

光の速さ

竹下徹 信州大学

@太田公民館 (飯山市)

光

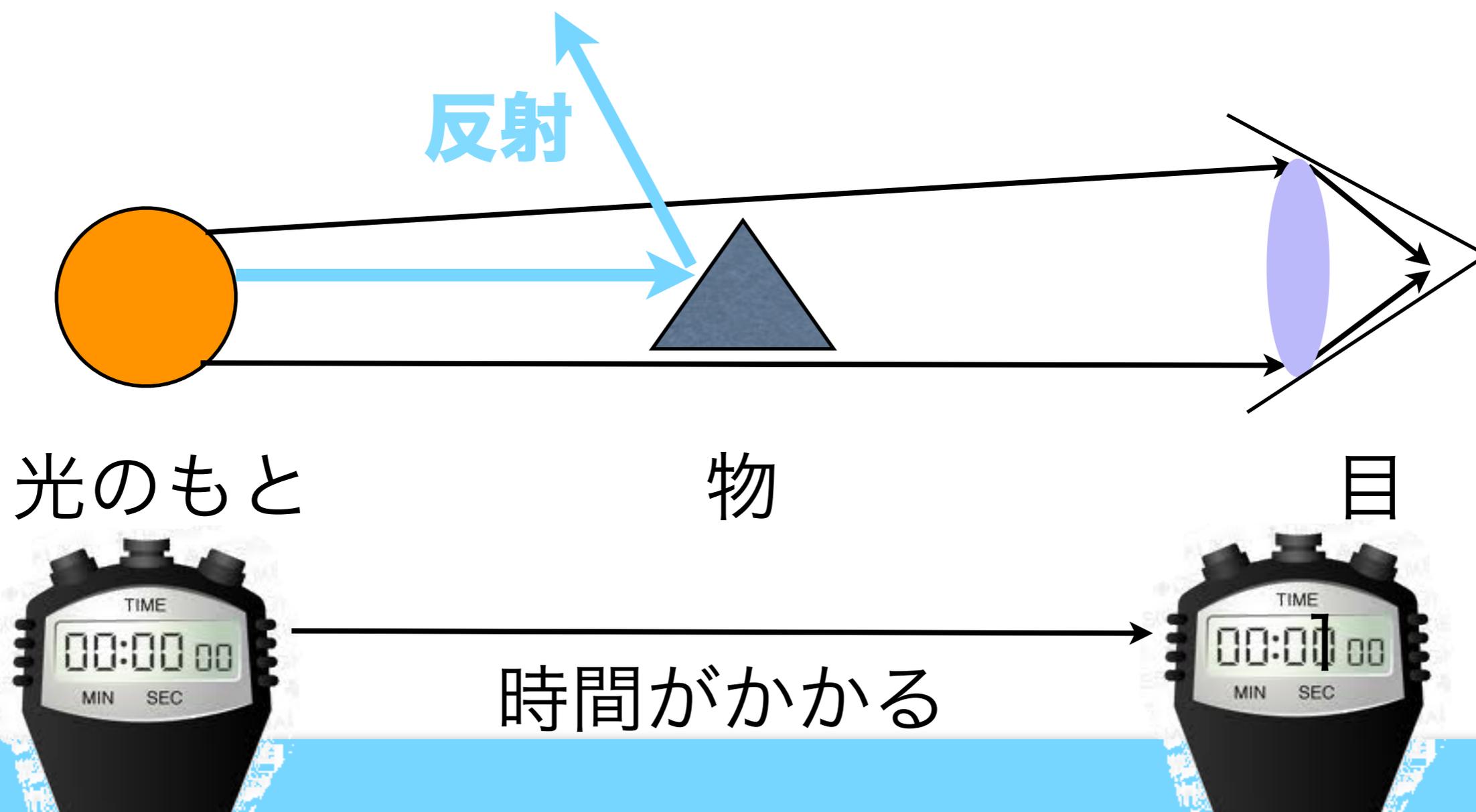
光の速さ

宇宙

光速を測る

光ってなんだ？

- 人が見る
- 光を出すもと、物、目



速さ

速さ = (きょり) ÷ (じかん)

よーいドン

ゴール



じかん

500秒

光速は30万

km/秒

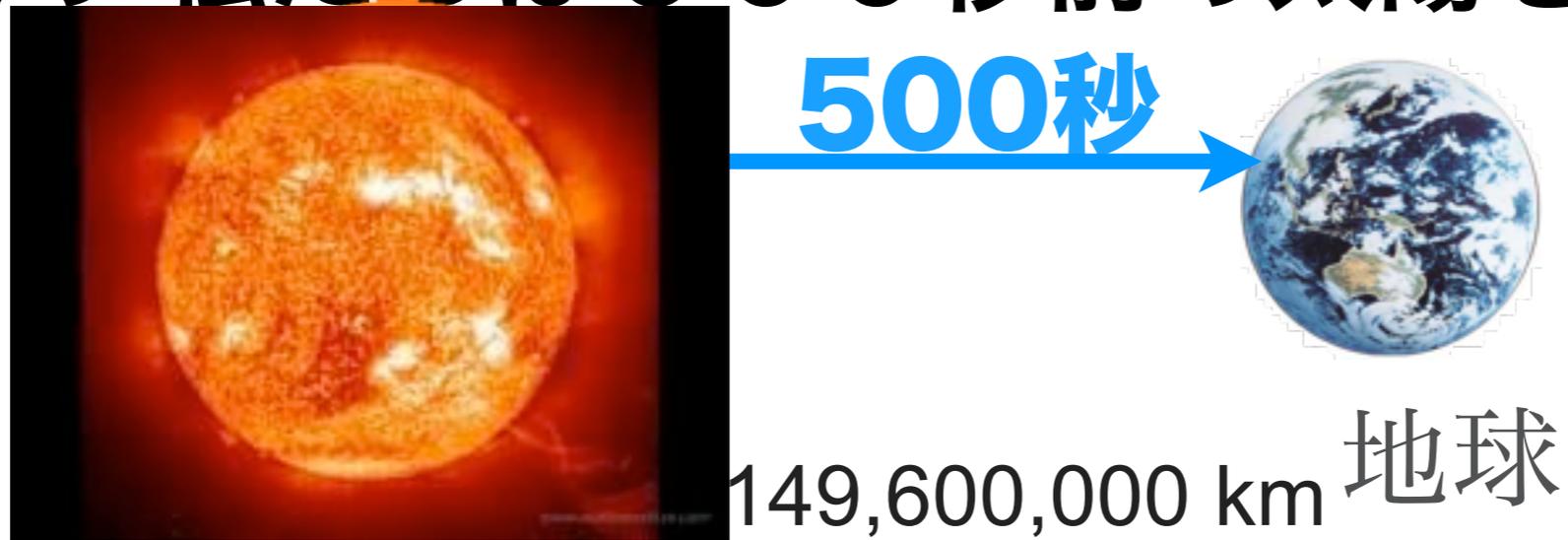
太陽

地球

きょり

光の速さ

- 地球の 私たちは500秒前の太陽を見ている



- もっと遠くの星は長い時間かかって地球に来た
- 星の過去を見ている
- 光が1年かかって飛ぶ距離 1光年：1年前

9,460,730,472,581 km
兆

宇宙の大きさ

- 光年

- 太陽と地球： $\frac{16}{1,000,000}$ 光年

- とんりの太陽系：ケンタウルス座 α 4.4光年

- 天の川銀河の大きさ：10万光年

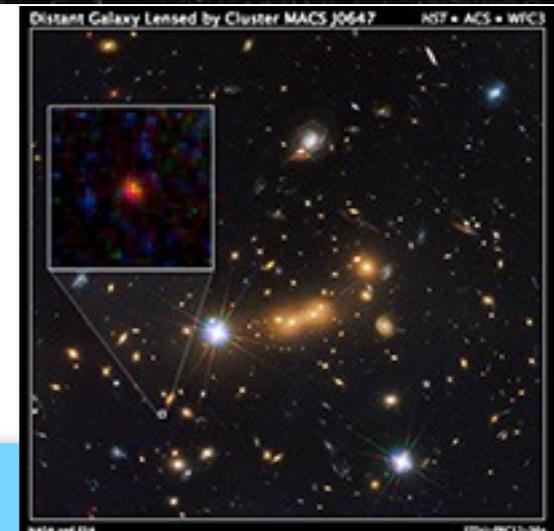
- 隣の銀河：アンドロメダ星雲

- 最も遠い天体：133億光年



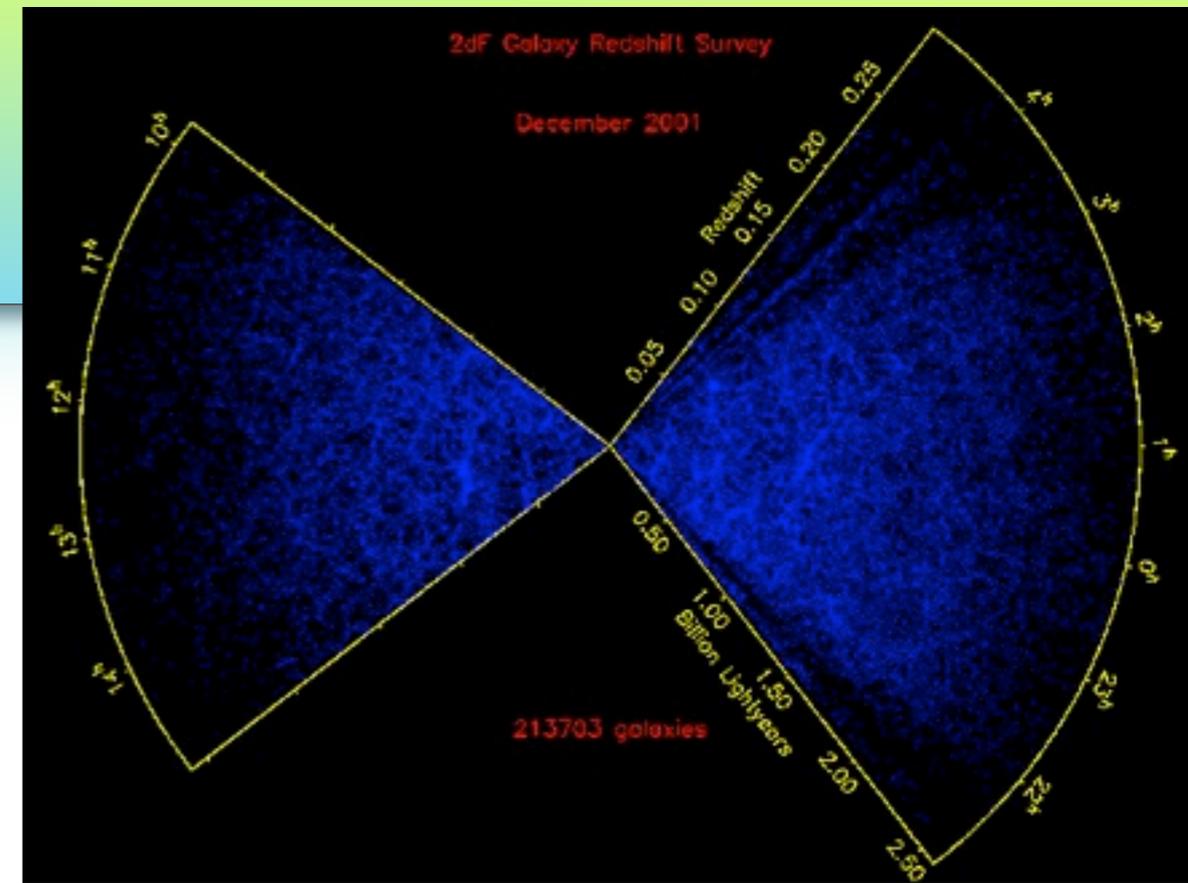
天の川銀河(想像図)

250万後年



宇宙

- 宇宙の観測
- 星、銀河などからの光
- 最も遠い光：133億年前
- 宇宙は133億歳以上年を取っている
- 宇宙は133億光年以上大きい

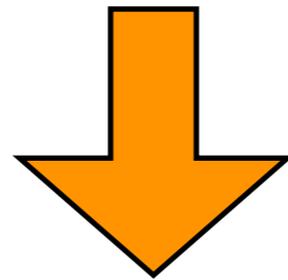


宇宙の観測

宇宙と夜空

1823年

- オルバーズのパラドクス
- 仮定1：宇宙で星や銀河が一様にある
- 仮定2：宇宙はどこまでも広がっている



結果：

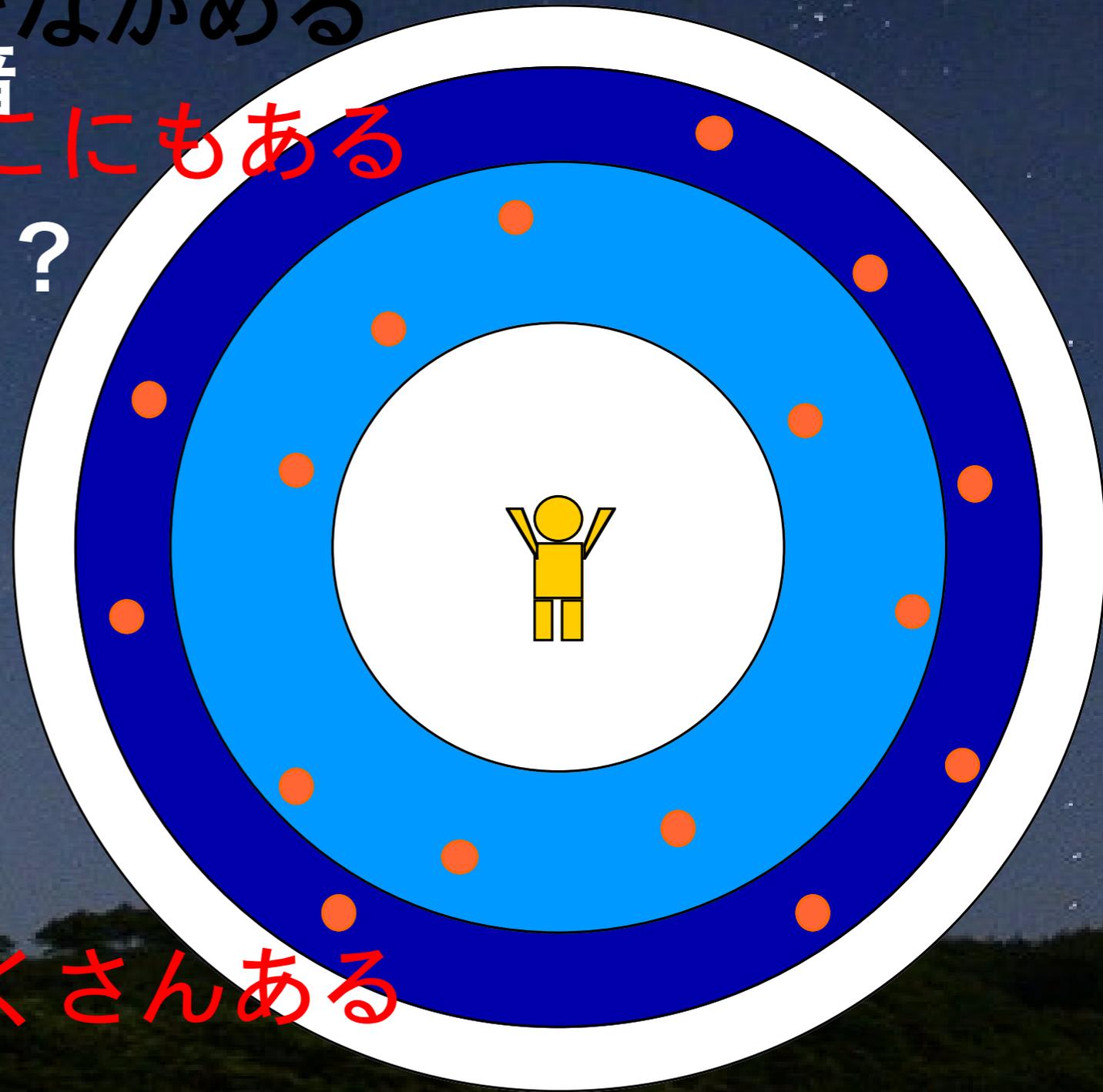
夜空は星や銀河で埋め尽くされ明るく輝く

夜空

夜空をながめる

- 星と星の間は真っ暗
- オルバーズは間違い？

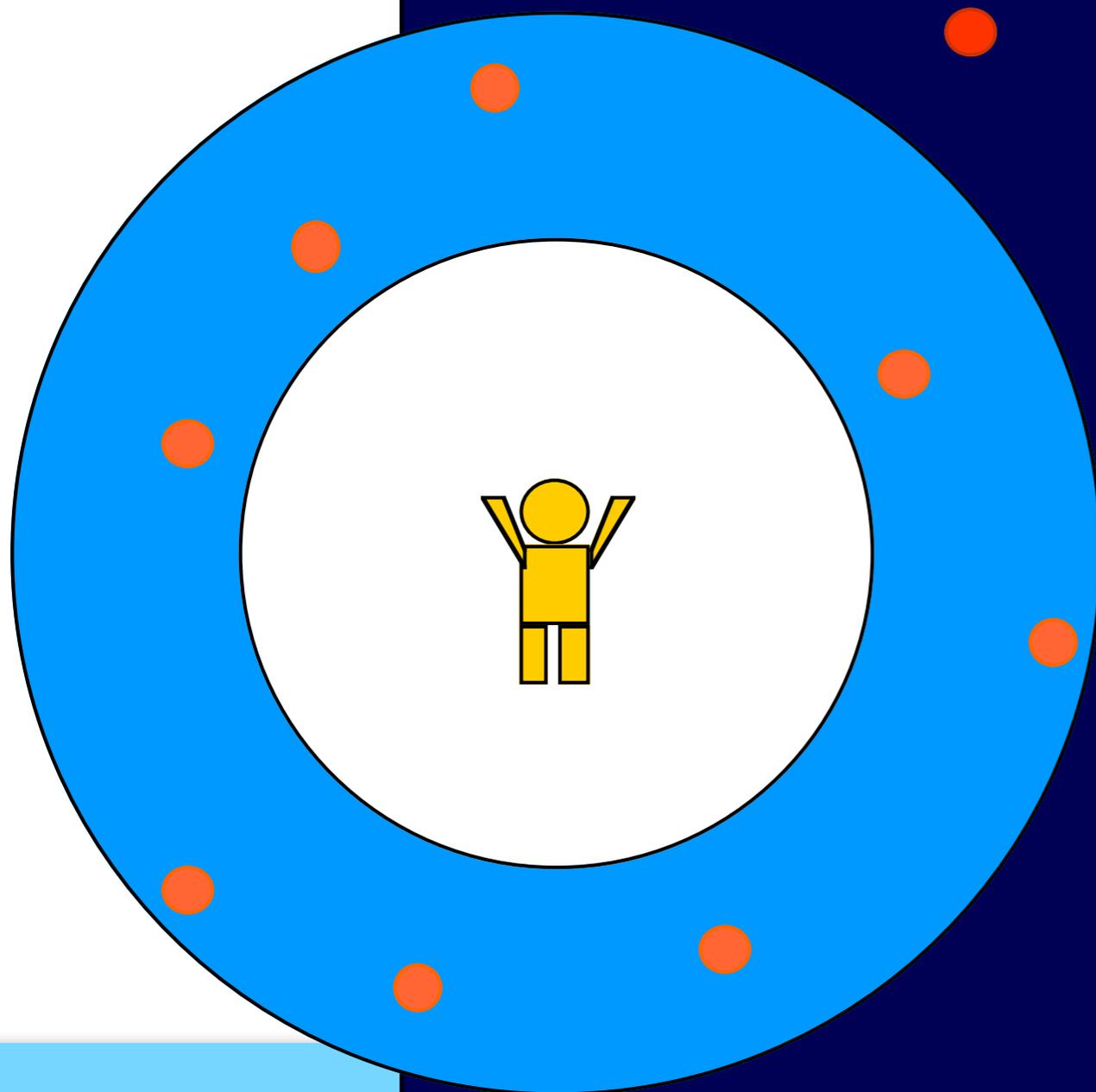
星がどこにもある



星がたくさんある

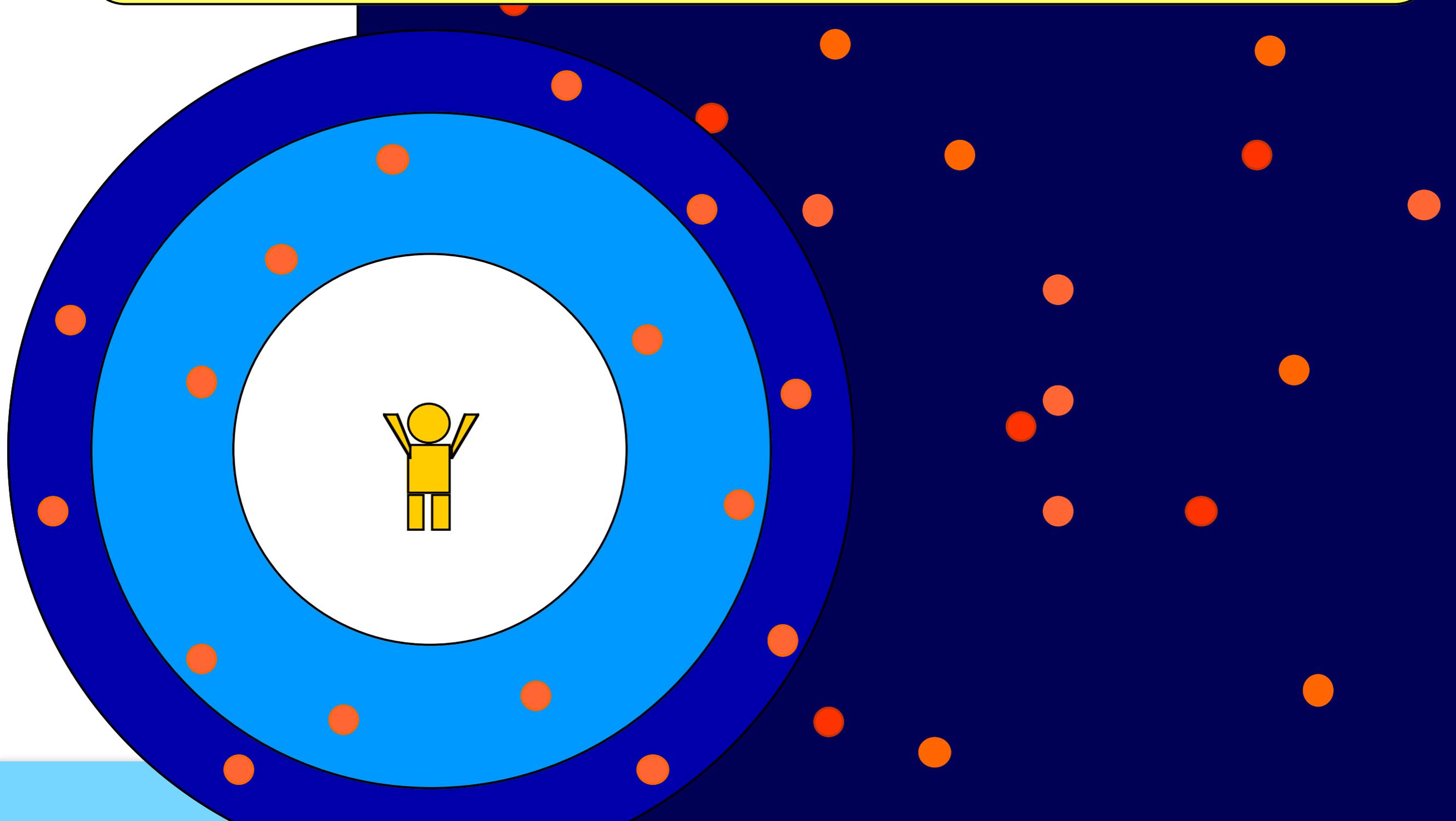
夜空をながめる

夜空をながめる：近くだけ見る



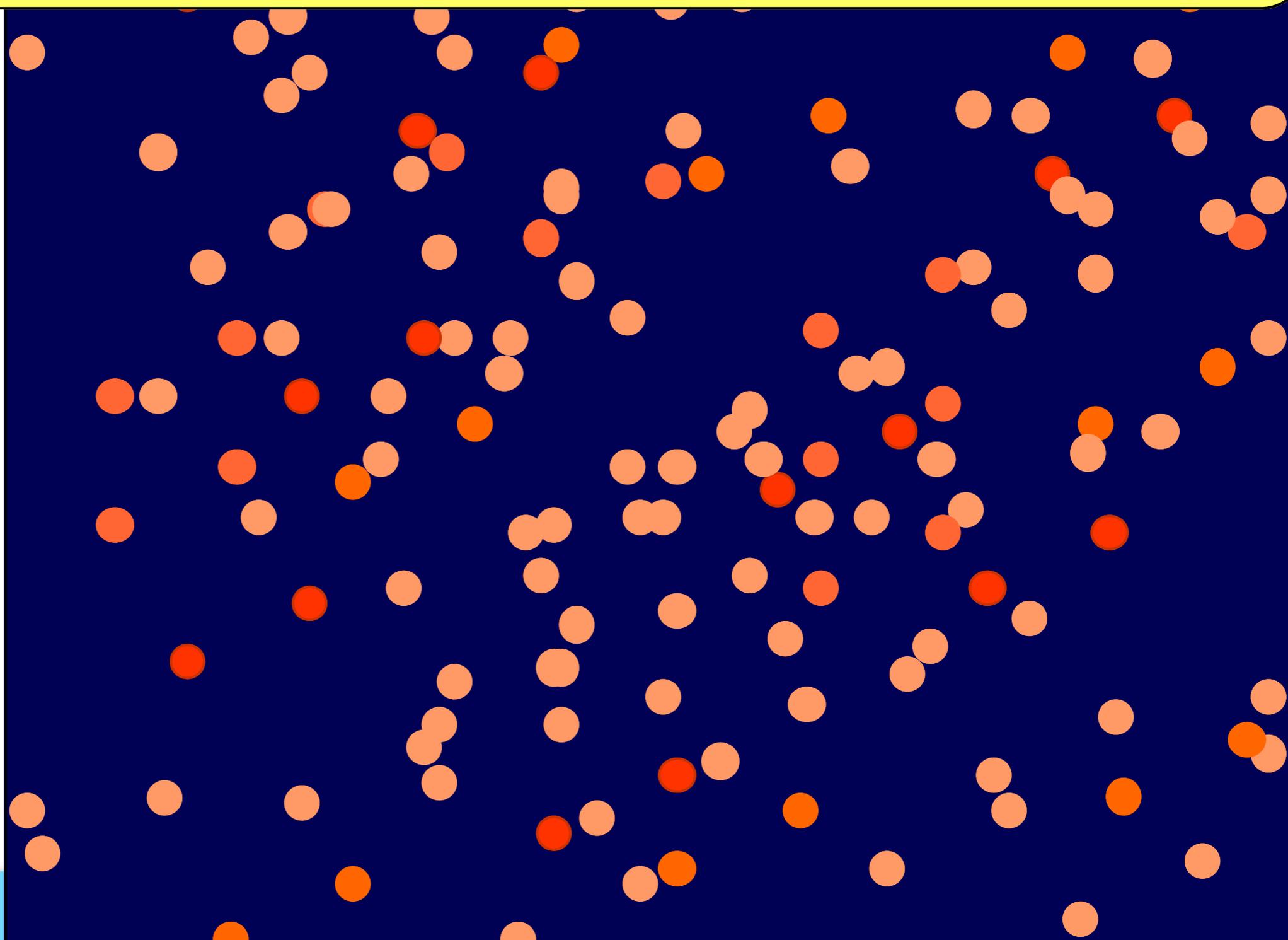
夜空をながめる

夜空をながめる：遠くも見る



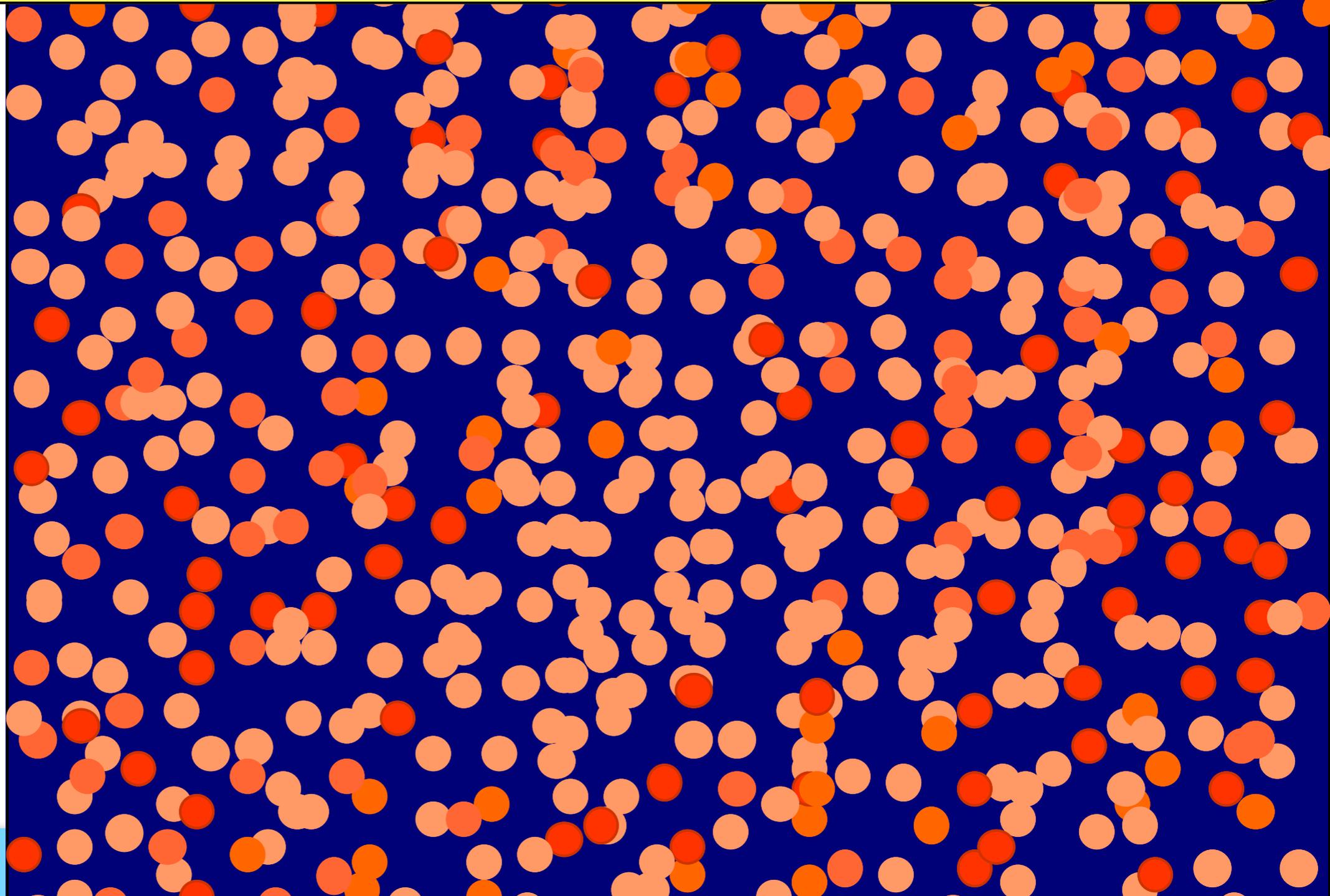
夜空をながめる

夜空をながめる：もっと遠く



夜空をながめる

夜空をながめる：もっと²遠く



夜空をながめる

夜空をながめる：もっと ∞ 遠く

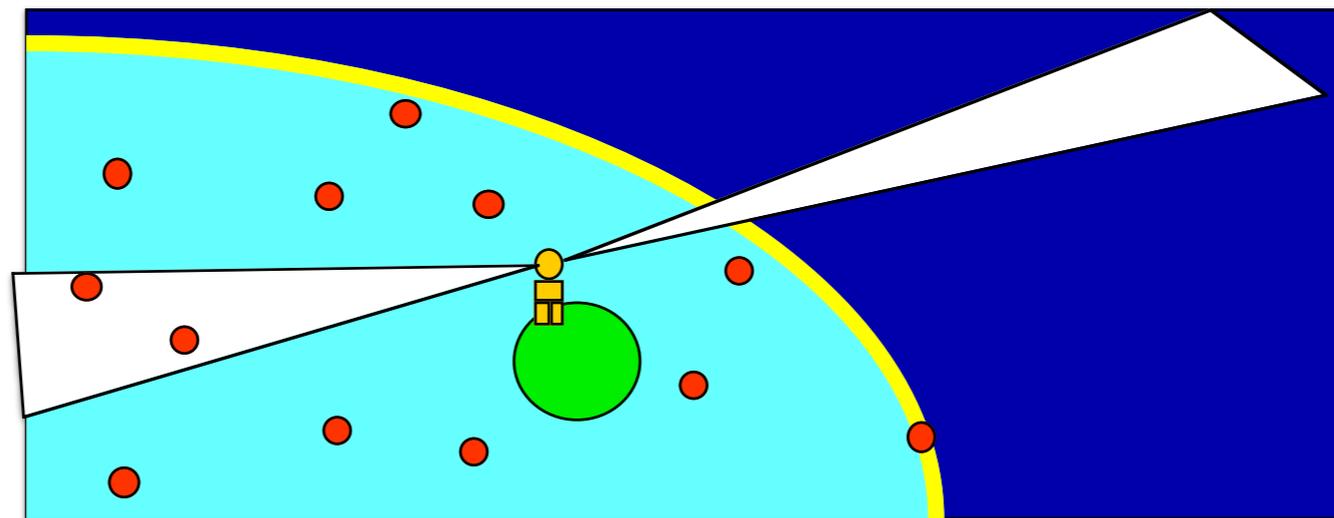
夜空は星
でうめつ
くされる

夜空は光輝いているはずだ！

オルバーズはまちがいか

- 仮定1：宇宙で星や銀河が**一様**にある
 - 今でも**観測事実**
- 仮定2：宇宙は**どこまでも**広がっている

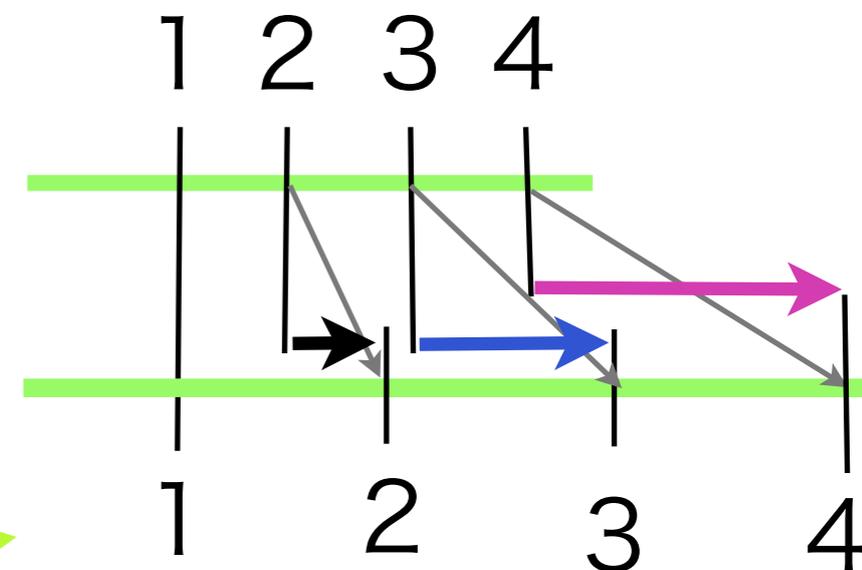
宇宙の大きさに限りがあると



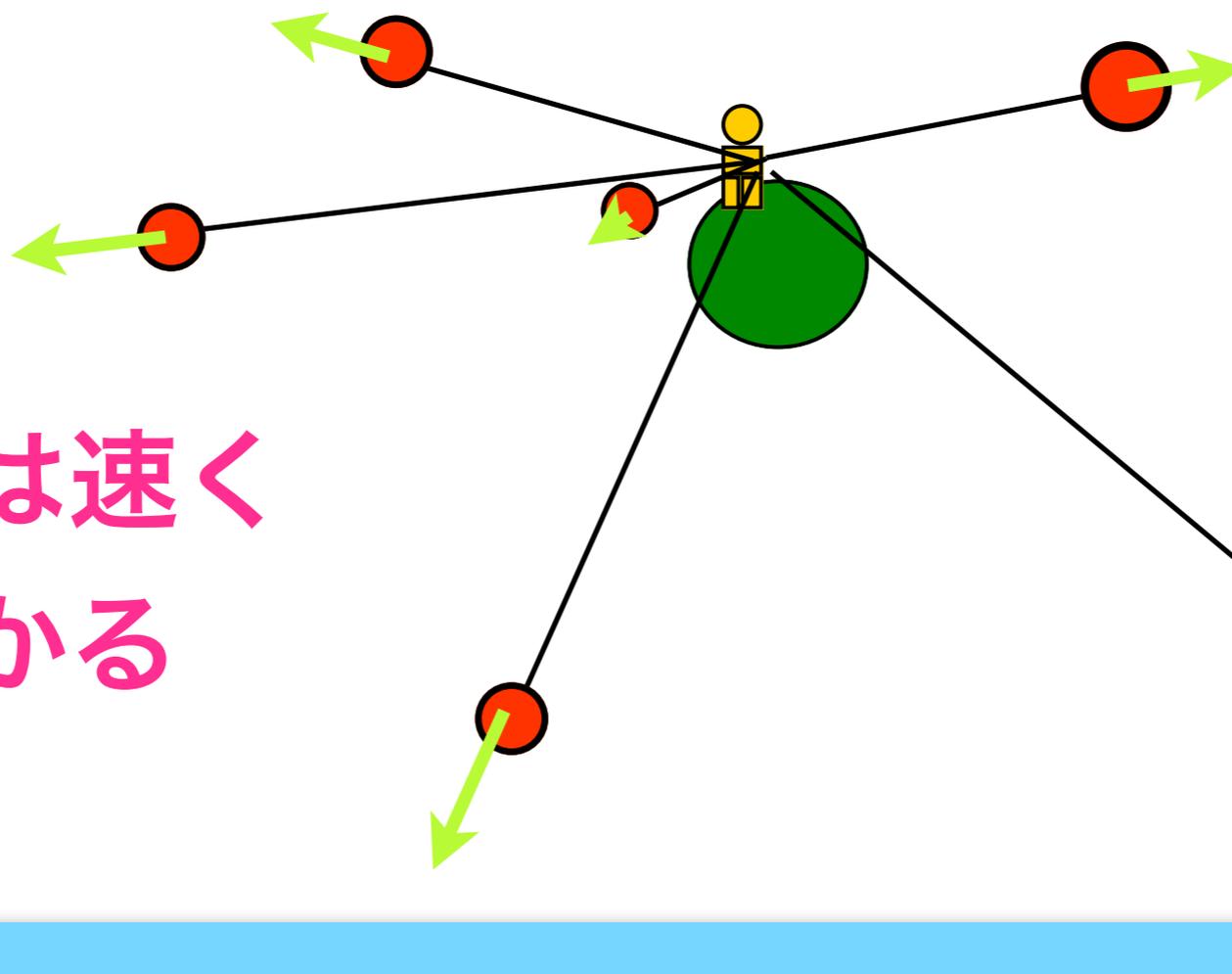
ハッブル膨張

- 宇宙は膨張している (ハッブル)
- 宇宙は永遠に定常ではない
- 遠い星ほど速く遠ざかる

ゴムひもモデル

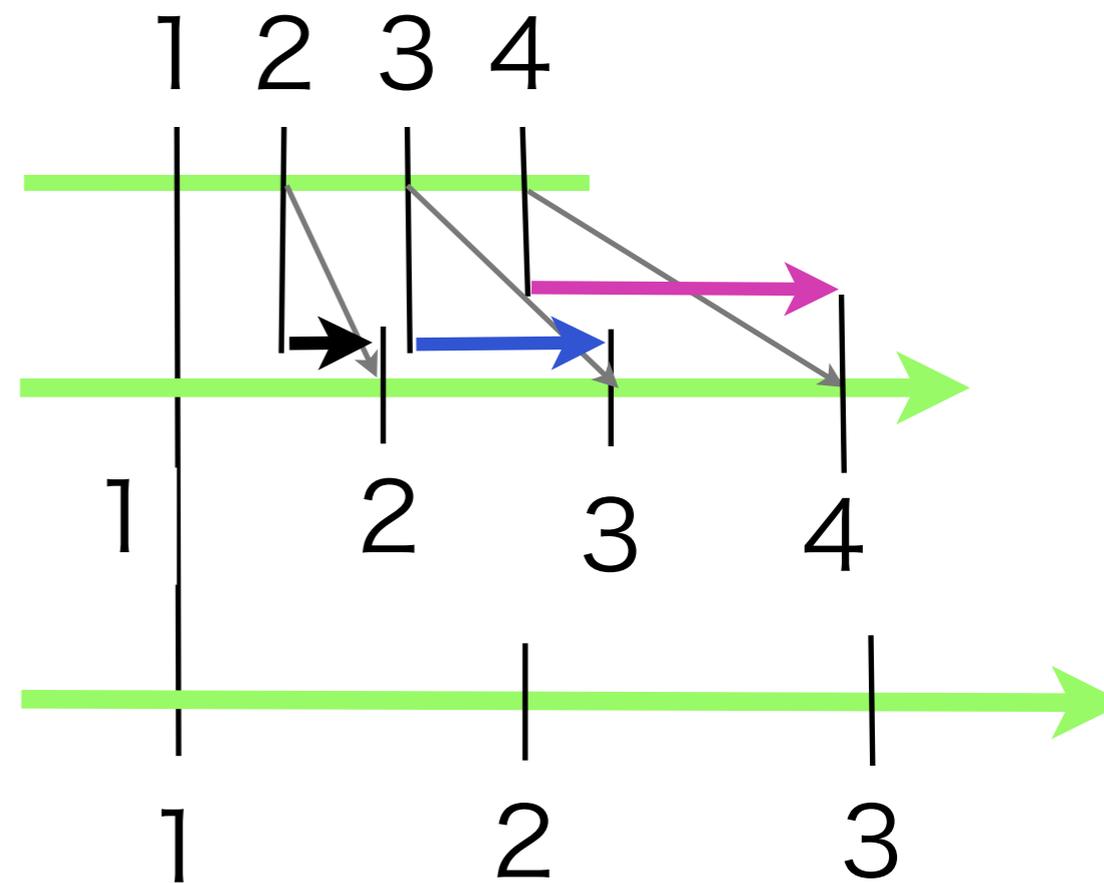


遠い星は速く
遠ざかる



オルバースを解決

- 宇宙は膨張は遠いほど速い：ハッブル
- 遠くでは**光速**を超えて見えなくなる
その先の宇宙はある
- 宇宙の地平線：137億光年
- その先の宇宙はある
- 昨日は見えていた

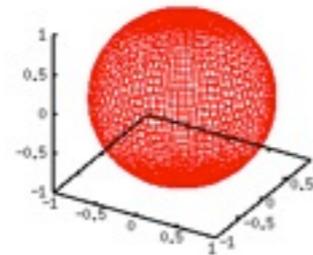
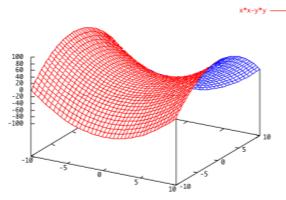
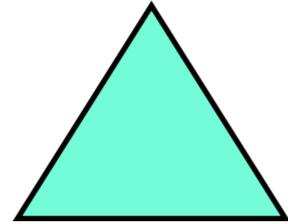


宇宙は膨張し続けるか？

- 3つの可能性

- 三角形の角度の和

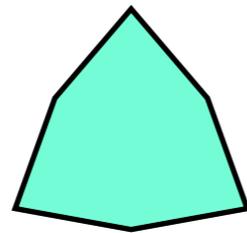
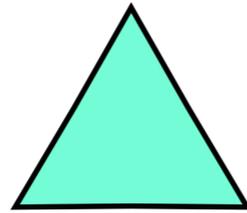
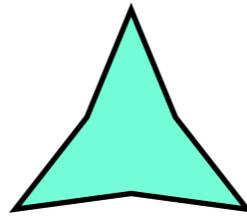
- 180度より



- 小さい

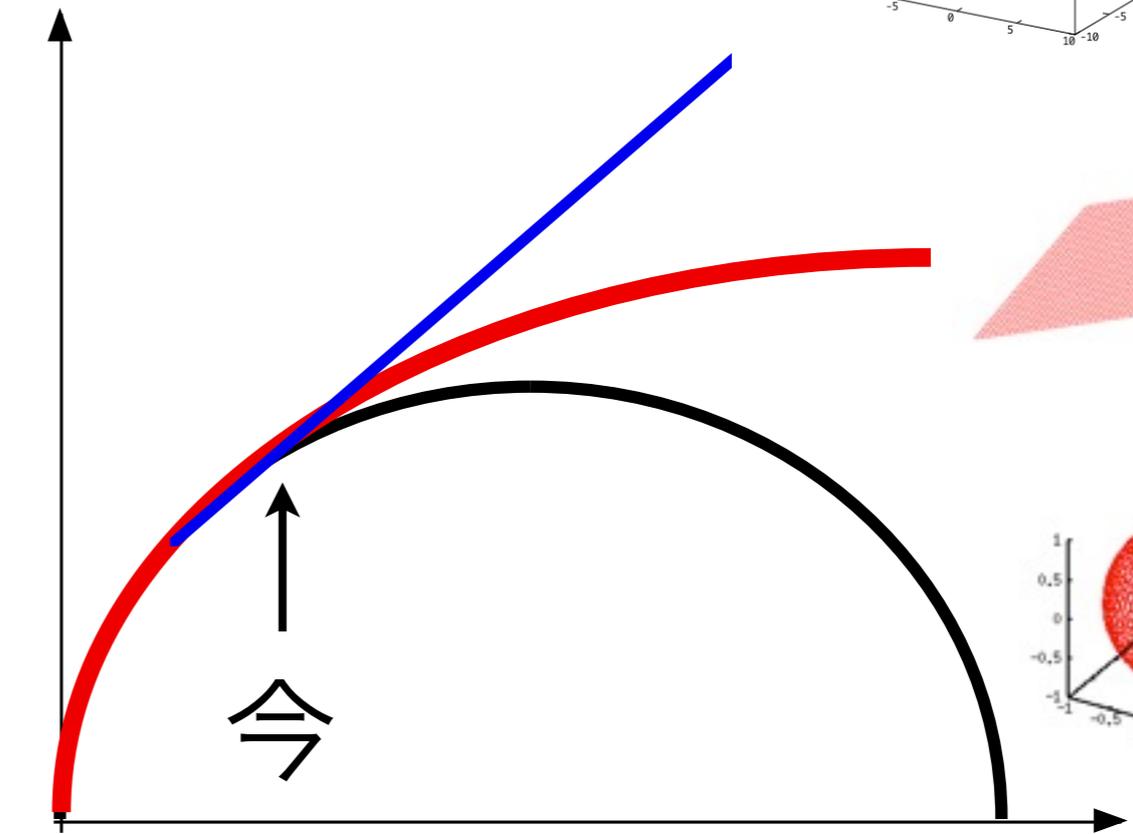
- 等しい

- 大きい



宇宙膨張

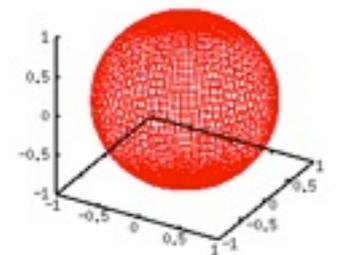
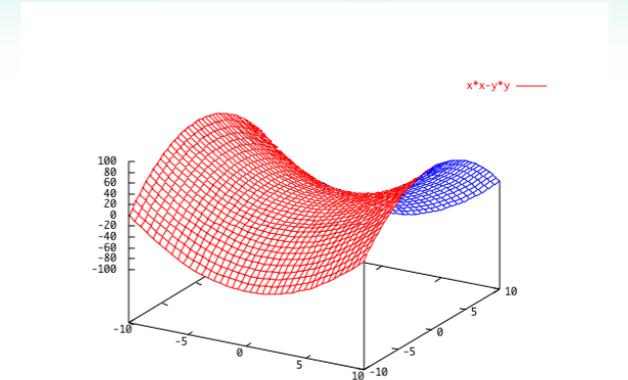
宇宙の大きさ



宇宙の時間

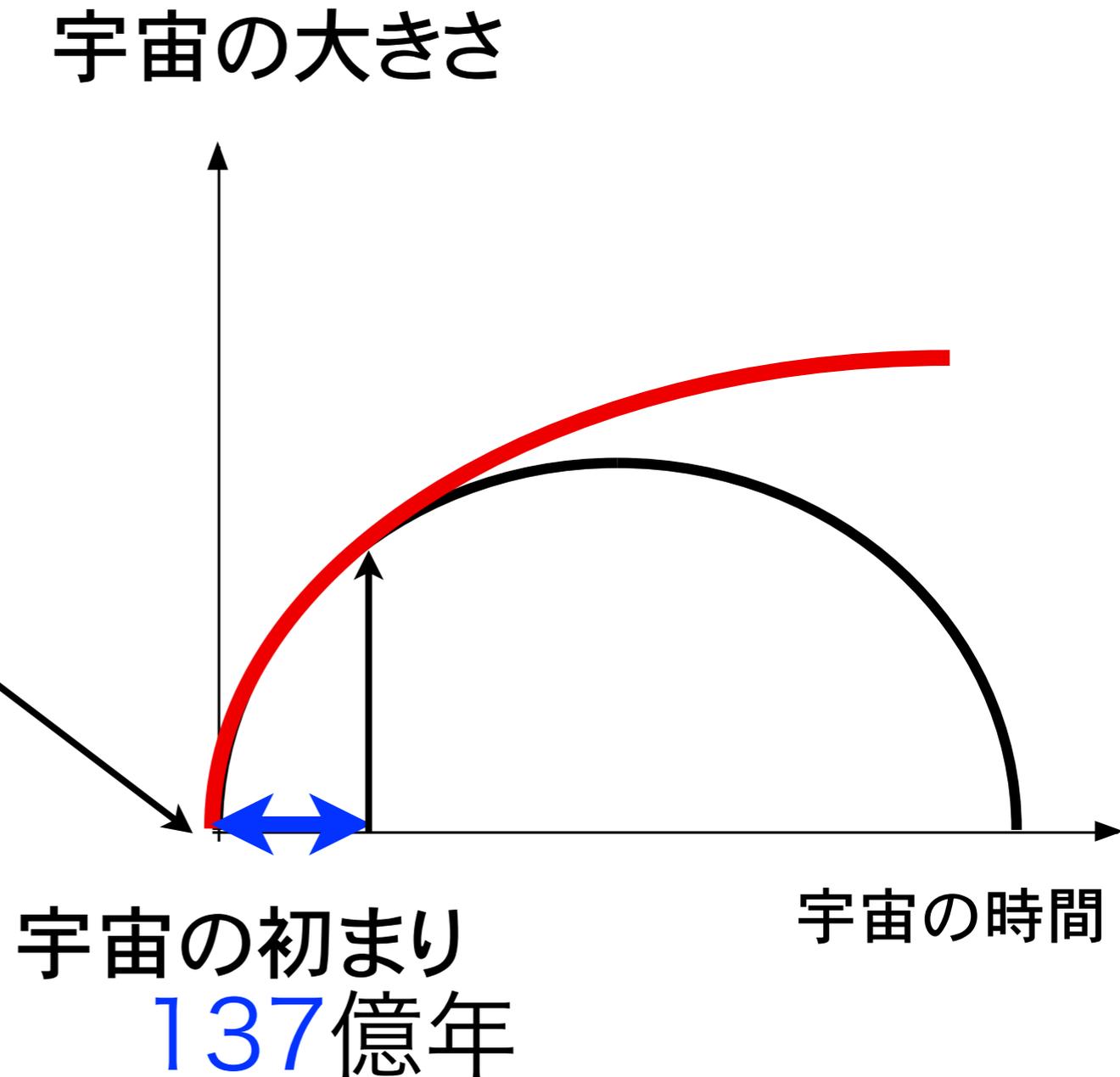
温度下がる

観測結果は永遠に膨張をつづける

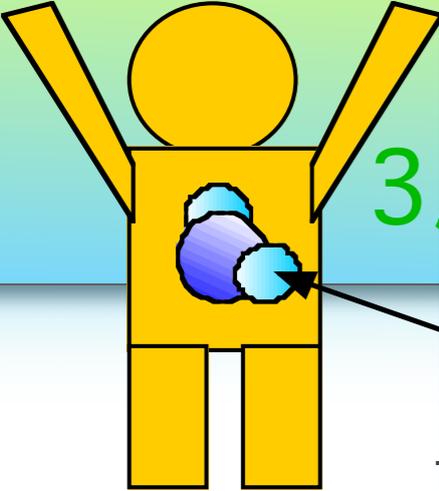


宇宙の初まり

- 宇宙膨張の時間の針を逆まわし 宇宙膨張
- 宇宙の初まり
- ビッグバン
- 137億年前
- 初まりは小さかった
- 高温だった



宇宙の歴史



3度

↑ 温度冷える

10^4 度

10^{13} 度

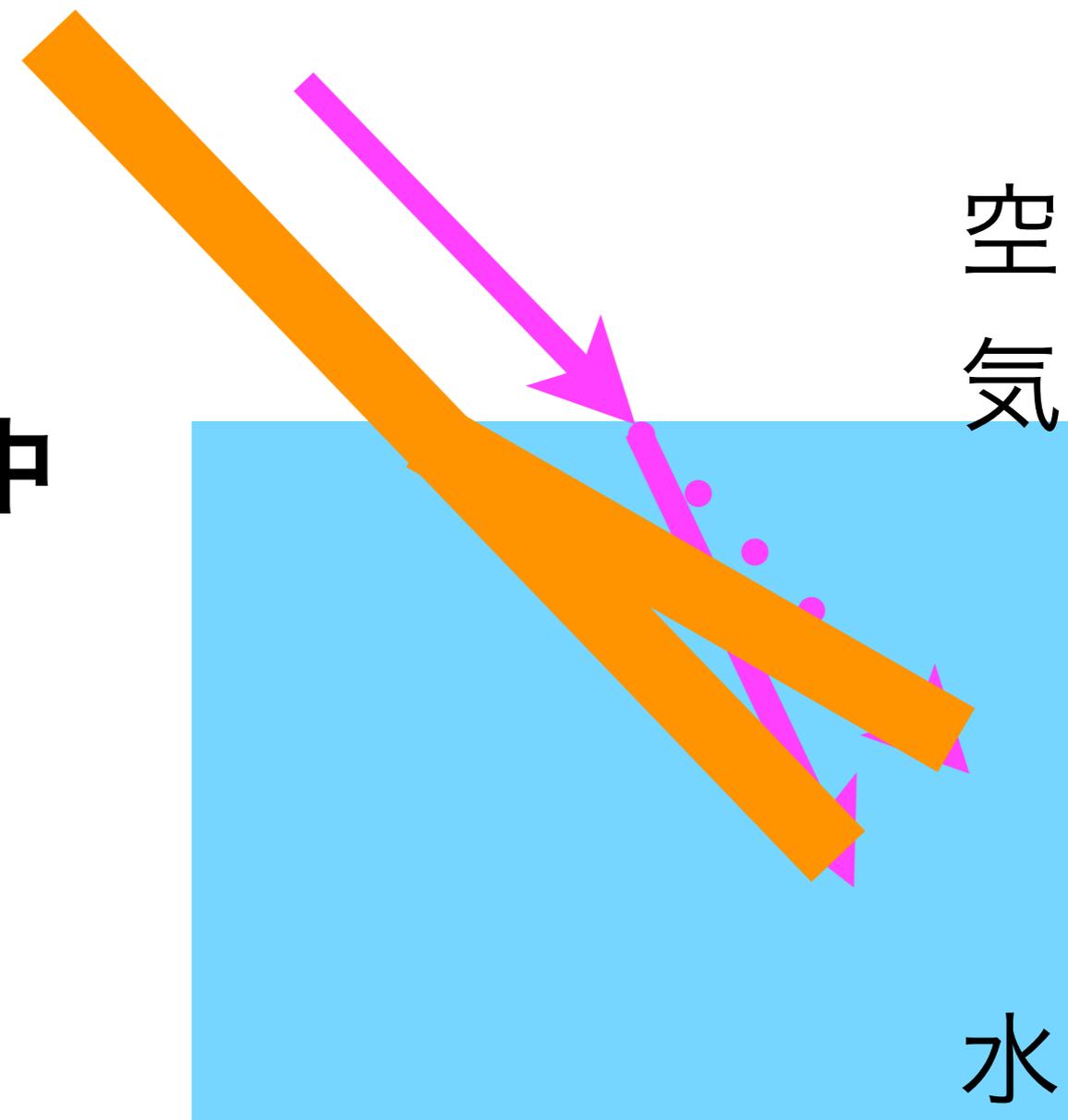
10^{29} 度



ビッグバン

光も曲がる

- 光は直進する：なにもないところでは
- 界面で曲がる：屈折
- 光の速さが異なる
- 光速=30万km/秒：真空中
- 光速=23万km/秒：水中
- 箸が曲がって見える

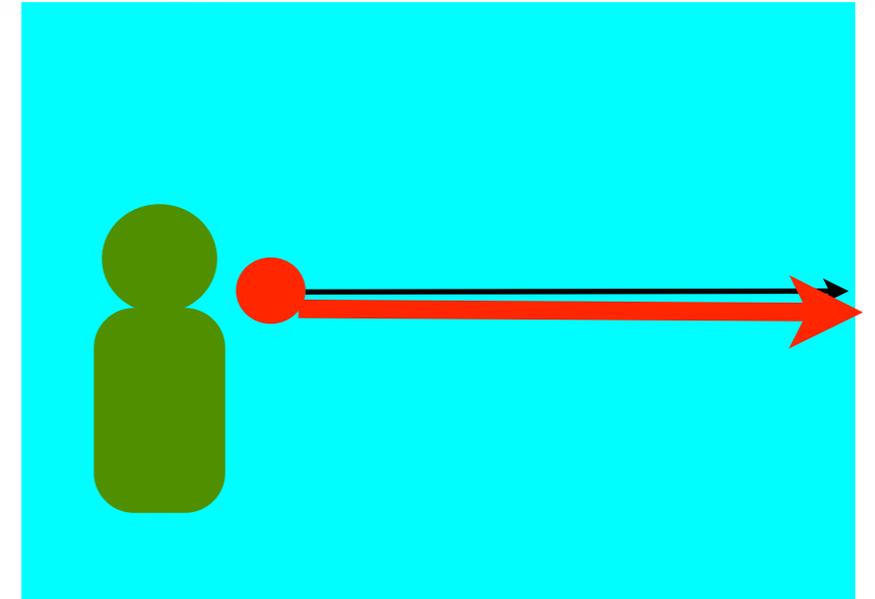


光は曲がる

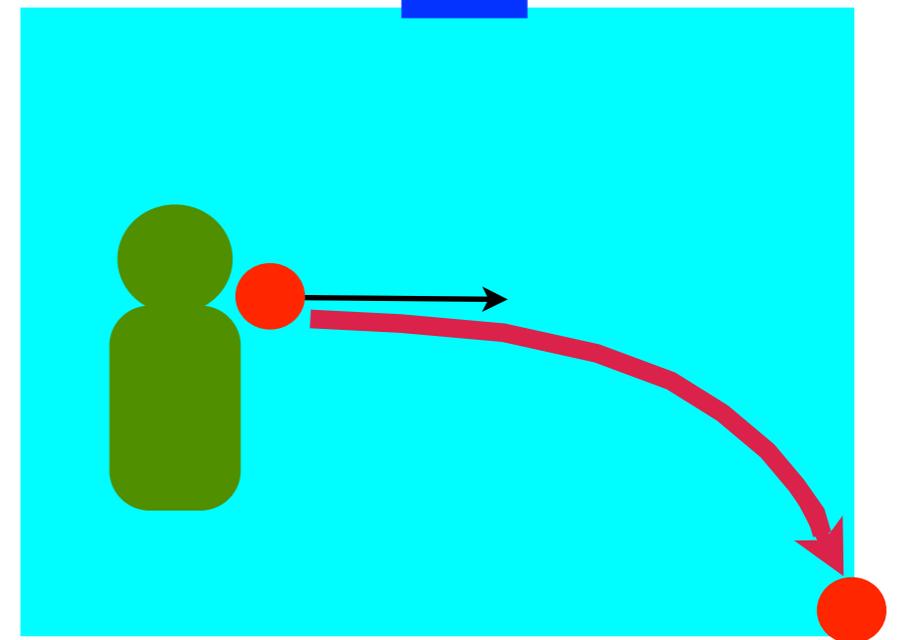
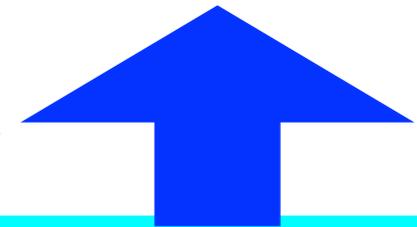
- 静止ロケット内では光は直進
(なんでも)
- 加速するロケット
- 投げたボールは放物線を描く
- あたかも重力があるのと同じ
- このボールを**光**に変えても
- 同じことが起きる

光が曲がる

静止ロケット

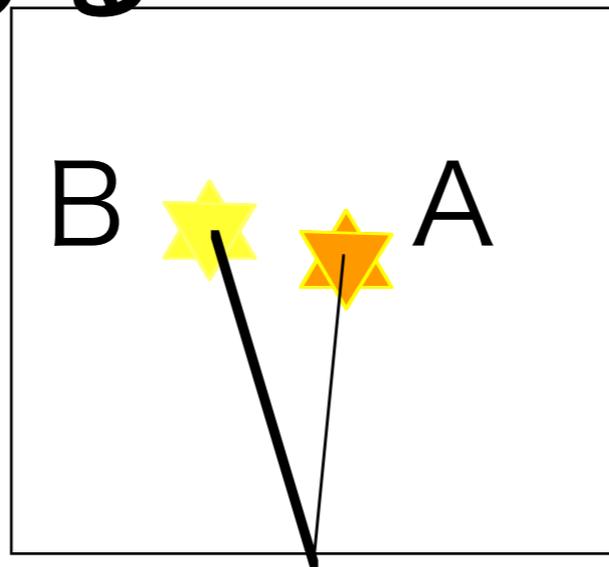
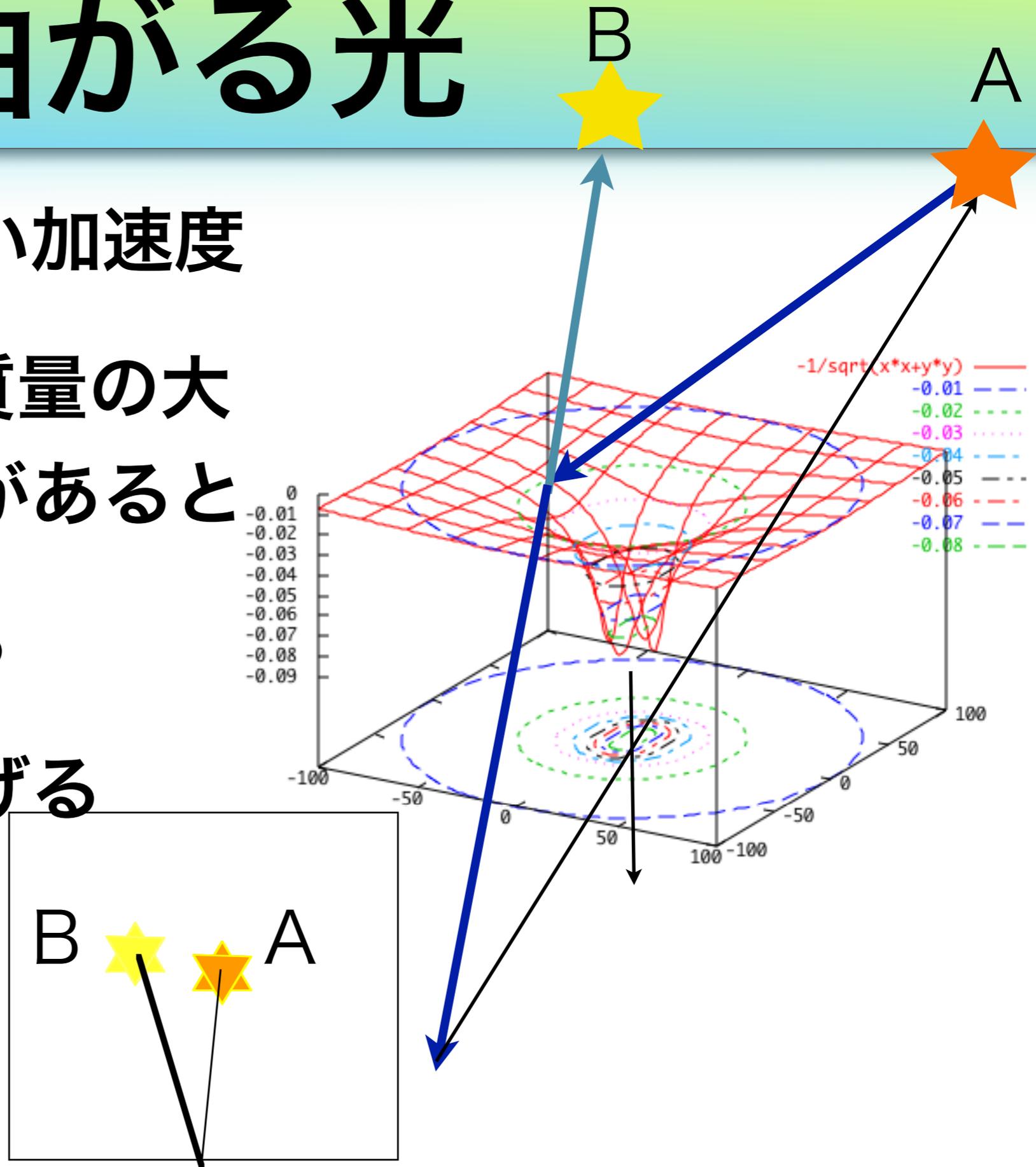


加速



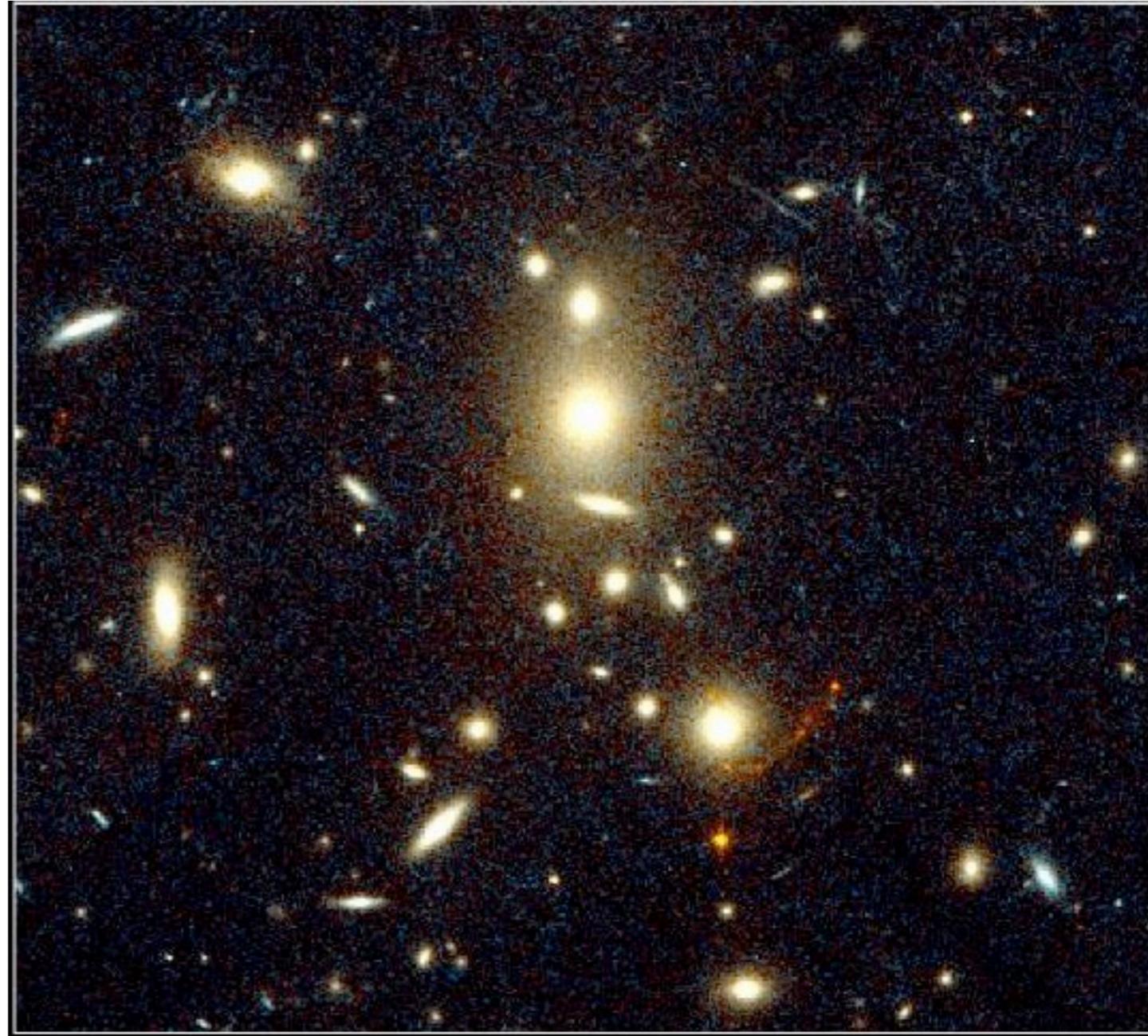
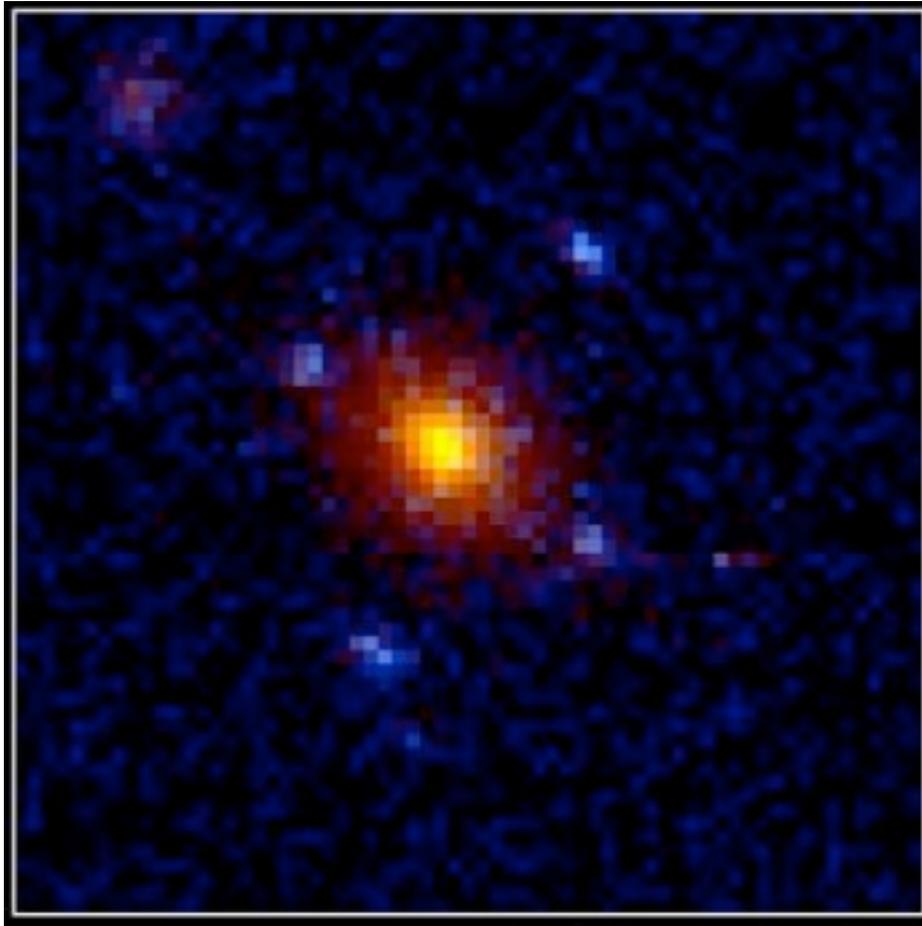
曲がる光

- 大きな質量＝強い加速度
- ある星Aの前に質量の大きな銀河（星）があると
- 別の像Bが見える
- 質量は空間を曲げる



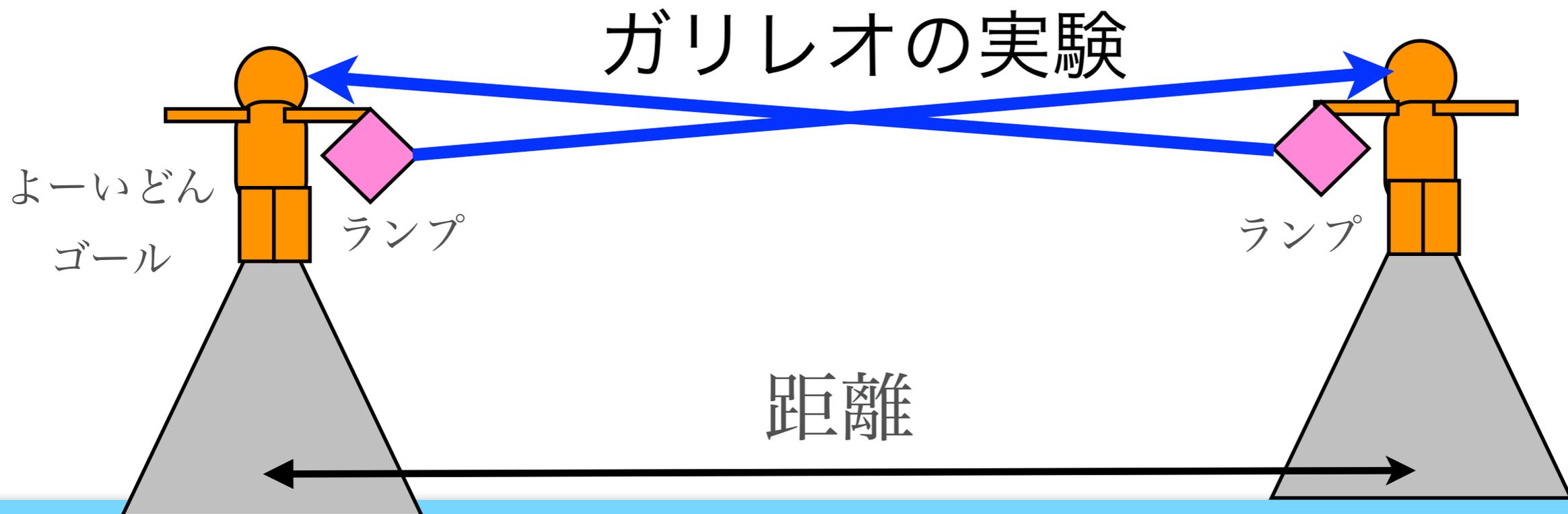
アイアンシュタインレンズ

- ハッブル望遠鏡

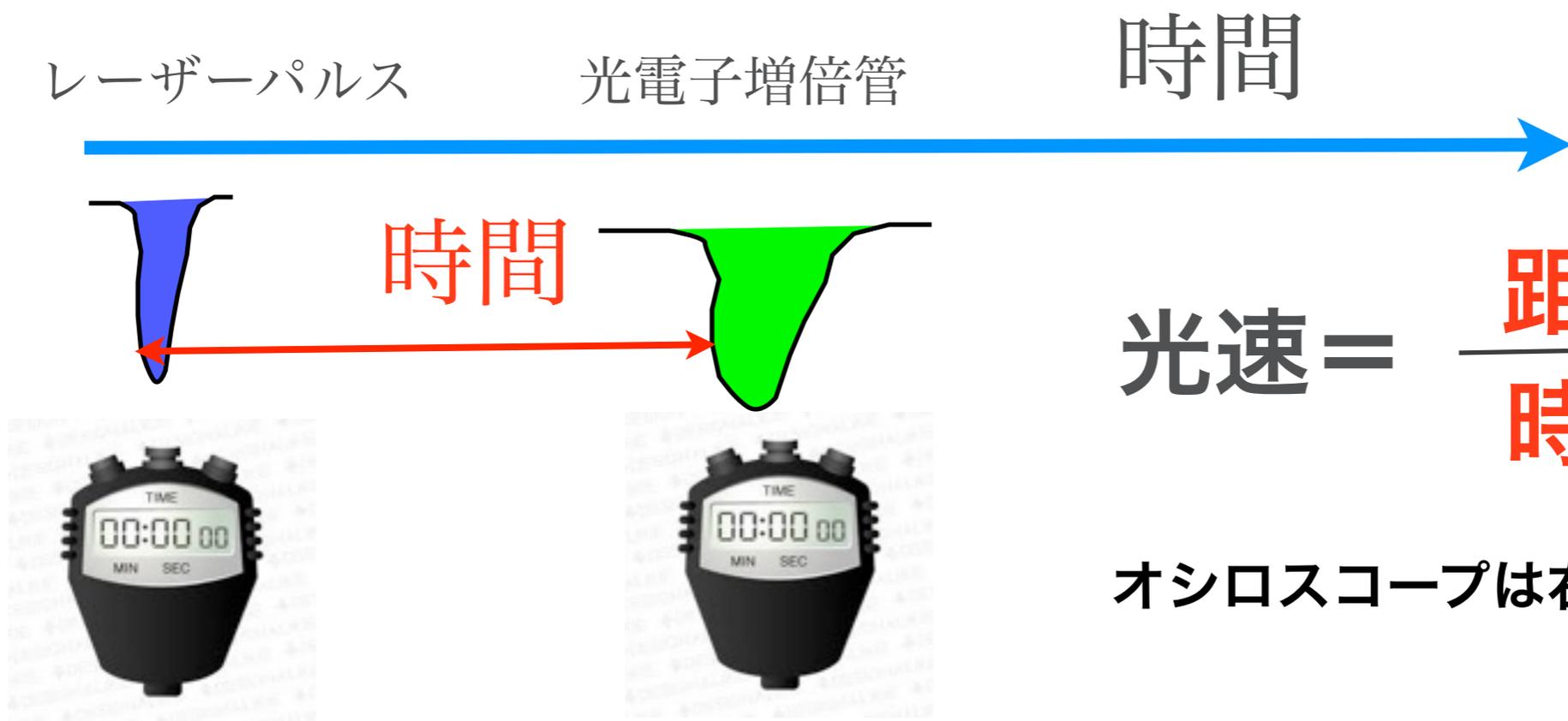
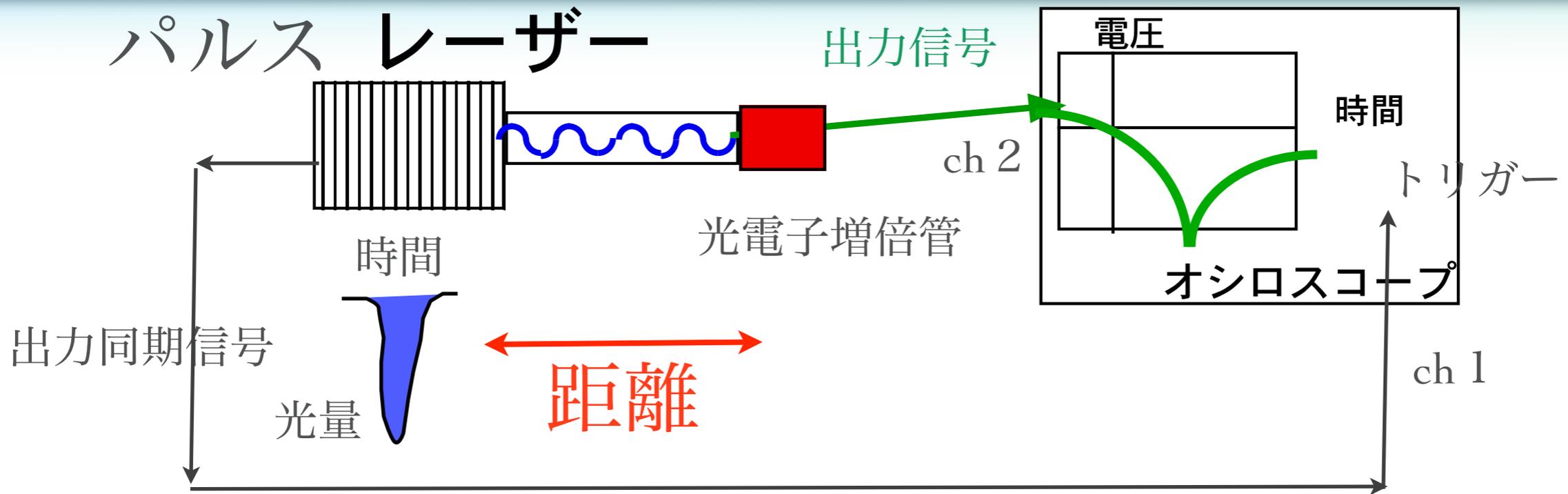


光と速さ

- 光速 300000km/秒
- 300000m/ミリ秒
- 300m/マイクロ秒
- 0.3m/ナノ秒 : 1ナノ秒で30cm



光速を測る



$$\text{光速} = \frac{\text{距離}}{\text{時間}}$$

オシロスコープは右ほど遅い

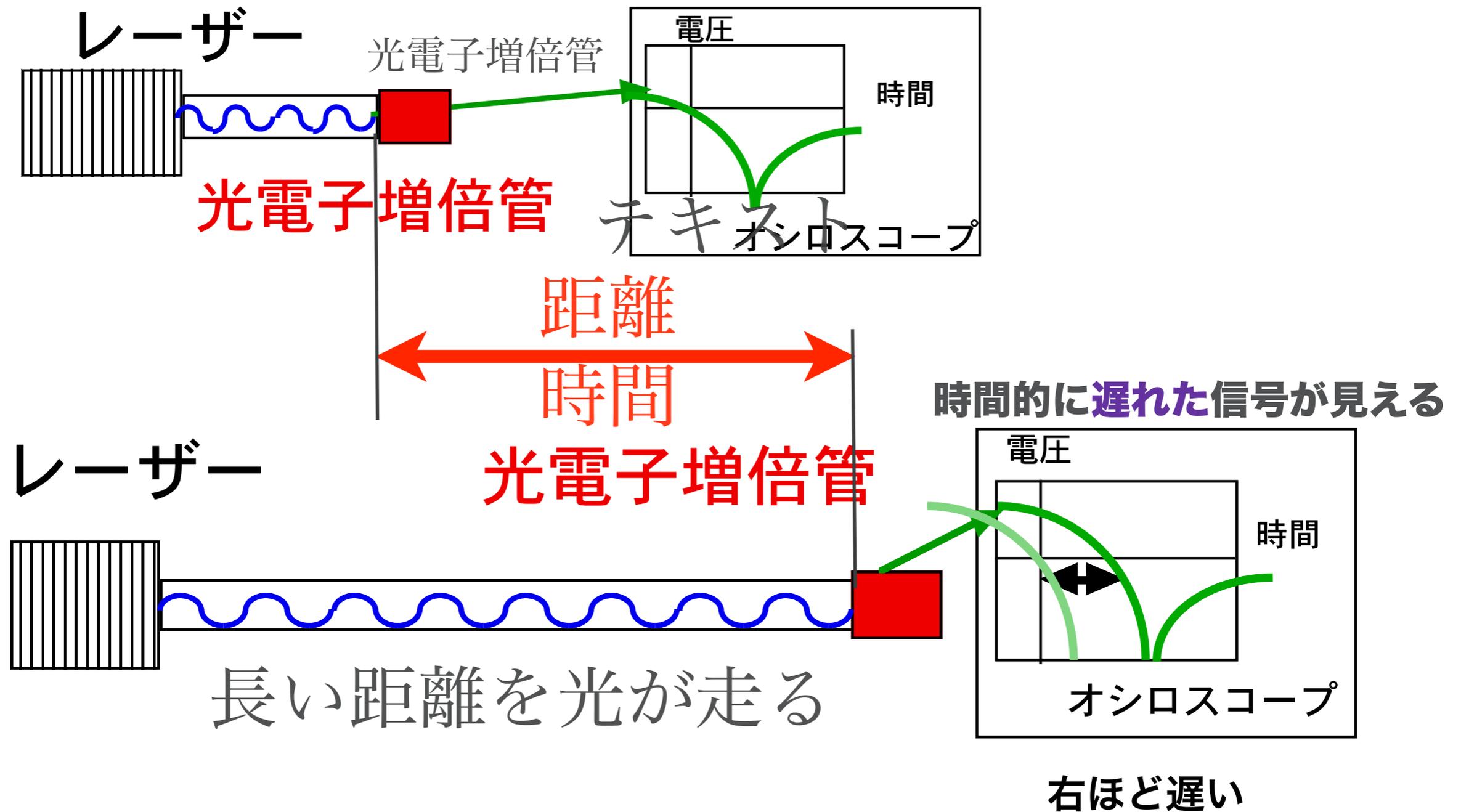
装置

- オシロスコープ
 - 横は時間で**ナノ秒**を測れる
 - 縦軸：信号の大きさ
- パルスレーザー装置
 - 短いパルス(ピコ秒) 光る
- 光電子増倍管
 - レーザーパルスを捉える



光速測定実験

$$\text{光速} = \frac{\text{距離}}{\text{時間}}$$

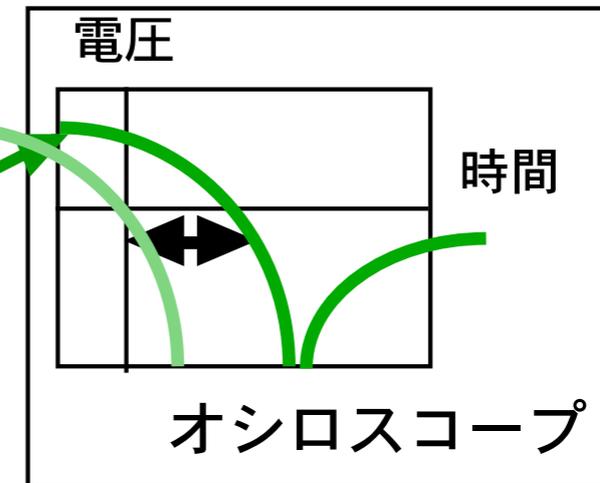
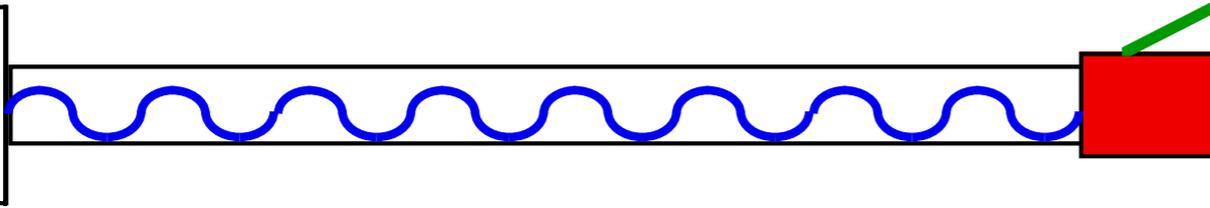
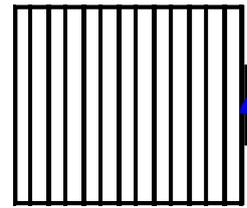


光速は遅くなる

- 空気中より物質中で遅い

レーザー

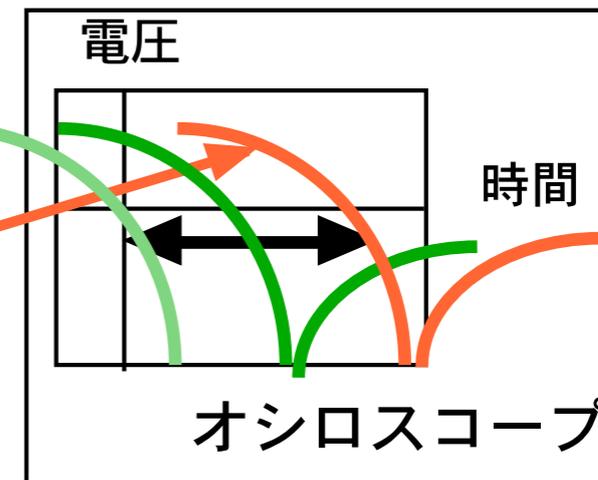
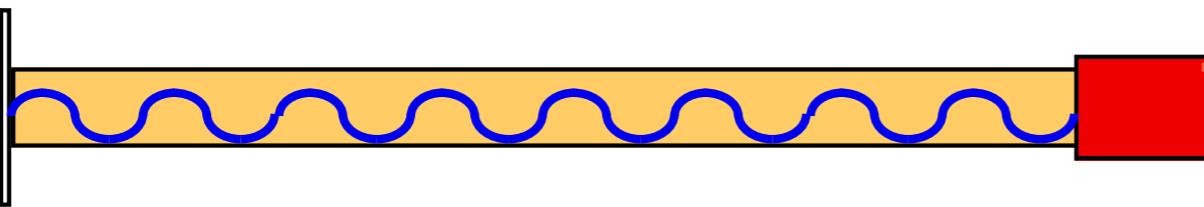
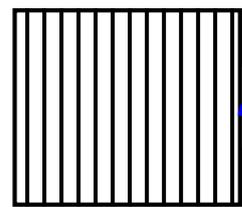
光電子増倍管



アクリル棒を入れると更に遅れる

レーザー

光電子増倍管



$$\text{屈折率} = \frac{\text{光速 (空中)}}{\text{光速 (物質中)}} > 1.0$$

右ほど遅い

光と光速

- 光は速い 30万km/秒
- 宇宙は大きい
- 果てまで光で137億年