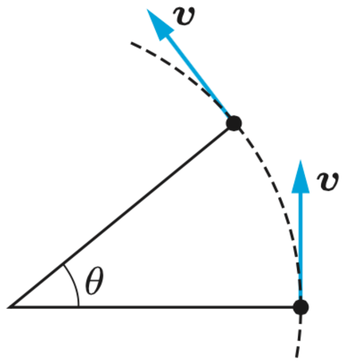


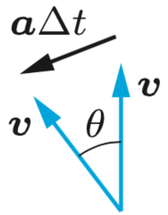
図 2.23: 〔左〕ビリアードの球の衝突前後で，全運動量は保存する．〔右〕体重の違う氷の上の 2 人が互いに力を入れて押すと？

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．

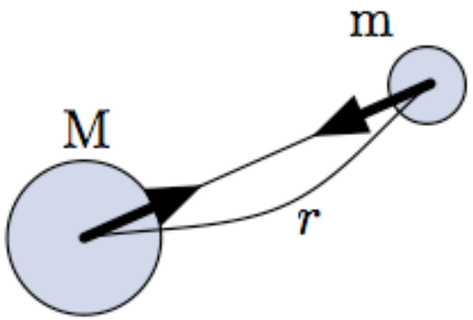
- 円運動するための中心方向の加速度を**向心加速度**という．大きさは幾何学的に，$\dfrac{v^2}{r}$ となる．
- したがって，向心力の大きさは，$F = m\dfrac{v^2}{r}$ となる．
- 円運動しているときは，物体にはたらく力の総和が向心力になっていて，運動方程式は次式になる．

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

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

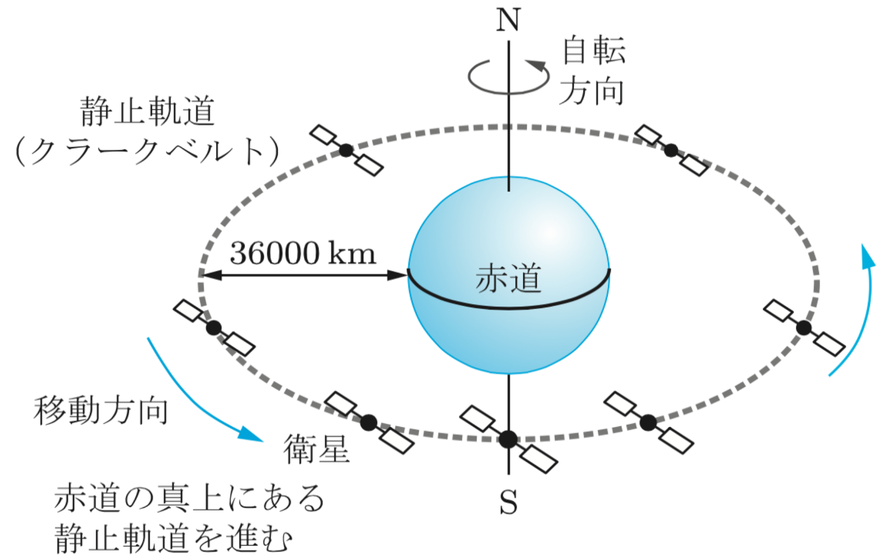
地球表面の重力 mg が向心力となって，地球半径 R をぎりぎり円運動しているロケットを考えよう．円運動の式は，

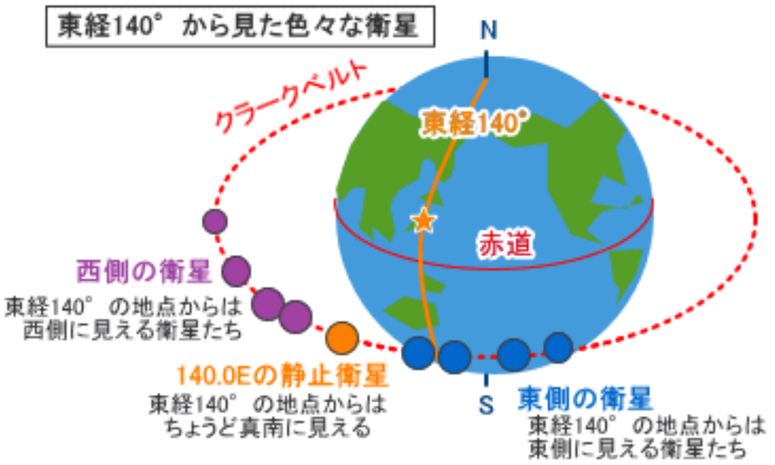
$$m\frac{v^2}{R} = mg$$

となるので，$v = \sqrt{gR} = 7.90\,\mathrm{km/s} = 28400\,\mathrm{km/h}$ 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，$v_2 = 11.2\ \mathrm{km/s}$ である．

静止衛星とは

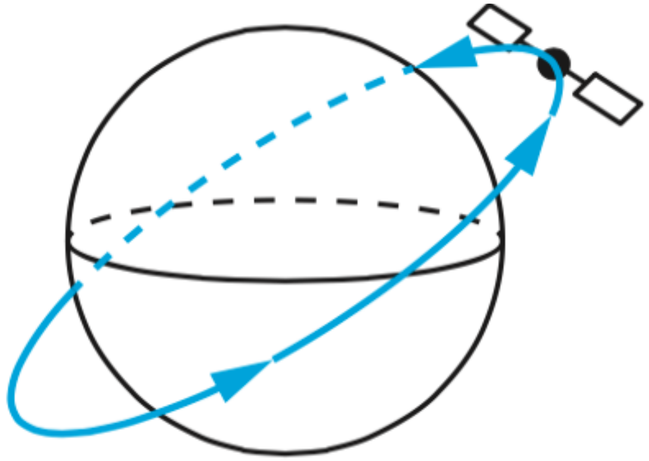




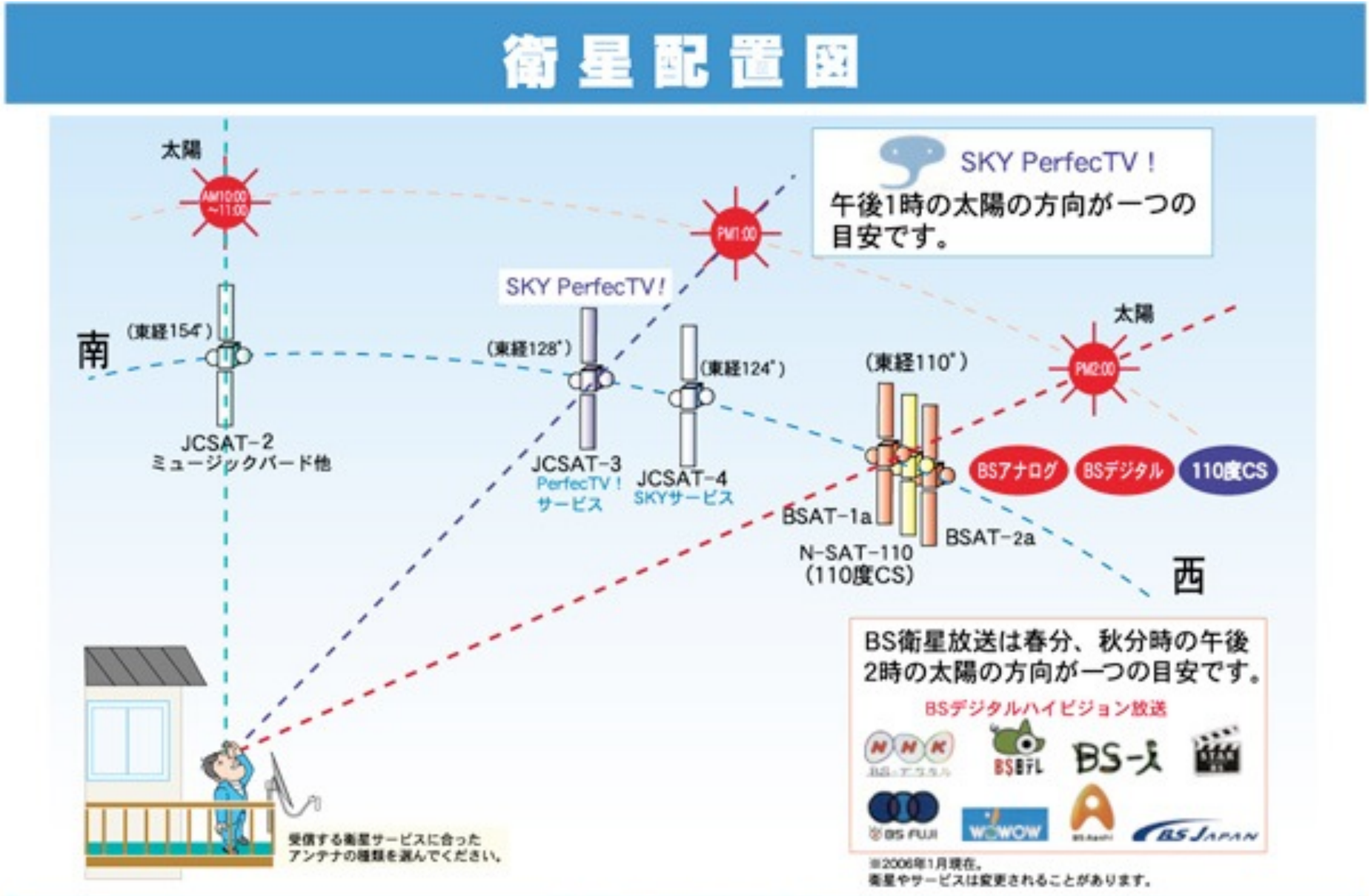
Topic　静止衛星軌道は赤道上空だけ

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，必ず緯度が変化することになり，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（春分の日の午後 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（春分の日の午後 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．

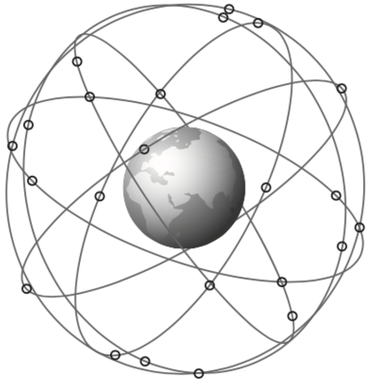


静止衛星の方角へ向ける衛星テレビのアンテナ



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.

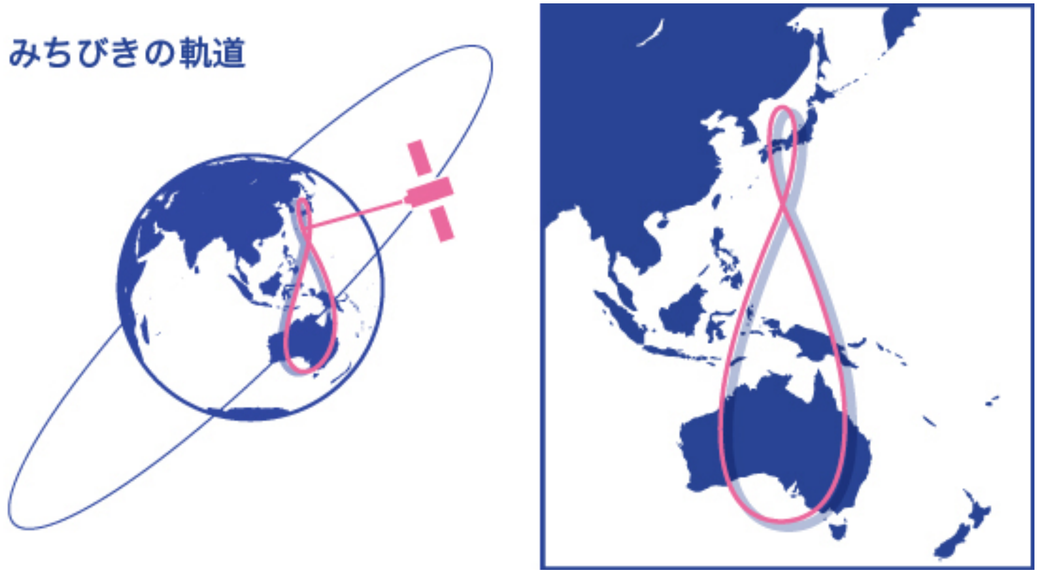




ビルの谷間でも受信できるように
日本の上空に衛星がほしい.
しかし日本の上空に静止させることは不可能だ.

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



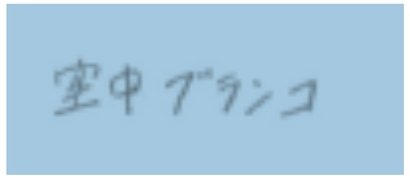
教科書 p78

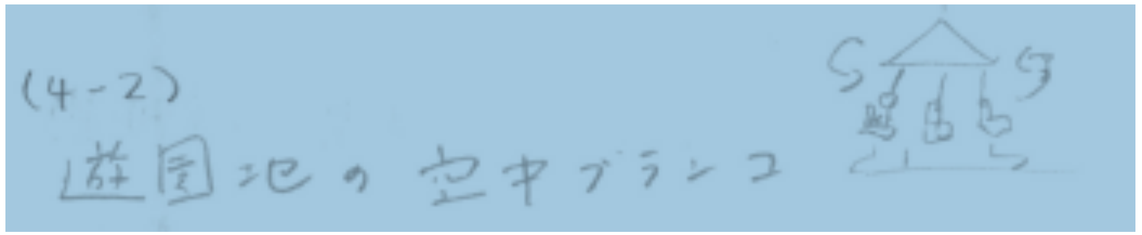
力7 見かけの力:遠心力

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，$F = m\dfrac{v^2}{r}$ となる．

- 遠心力のように，見ている人の立場によって，あったりなかったりする力を**慣性力**という．



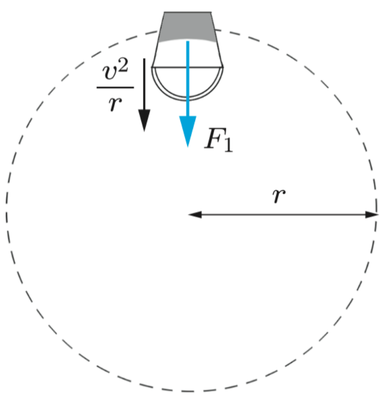




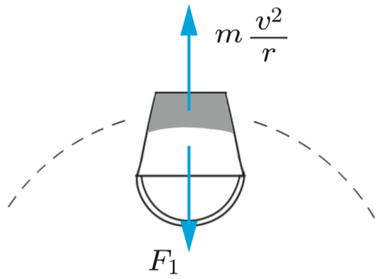
教科書 p78

力7 見かけの力:遠心力





（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

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

$$m\frac{v^2}{r} = F_1 \tag{2.66}$$

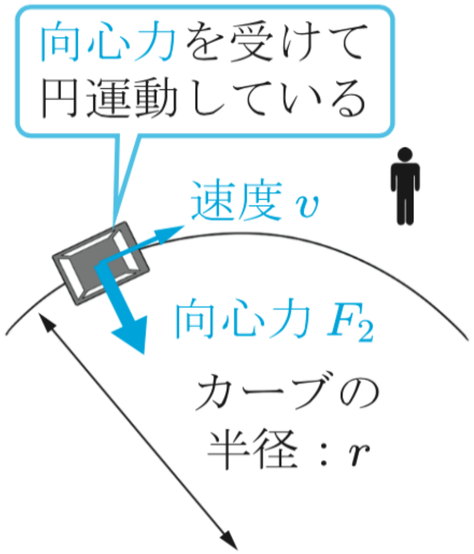
- **バケツ内の水の立場**では，水はバケツ内に静止している．バケツは中心方向に向心力 F_1 で引っ張られているが，水はその中で静止しているので逆向きに力（遠心力 $m\dfrac{v^2}{r}$）がはたらいてつりあっている，と考える．だから，運動方程式は（つりあいの式であり）

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

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）

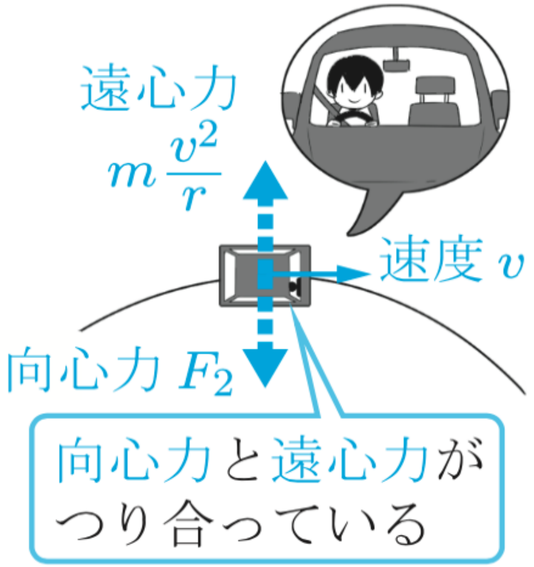
車は円運動



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．

教科書 p79

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とき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す方向になっている．

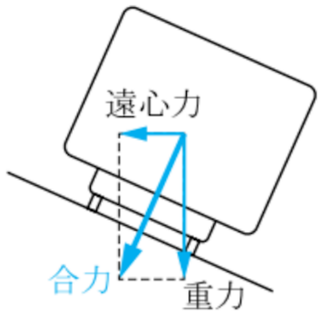


図 2.106　重力と遠心力の合力がレールを押す方向になれば，列車は安定する



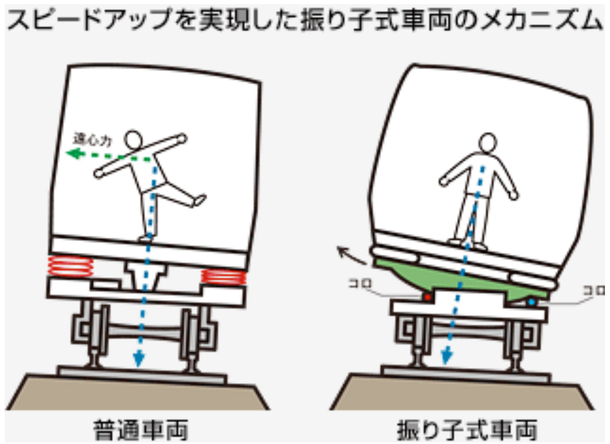


http://www.katomodels.com/start/guide/item/56/catid/10



振り子式車両でスピードアップ





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

◎ 洗濯機の脱水

洗濯機…？回転して水分を飛ばしている

洗濯機の脱水機能

洗濯機の脱水

洗濯機の脱水機能

◎ かくはん機

◎ サラダスピナー



◎ ミキサー？(差す所が壊れたときに，混ぜる材料が拡散して大変になったことがあります。)

遠心力を利用した身の回りのもの

◎ 公園のあれ



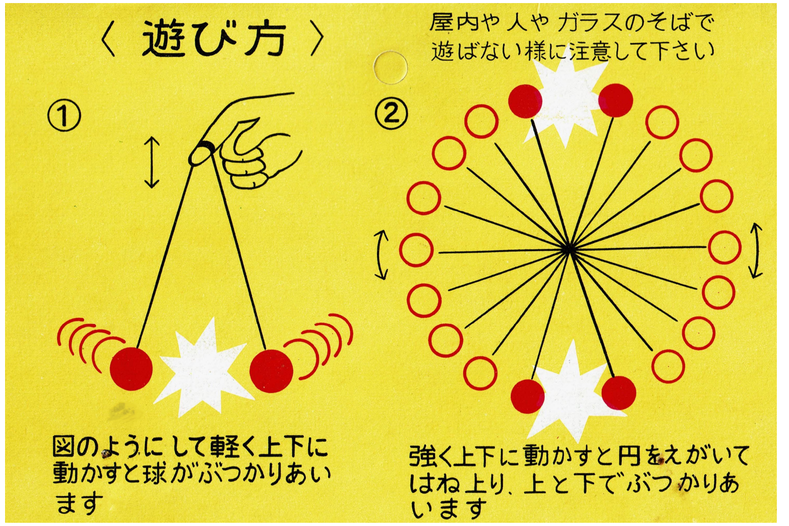
公園にあるめ、ぐる回す遊具



これ



○ メリカンクラッカー



○ ハンマー投げ

ボール、やり投げ（陸上競技）



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やすくする



×
・お風呂で手をブルブルまわすと、うのを落く。
・ラクロスでボールを保持するときにするクレードルという技術でボールをキープできる。
・台風(?)

◎
傘を回すと水滴がとんでいくところ。

◎
道具じゃないんですけど、
ピザまわし


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

◎
道具ではないですが、大人が子供とたわむれる際に振り回して子供を浮かせる遊び

遠心力を利用した身の回りのもの

◎ ゆうえんちのバイキング



◎



遊園地のコーヒーカップ、

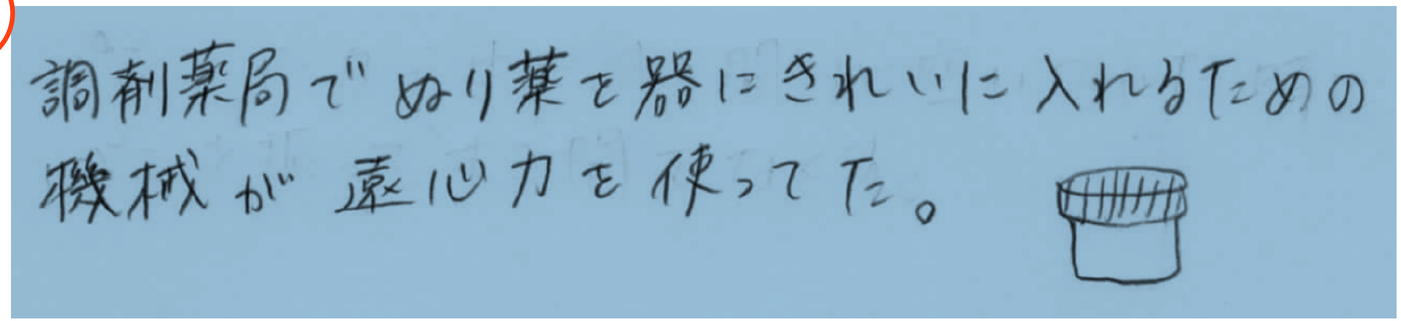
× 野球バット・テニスラケット

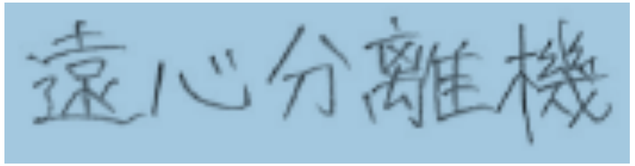


？ なげなわ　石つぶて

◎ 子どものおもちゃのたいこ．手をふるやつ　「でんでん太鼓」

遠心力を利用した身の回りのもの







【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) **¥738,462**
	1	個　カートに入れる

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



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

(天日干しシシャモ　600匹～800匹／台)

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

サイクロンそうじき

ダイソンの掃除機





Dyson Cyclone CM JPNversion

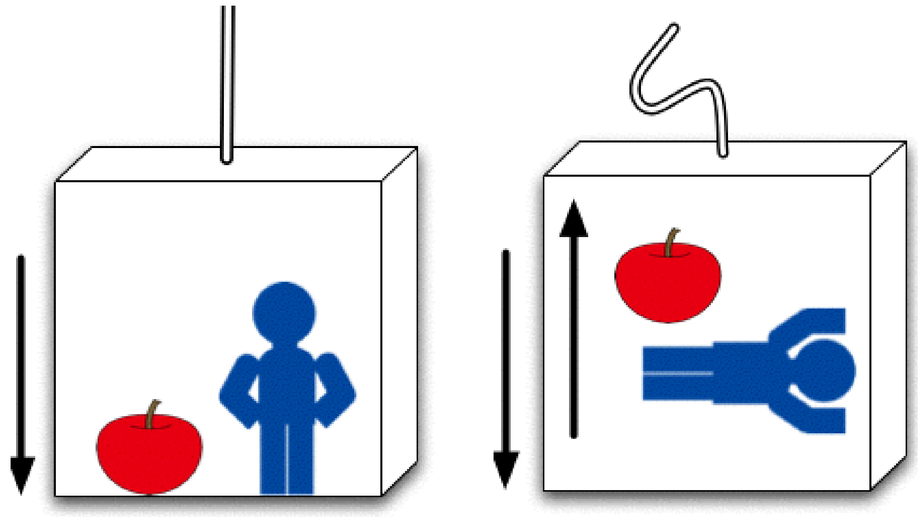
http://www.youtube.com/watch?v=uqbyj_VNCgw

力7　見かけの力：遠心力

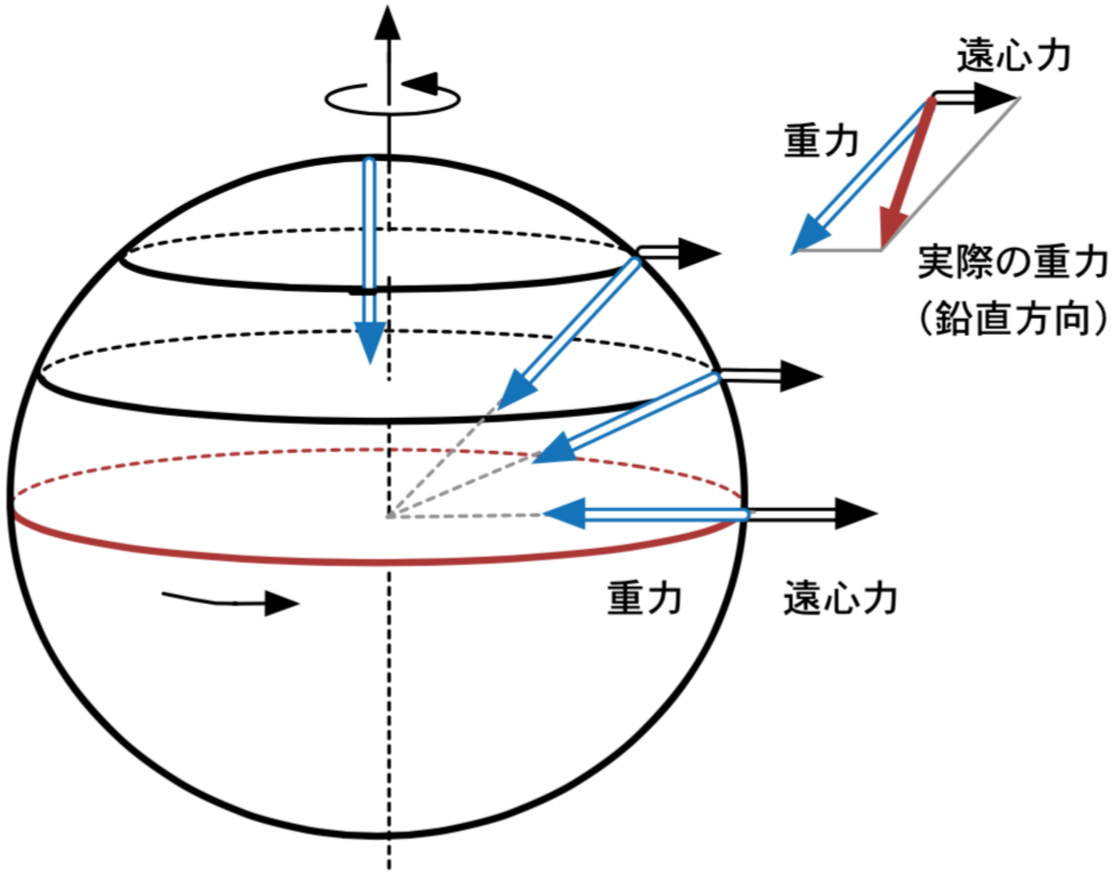
➡ 一般化して，「慣性力」

法則　**慣性力**

加速度 $\boldsymbol{a}$ 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 $-m\boldsymbol{a}$ 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．



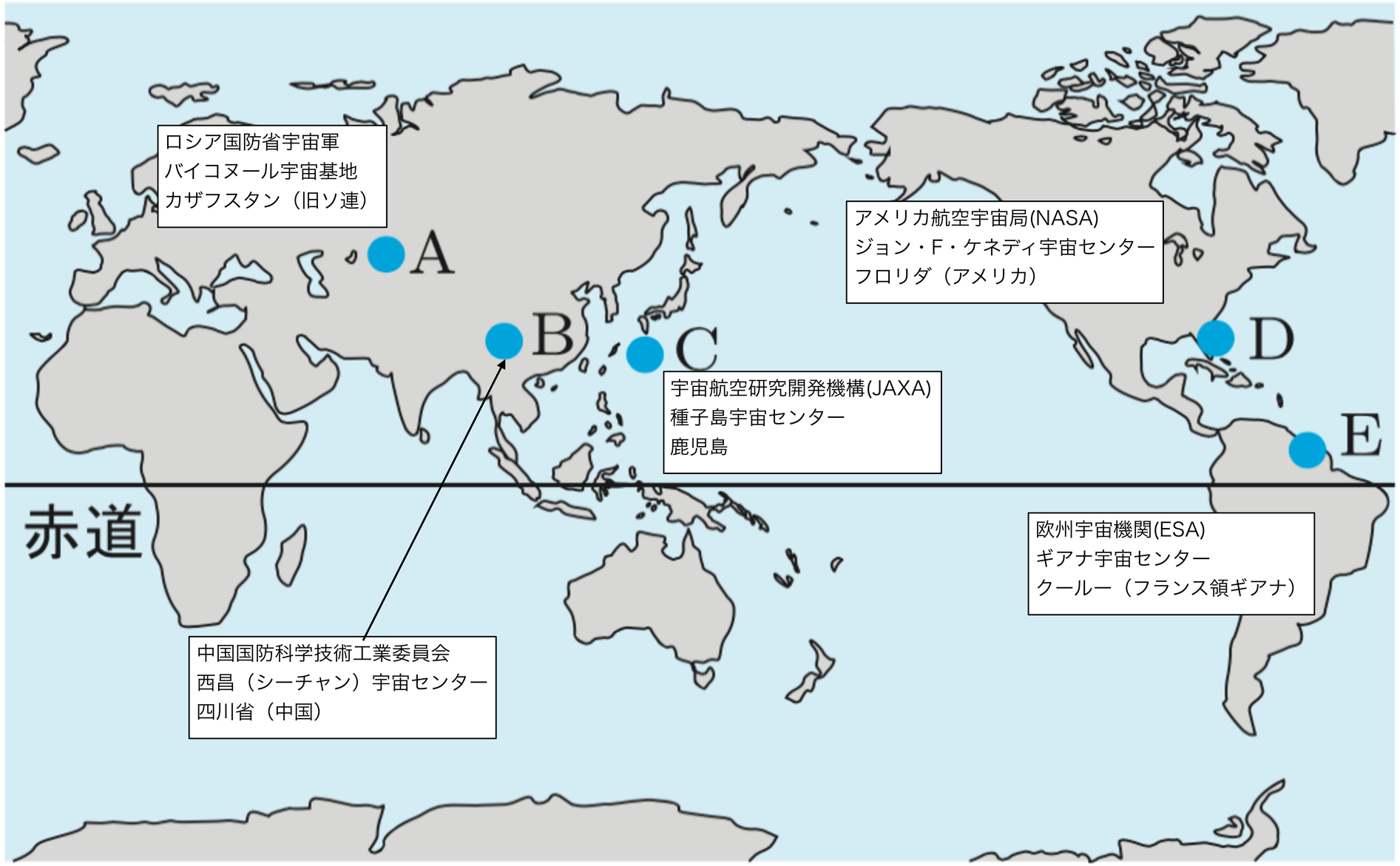
地球の遠心力



リンゴの落ちる方向は，
地球の中心向きではない．

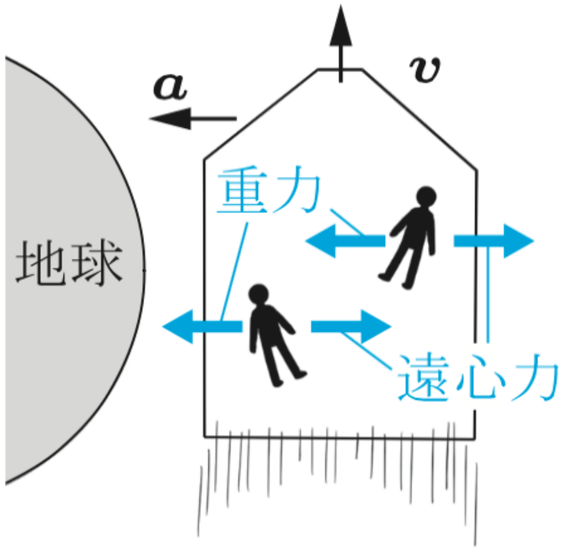
問 2.32　遠心力の大きさを考えて，北極点と赤道上で体重計に乗ると，違いは何%生じるだろうか．

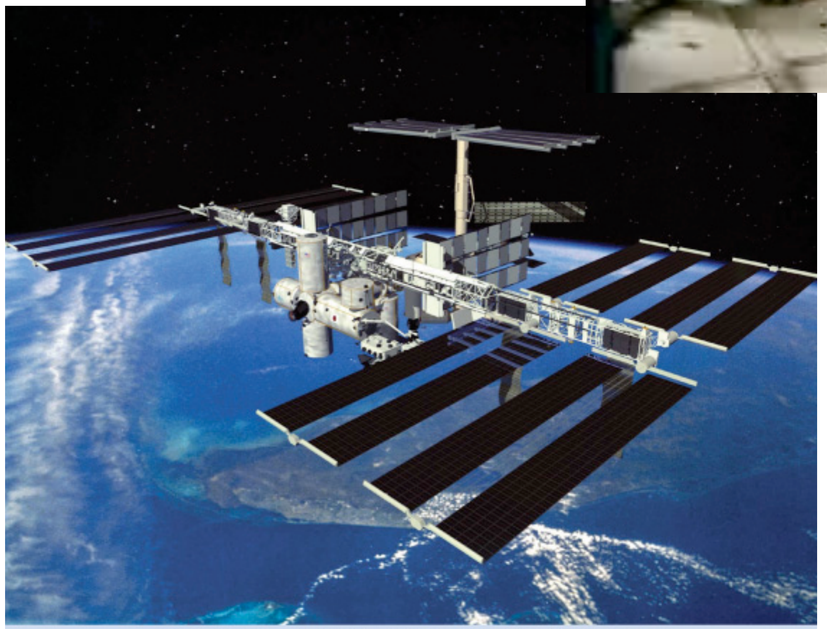
ロケット発射場はなるべく赤道近くに



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

重力はゼロではなく，遠心力とつりあっている

無重量状態をつくることは可能か？

Zero Gravity

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。

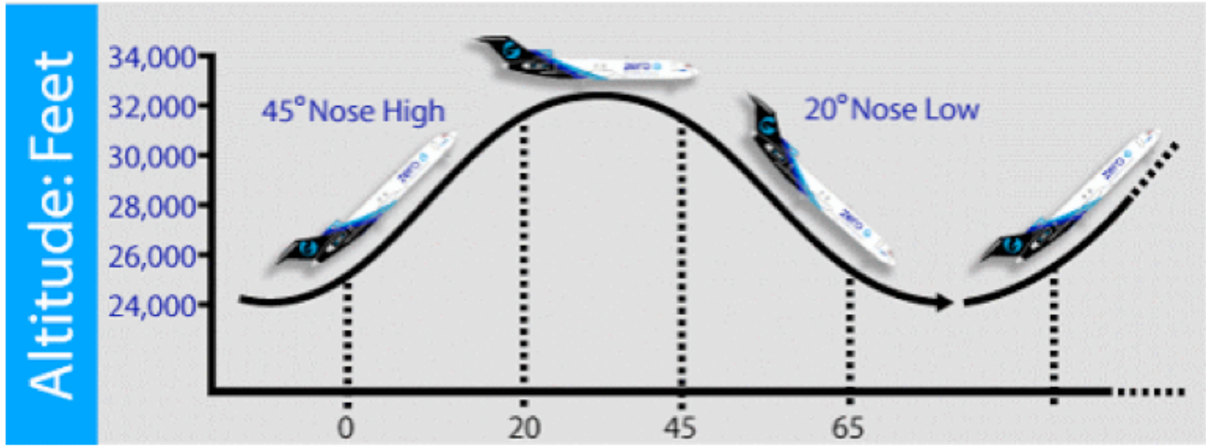


無重力体験・概要

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

前回のミニッツペーパーから

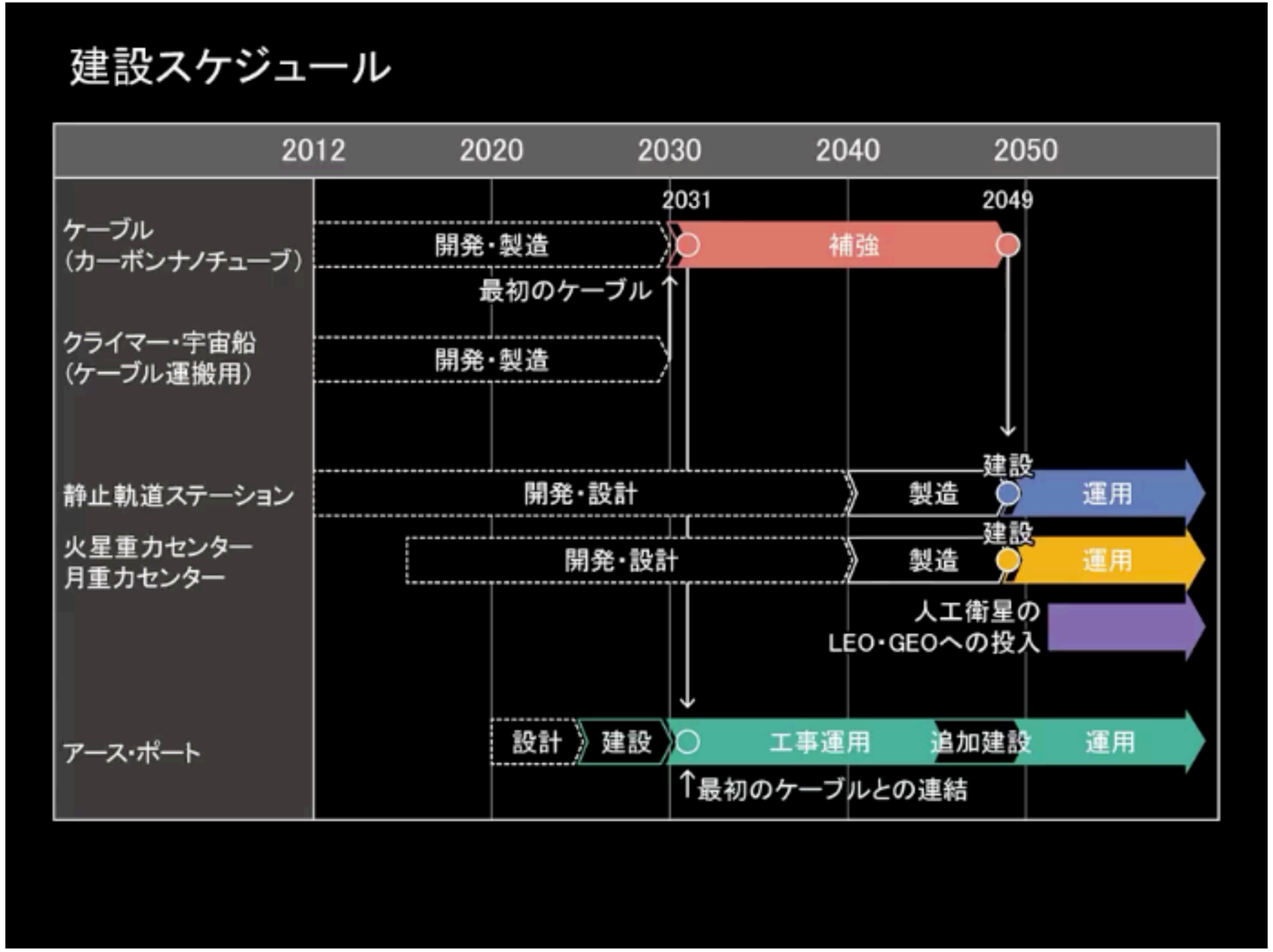
私は宇宙エレベーターで宇宙に行くことが夢です。
宇宙エレベーターで宇宙に行くことが将来本当に実現できるようになると思われますか。



https://www.obayashi.co.jp/kikan_obayashi/detail/kikan_53_idea.html

前回のミニッツペーパーから

私は宇宙エレベーターで宇宙に行くことが夢です。
宇宙エレベーターで宇宙に行くことが将来本当に実現できるようになると思われますか。



https://www.obayashi.co.jp/kikan_obayashi/detail/kikan_53_idea.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？

ゆでると中が固まって安定するため

ゆで卵は中身が固まっていて、回転が安定するから。

△

○

中身がしっかり固っていて、卵に与えた回転力がそのまま卵全体に伝わって、回転が安定して長く続くから。

ゆで卵は中身が固まっていて、殻と一緒に回転する

生卵は中身が液体でずれる

なぜ安定回転するのか？

ゆでた卵は中身をからが一体となって回転するため、安定して回転することができるから。

ゆでた卵は中身が固まっているため中身も一緒に回転するから．

ゆでていない卵は中身が固まっていないため、中身は別の動きをするので回転しにくい

摩擦力がゆでていない卵よりも働かないから。

ゆで卵は中身が固体になっていて、殻と一緒に回転するから。

ゆでることにより黄身が固定し重心が安定しそう

ゆでられることで，液体から固体になり，重心が移動しにくくなるため，回転が安定する．

○

黄味が固まった分、重心が固定されるから

ゆで卵は重心が決まっているがゆでていない卵は重心が移動してしまうから．

固体→重心が固定される
→全体が1点(1軸)を中心に回転する
→ふらつき回転がなく，安定
→与えたエネルギーがすべて回転へ使われる

ゆでていない卵は、卵白が液体のため全てが卵白く卵黄になっている？

ゆでることで卵の外側の全てが増え、よく回るようになる

×

中身がかたまっているから、力が加わりやすい。

ゆでたまご食べたいです

!!

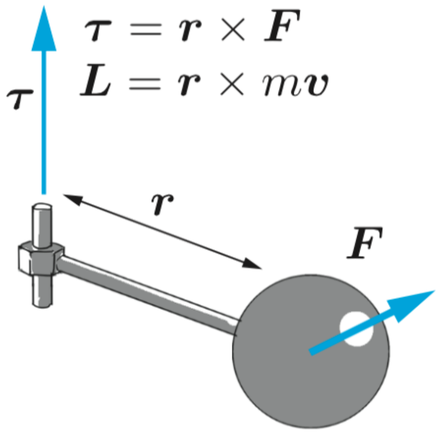
トルク＝回転させようとする力

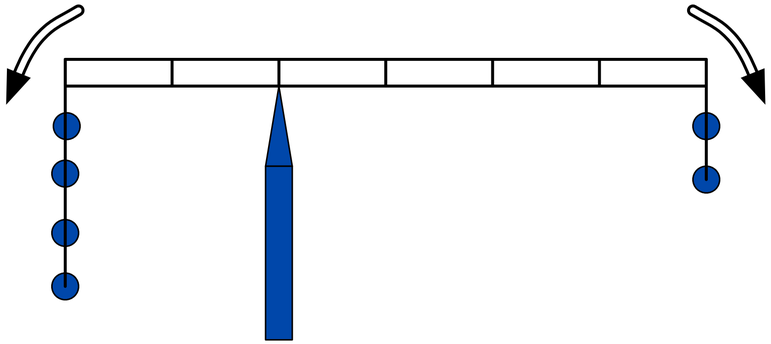
トルクと角運動量

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．

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

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



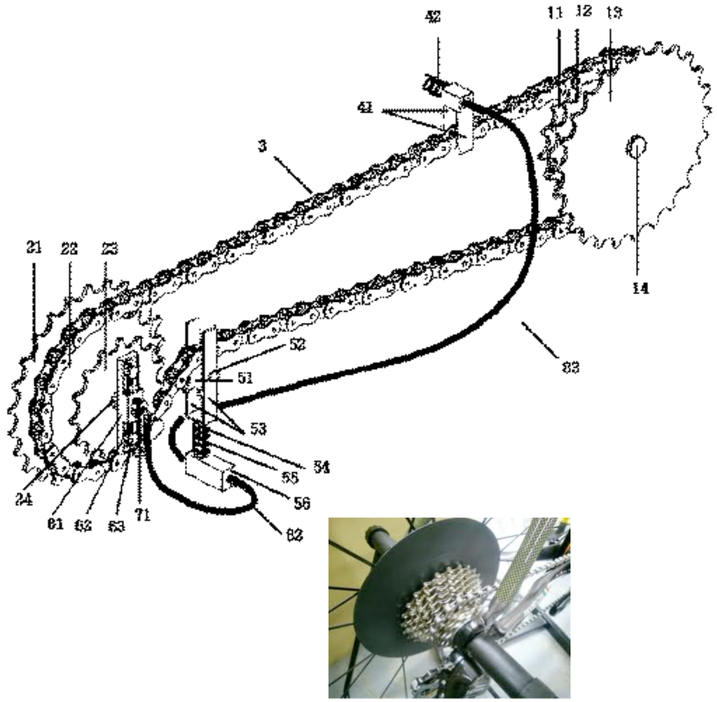


トルク(torque)は，
回転モーメントとも呼ばれる

トルク＝回転させようとする力



工具



自転車のギア比

教科書 p83

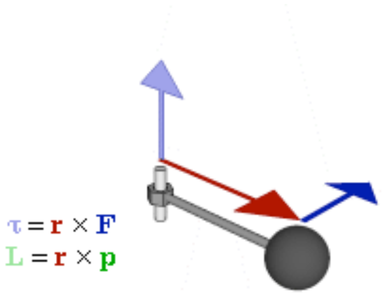
角運動量＝回転運動の運動量

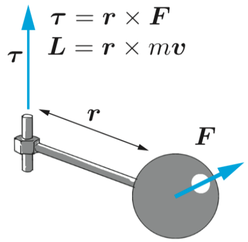
トルクと角運動量

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．

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

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





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.

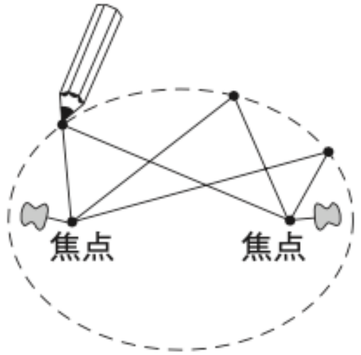
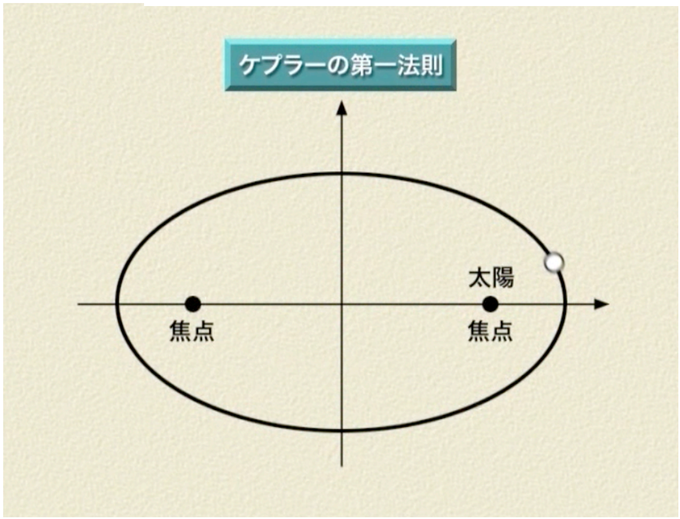
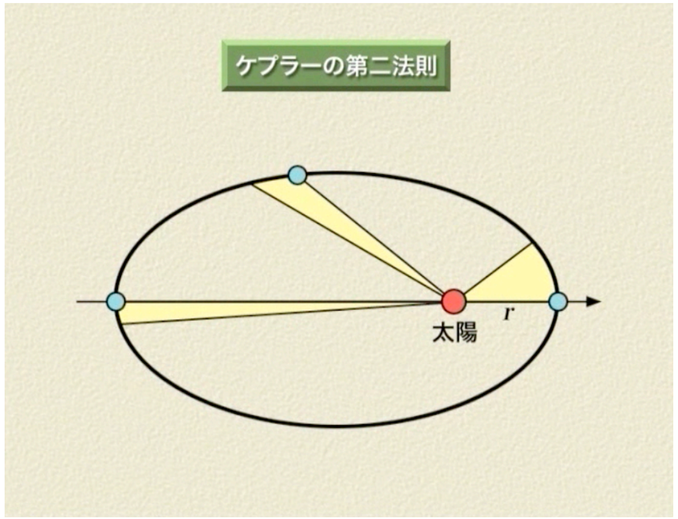
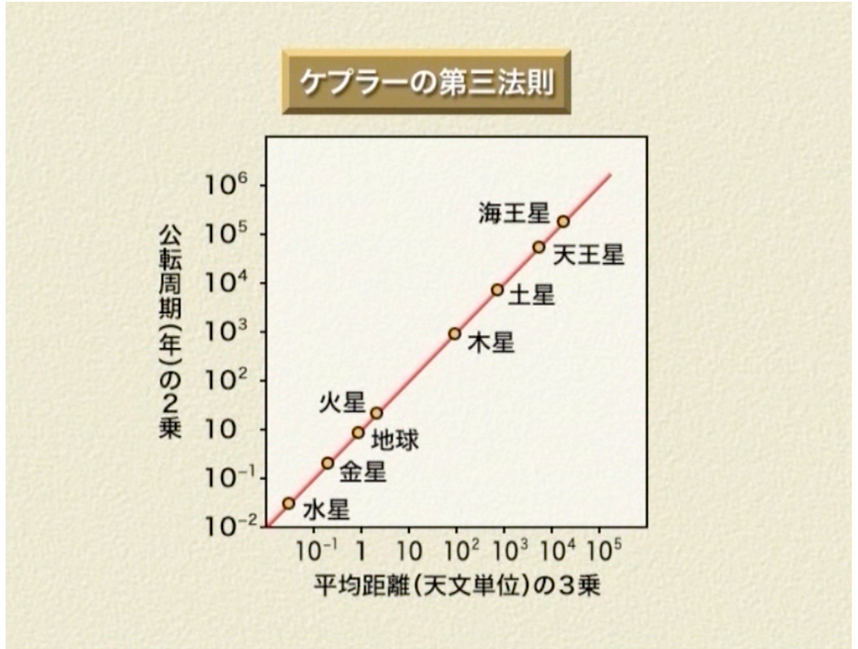


図 2.13　楕円は 2 つの焦点から糸を張り，ペンで一周すると描ける形である．焦点が 1 つに重なっていれば円になる．円は特殊な楕円である.







【実験ですよ】

角運動量は保存する

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．

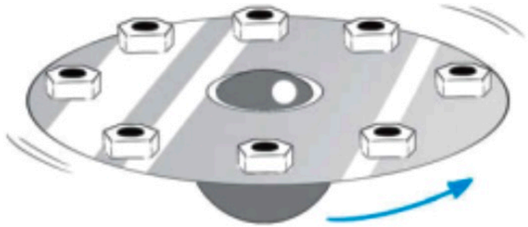
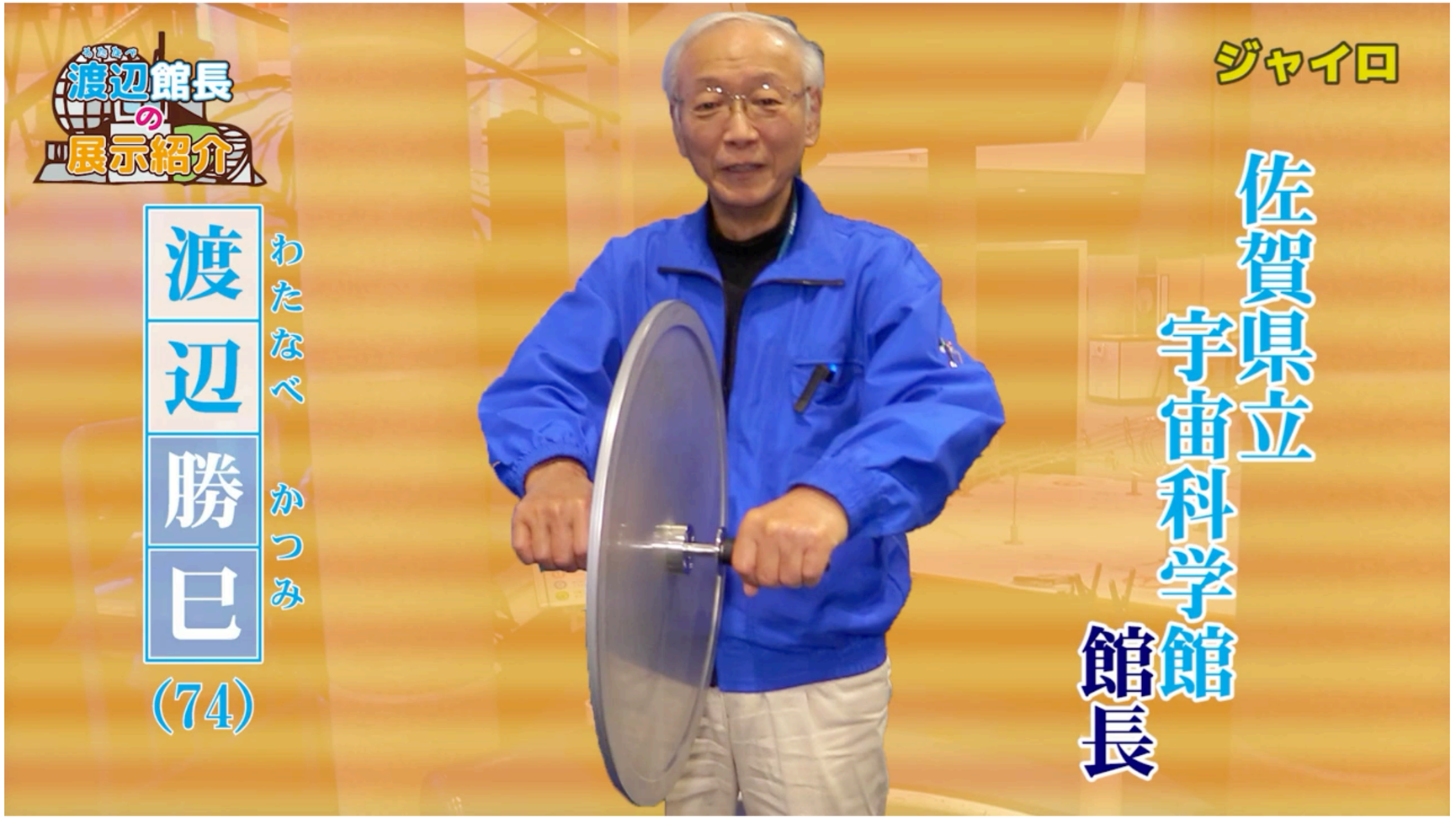


図 2.119　角運動量が大きいコマ

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た車輪を持ち，それを傾けると
人間が回るのはなぜ



【館長の展示紹介#08】ジャイロ（Gyroscope）　https://www.youtube.com/watch?v=bC207InRHxE

Falling Cat problem

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 | Search

Falling cat problem

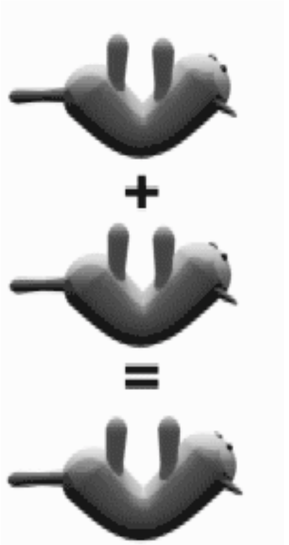
From Wikipedia, the free encyclopedia

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？）

Falling Cat problem

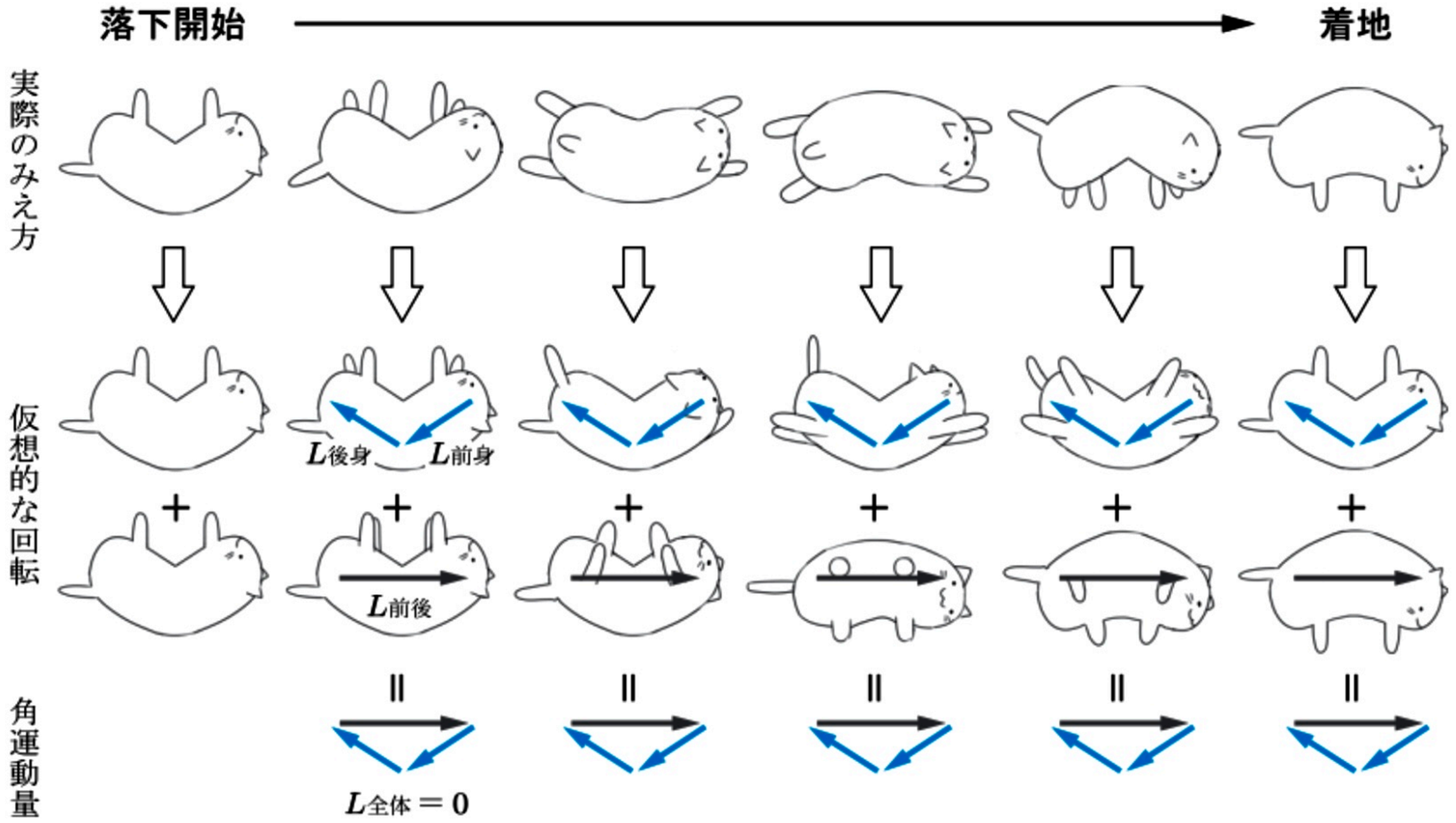


図 2.120 猫の落下問題の解決　図は左（落下開始）から右（着地）への時間変化を示し，上段は，実際の猫の体勢である．2 段目と 3 段目は，猫の回転を分解して示した図である．猫は「く」の字に体を曲げ，前身と後身でそれぞれ体を回転させる（2 段目の図）ことで，全体の角運動量をゼロにしたまま水平軸方向の回転（3 段目の図）を得ていた．最下段は，すべての回転ベクトルの合成がどの瞬間でももとに戻る（すなわち，和はゼロに保たれている）こと，すなわち全角運動量はゼロのままに保たれていることを示している．

【物理】

タケコプターは可能か





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

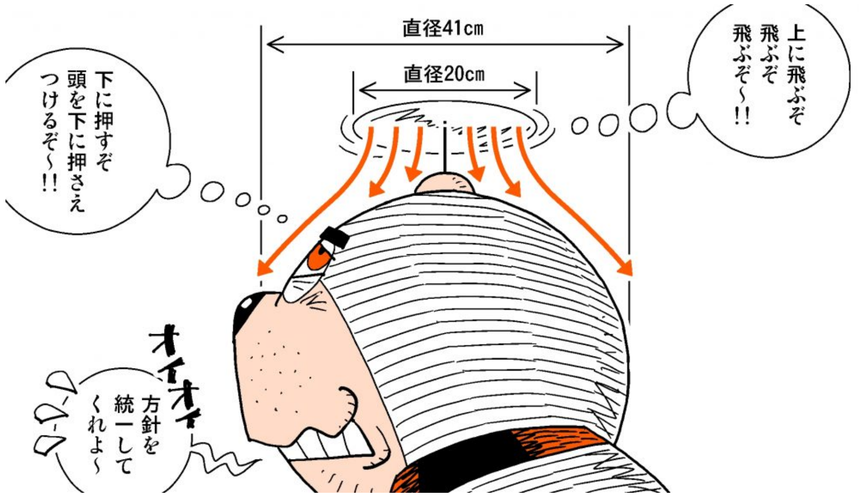
25ポイント(1倍)

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



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

【物理】

タケコプター欲しい



NON STYLE LIVE 2016 「ドラえもんの道具」　　タケコプター欲しい

https://www.youtube.com/watch?v=j0nJhjpA-bM

【物理】

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

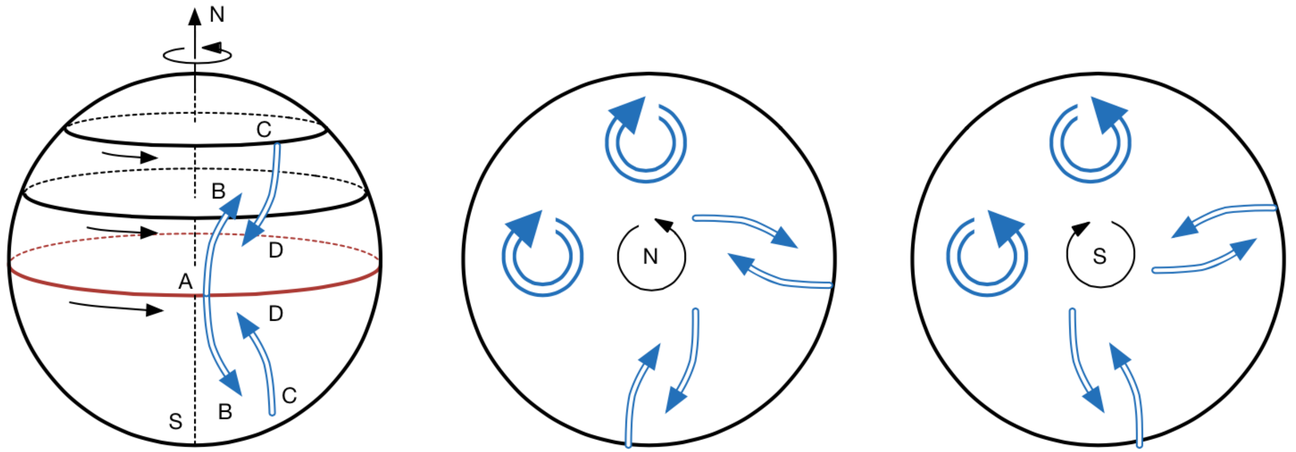
Doraemon jumps up with a bamboo copter. The size of the propeller must be large enough to stick out of the head, and the double propeller is devised to reduce the total angular momentum to zero by rotating in the reverse direction. When you add your hand, the downward wind turns back and accelerates 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きには，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．





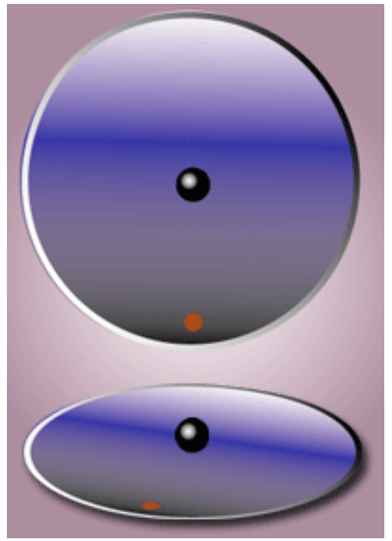


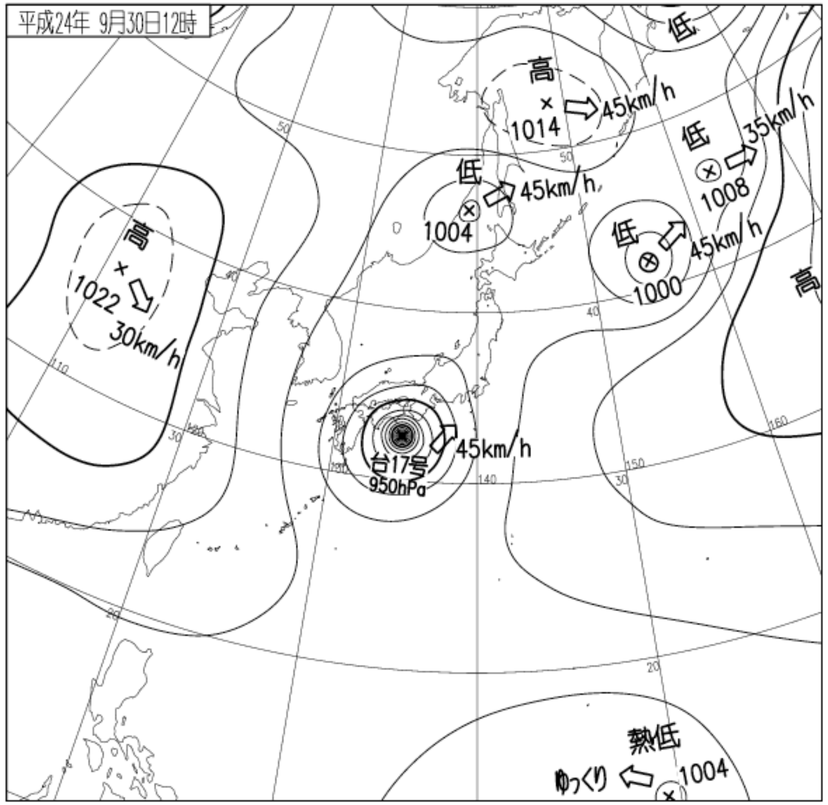
図 2.121 〔左〕回転する物体上で運動すると，回転する速度成分の違いから，物体の運動方向は曲がる．〔中〕北極方向から見た図（左回り回転盤上の運動）．〔右〕南極方向から見た図（右回り回転盤上の運動）．



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

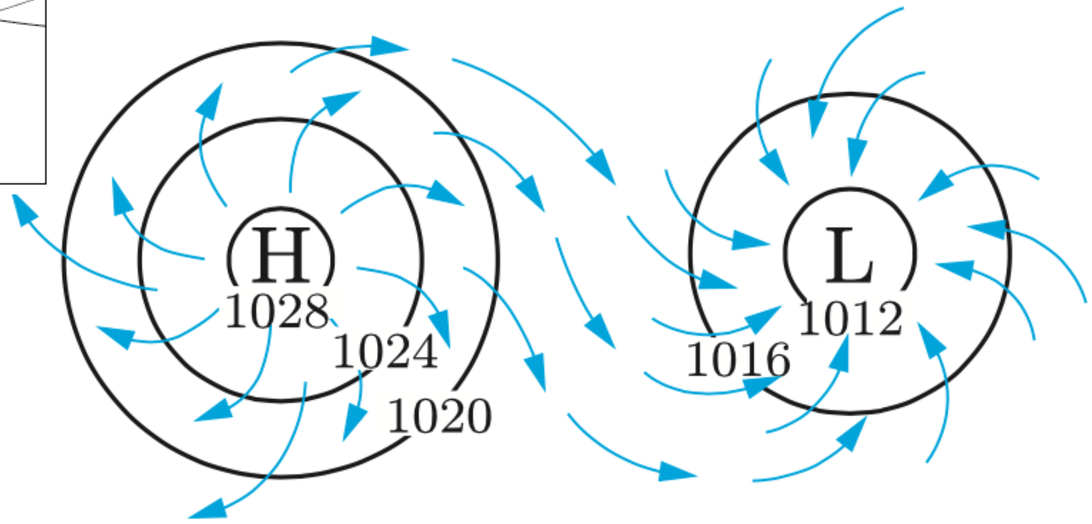
高気圧と低気圧



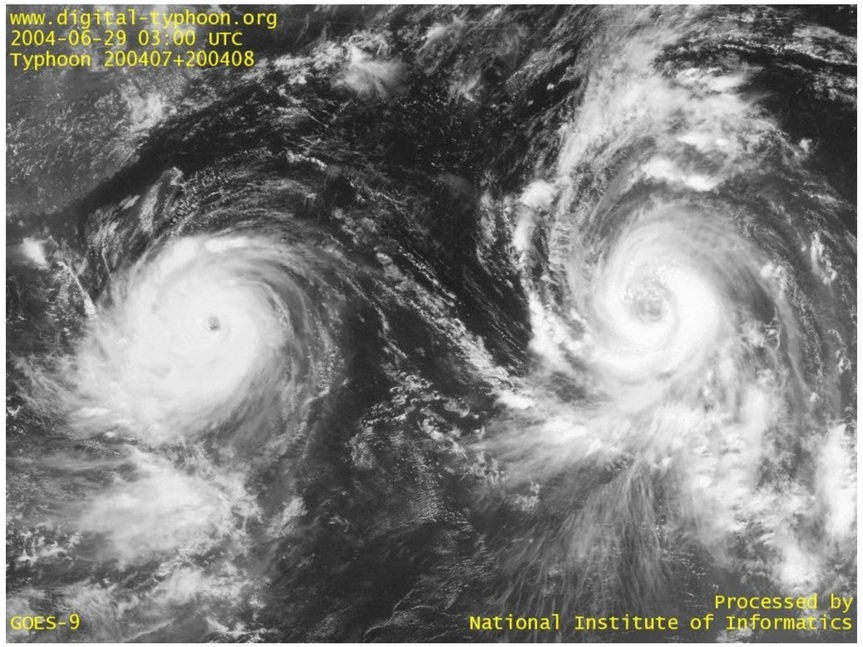
Topic　高気圧，低気圧

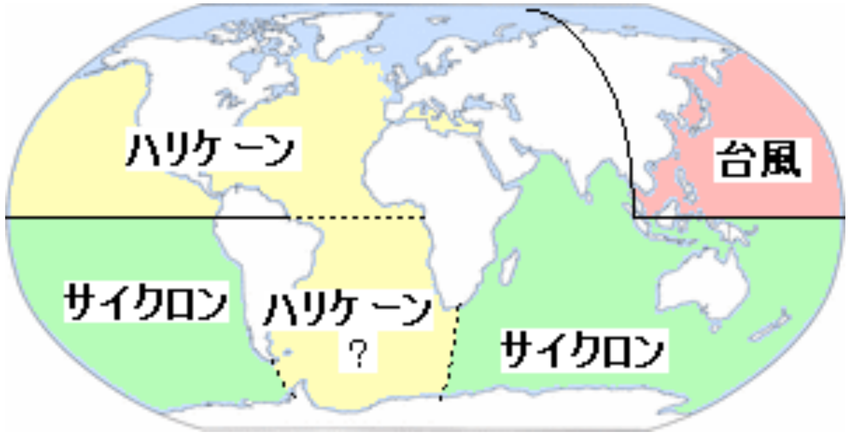
天気予報の気圧配置でいう**高気圧**，**低気圧**とは，地表付近での気圧の大小を相対的に述べたものである．地表付近では，高気圧から低気圧へ大気は流れる（コリオリの力によって，高気圧から低気圧に向かって風は傾いた経路で流れる）．

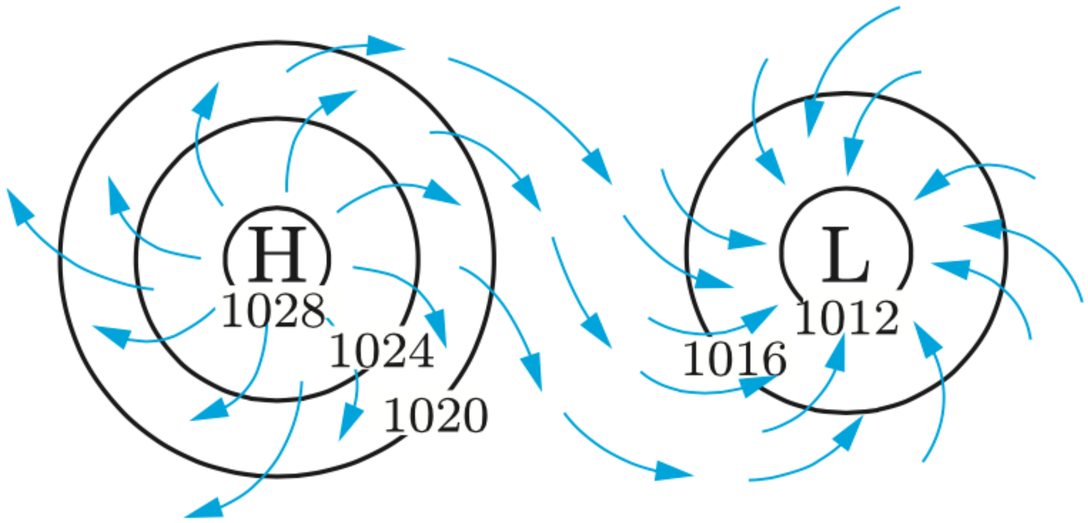
高気圧の部分では，上空から大気が流れる下降気流になる．下降気流では，雲が発生しにくいため好天になりやすい．一方，低気圧の部分では，流れ込んだ大気は上昇気流となって上空へ移動するが，今度は，雲ができ雨が降りやすくなる．



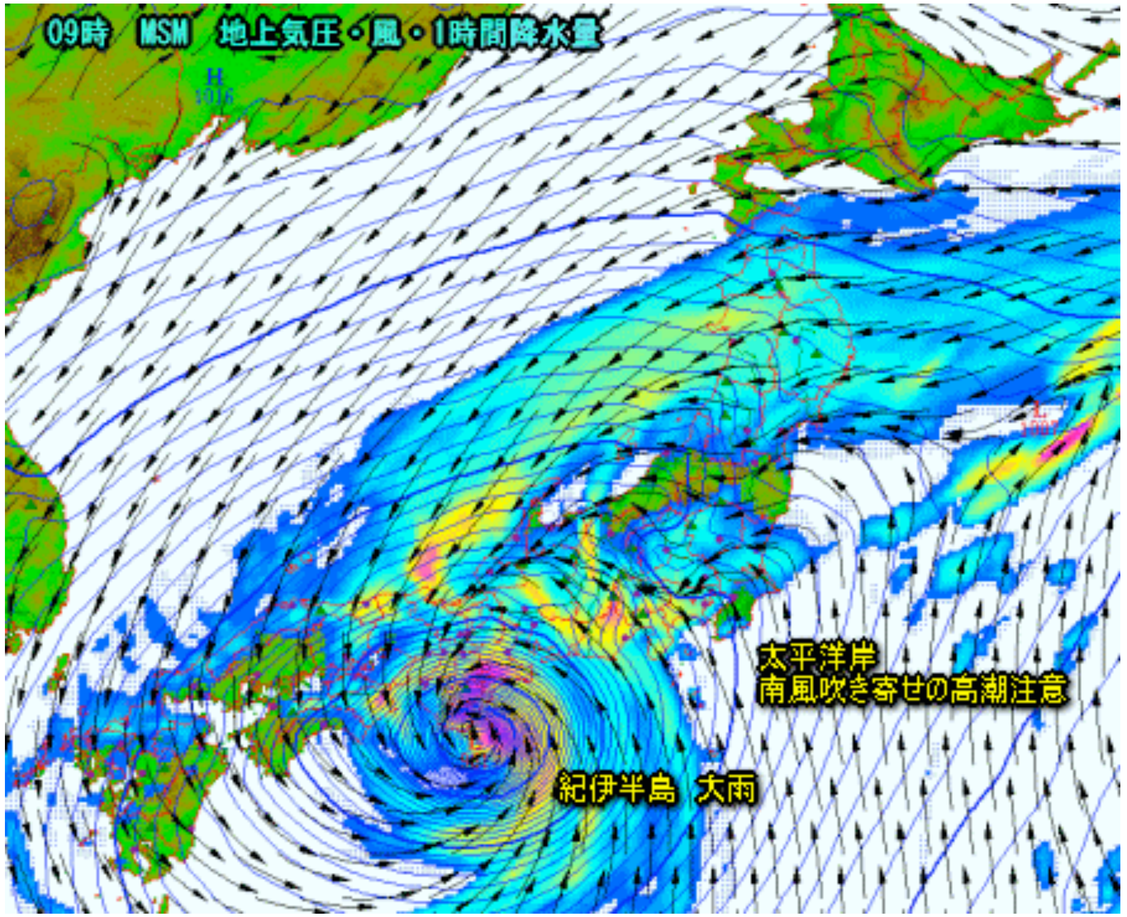
台風はなぜ反時計まわりか？





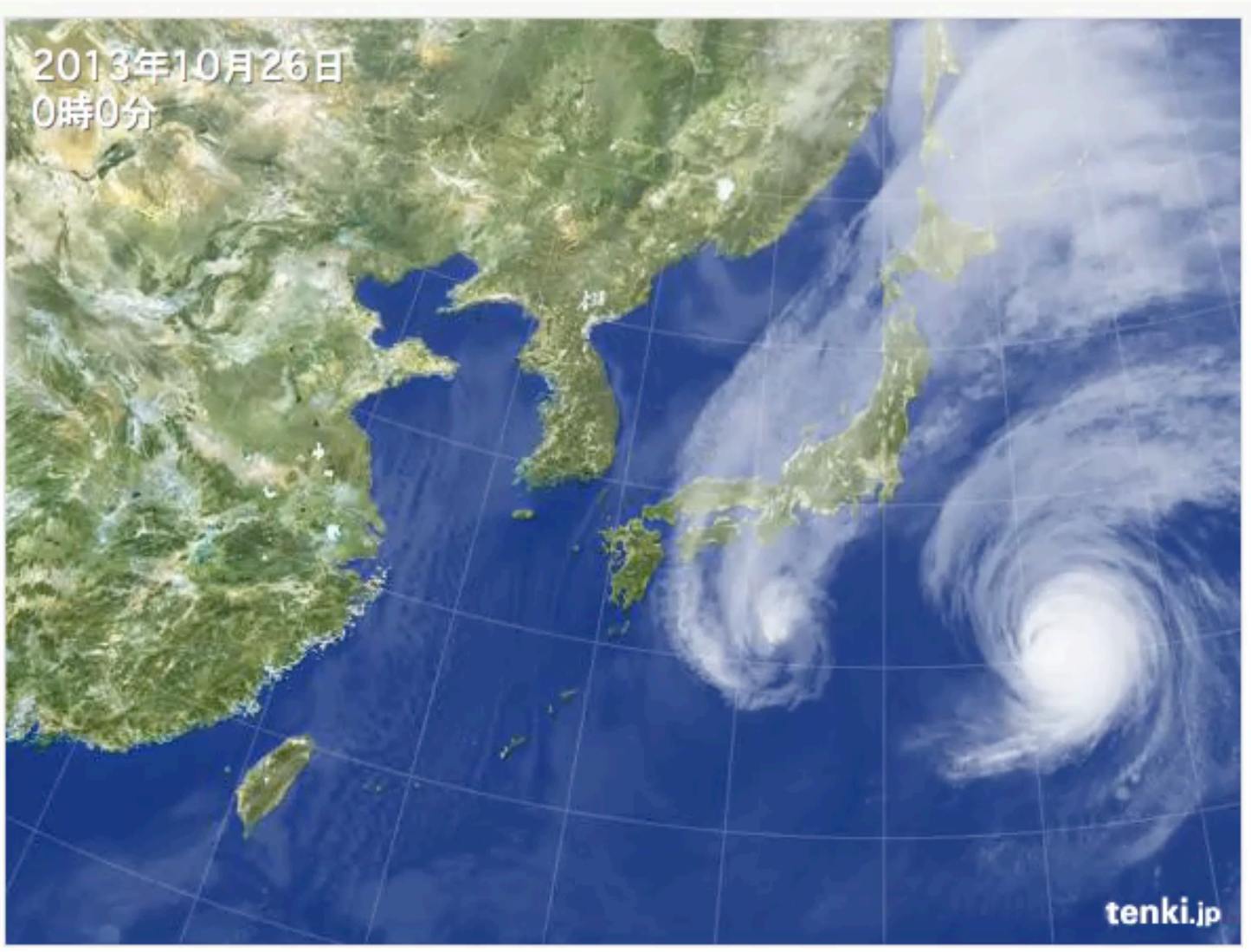


台風はなぜ反時計まわりか？



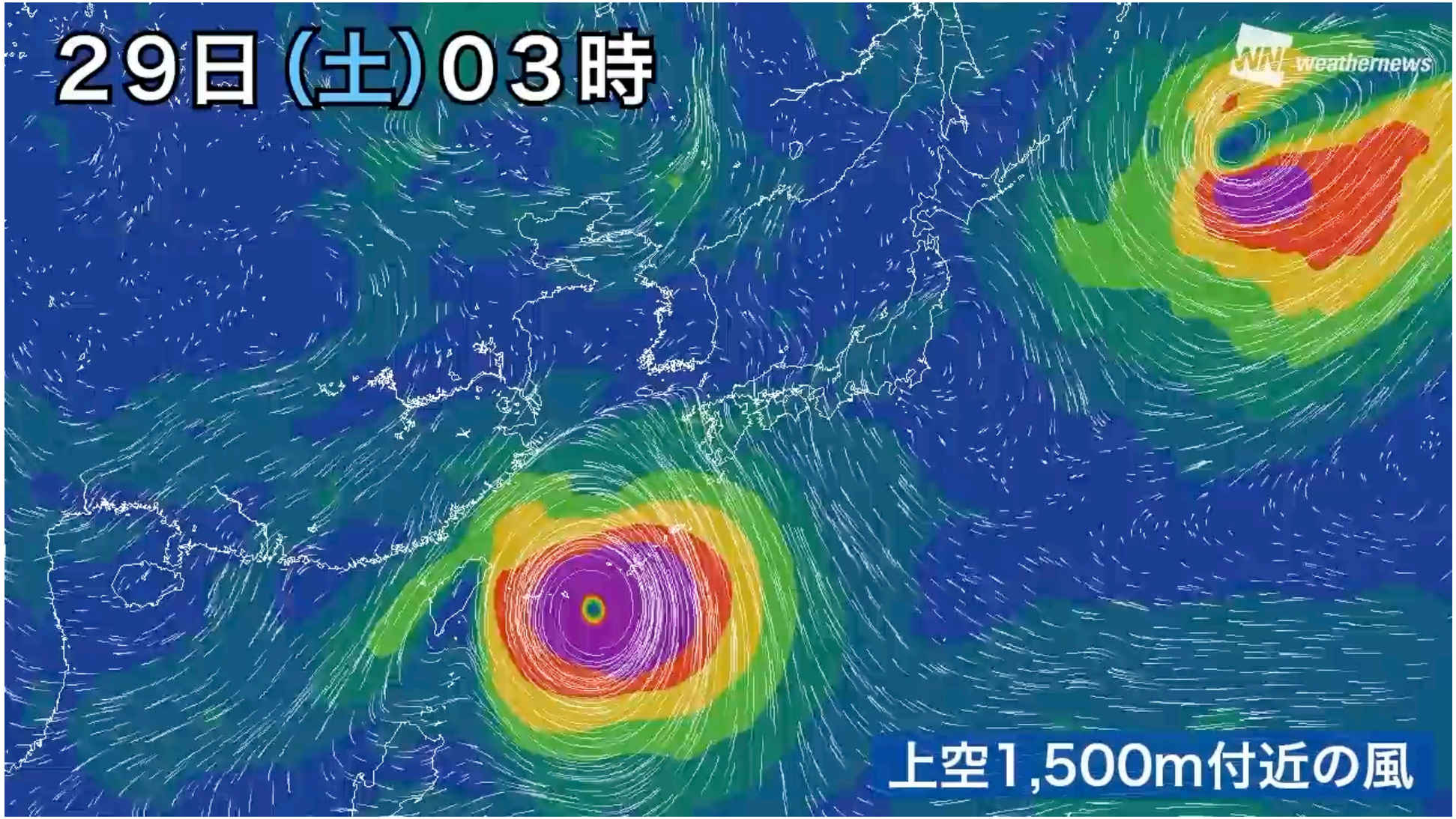
http://kasayan.naganoblog.jp/e831684.html

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

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．



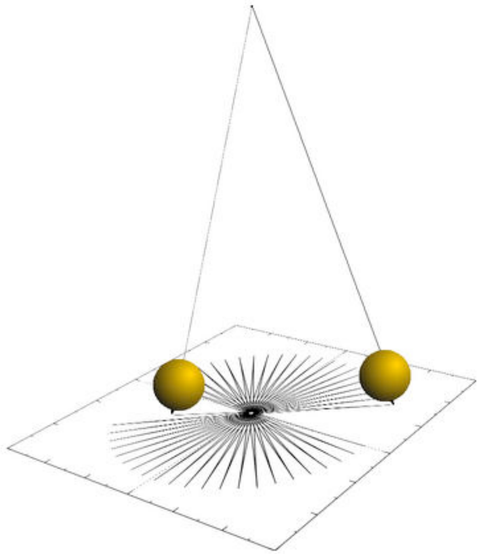
https://www.youtube.com/watch?v=vMSbZQ46W14



【赤道のハナシ】 #02『「赤道」実験の真実』 https://www.youtube.com/watch?v=sqHwSKo6l4k

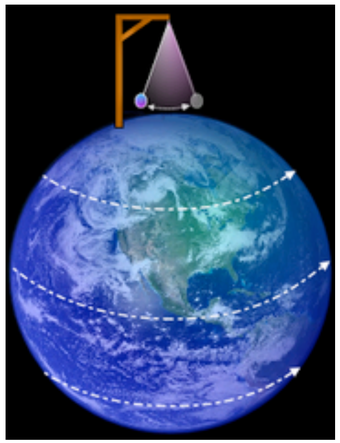
フーコーの振り子

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 θ の地点では，$T = 24$ 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．

本日のミニッツペーパー記入項目

出席票を兼ねます.

〔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(手前に引く扉)がよいか, 押し戸(押す扉)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 $1\ \mathrm{cm}^2$ ）
足2本
体重 40kg



足は直径50cmの円
（面積 $2000\ \mathrm{cm}^2$）
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)

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