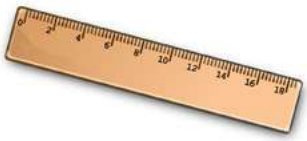
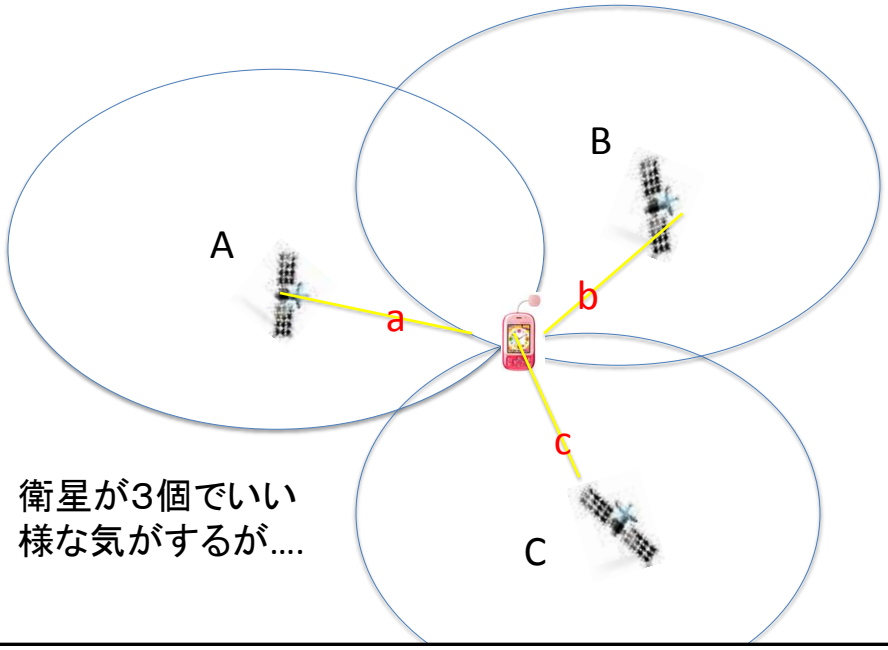
3. GPSの仕組み

時間を測って距離を知る

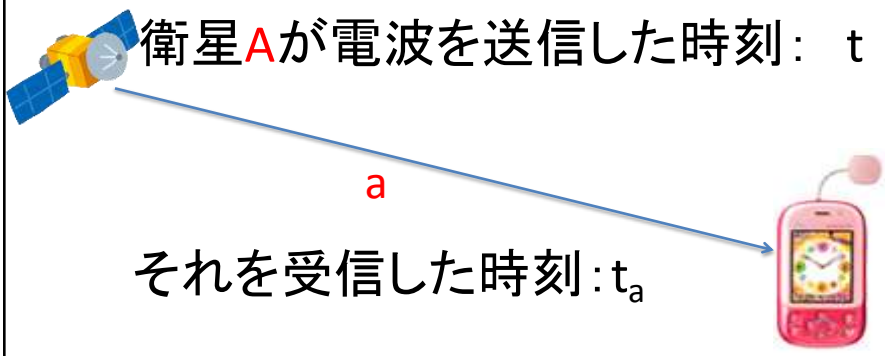




衛星が3個でいい
様な気がするが....

衛星たちからの距離から位置が決まる

- どうやって、距離を測るのか？



距離は時間で定義する

1983年に基準が見直され、
現在は1秒の299792458分の1の時間
に光が真空中を伝わる距離として定義

昔パリにあった

時計の時刻から距離を割り出す

衛星Aと受信機の間の距離

$$a = c\ (t_a - t)$$

cは光速＝299 792 458 m/s

5. カーナビには衛星が4個必要

- 受信機は、高価な原子時計を搭載できないので、通常の水晶時計を用いるため時間精度がよくない。
- もう1台のGPS衛星からの時間をはかり、情報を増やして、4台で位置を決定する。
- その時、空に4台以上のGPS衛星がないとGPSは使いものにならない。現在世界中で31台が運行しているので、大丈夫。

ピタゴラスの定理

$$c(t-t_1) = \sqrt{(x-x_1)^2+(y-y_1)^2+(z-z_1)^2}$$
$$c(t-t_2) = \sqrt{(x-x_2)^2+(y-y_2)^2+(z-z_2)^2}$$
$$c(t-t_3) = \sqrt{(x-x_3)^2+(y-y_3)^2+(z-z_3)^2}$$
$$c(t-t_4) = \sqrt{(x-x_4)^2+(y-y_4)^2+(z-z_4)^2}$$

4つの方程式

答えは出る！

未知数 4つ (t, x, y, z)

実は衛星
4個必要

受信機の時計の精度が不十分

> 製品情報 > GPS受信機 > CCA-700 チップ

文字サイズ 小 中 大

GPS受信機トップ

GPS受信機
- CCA-705 モジュール
- CCA-700 モジュール
- CCA-700 チップ
- CCA-790 アンテナ一体型
- CCA-600
- CCA-552
- オプション
- Q&A

GPS応用製品

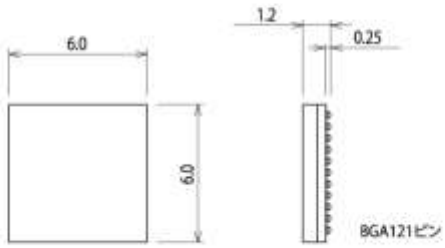
GPSチップ CCA-700

電源オンで瞬時に測位。トップクラスの超高感度・高精度を実現

特 長 | 外形図

外形図

単位：mm

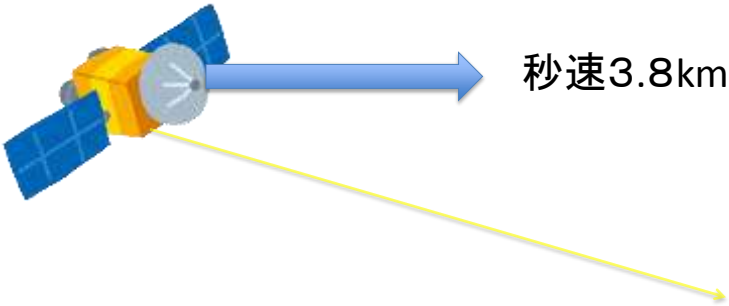


これが計算してくれます。

日本無線HPより

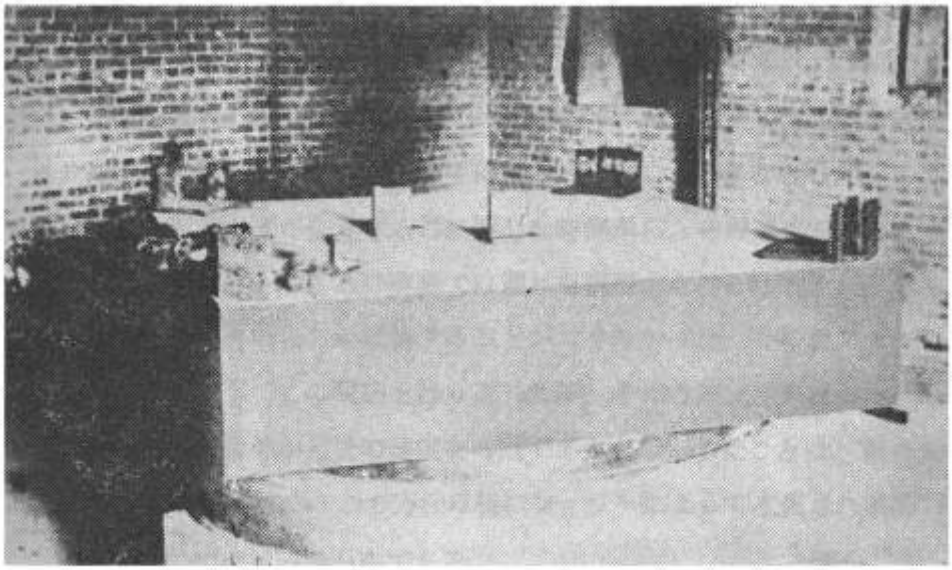
光速cは定数なのだろうか？

- 衛星は動いている。動いているものから発射された電波も秒速30万キロメートルで進むのだろうか？



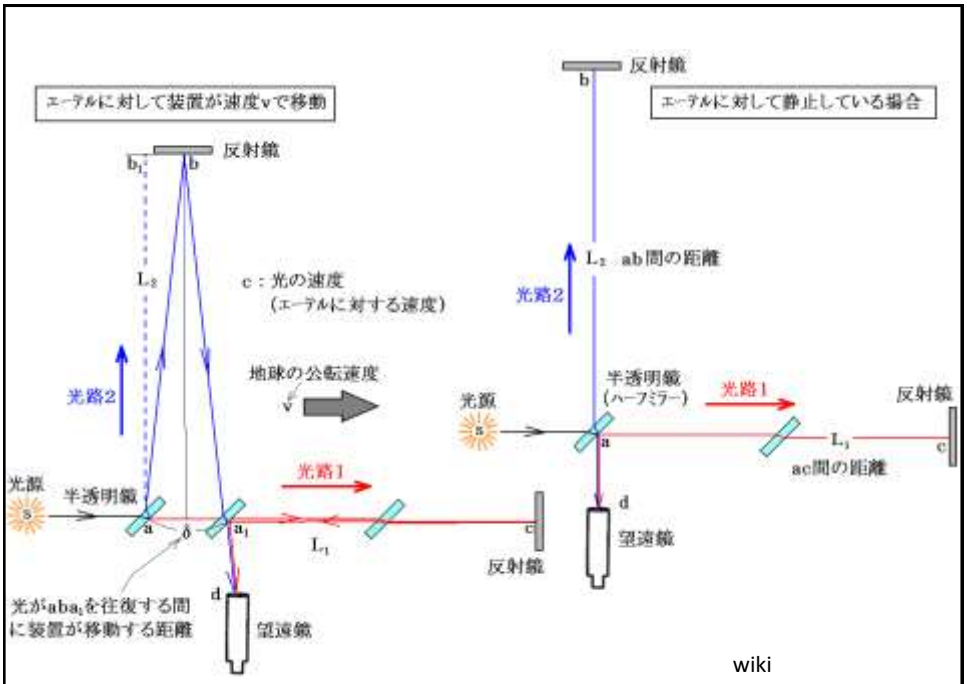
アトム博士の
相対性理論
手塚治虫

WIKI



1887年のクリーブランドでの実験で用いられたマイケルソン・モーリーの干渉計

マイケルソン・モーリーの干渉実験



wiki

地球の速度を検知できなかった

- このことから、光の速度は送信側、受信側の速度によらずに一定であることが結論された

アインシュタインは1905年に特殊相対性理論を発表し、そこでは光速度不変の原理が仮定されている。

4. GPS の精度と時計の精度

- カーナビなど日常生活への応用のためには、位置情報の精度はどの程度必要だろうか？

10時間車を走らせて、距離の誤差が10m
くらいなら、がまんできるでしょう。

秒に直して、

3.6×10^4 秒

その間に電波は

$3.6 \times 10^4 \times 3 \times 10^8$m＝$10 \times 10^{12}$m

進む。

10mをこれで割って，精度は

１秒あたり

10^{-12}

（10万年に1秒のくらい）

GPS衛星が搭載する時計の精度

- 少なくとも12桁（10^{-12}）必要

水晶時計と原子時計の精度の比較

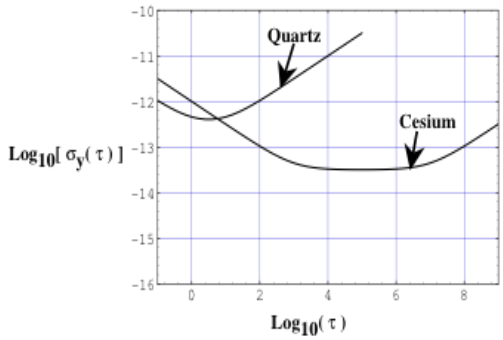


Figure 1: *Typical Allan deviations of Cesium clocks and quartz oscillators, plotted as a function of averaging time τ.*

By Neil Ashby

to this.

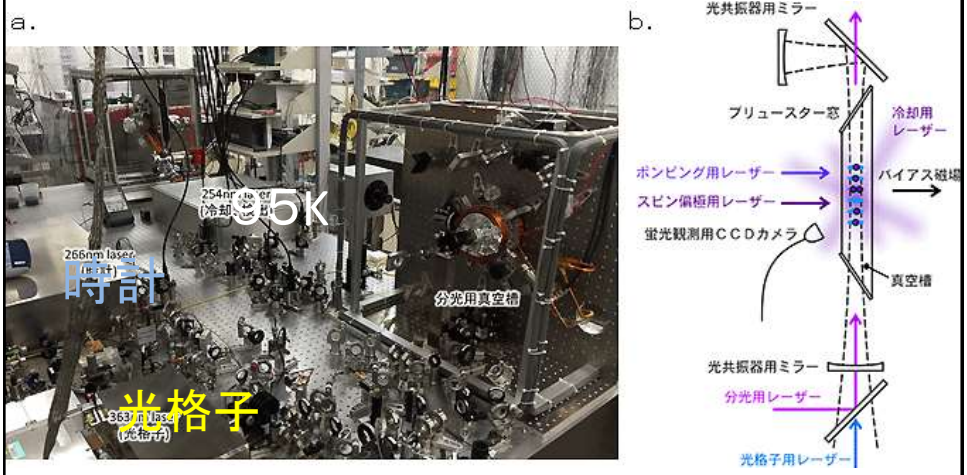
The purpose [illegible] Although clock velocities are small and gravitational fields are weak near the earth, they give rise to significant relativistic effects. These effects include first- and second-order Doppler frequency shifts of clocks due to their relative motion, gravitational frequency shifts, and the Sagnac effect

100秒くらいたつとクォルツの精度が劣化する

標準原子時計（セシウム原子）

- 精度は15桁（3千万年に1秒のくるい）

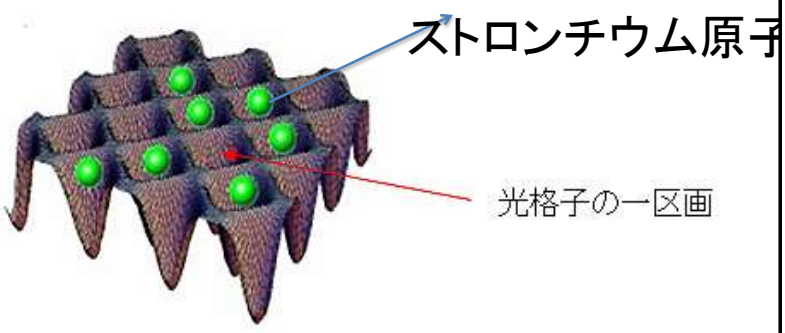
時計の精度の世界記録　18桁



香取秀俊さん（理研／東大）

138億年（宇宙の年齢）に1秒以下のくるい

光格子

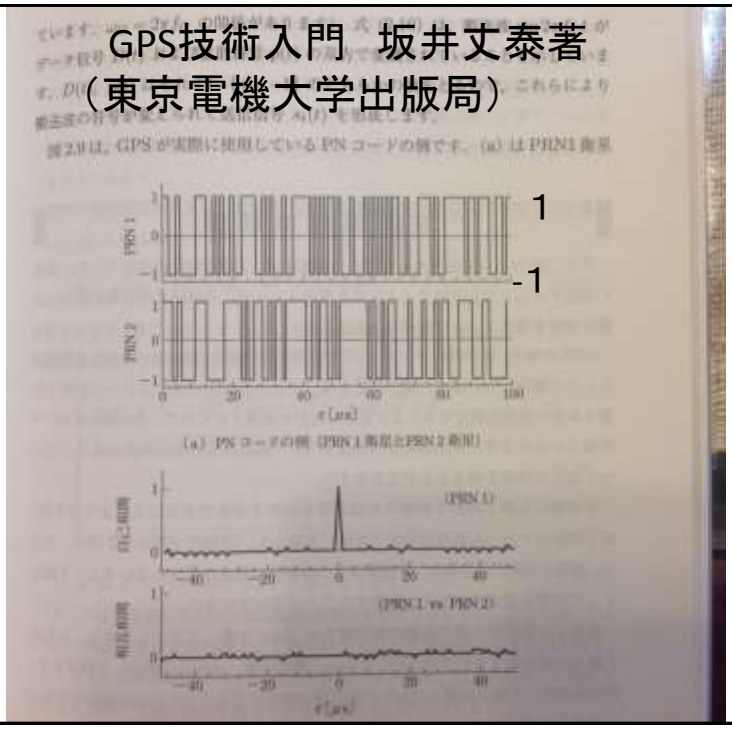


光格子は雑音の源になる原子の振動を押さえている

異なるGPS衛星の識別はどうやるの？

IMHzくらいの拡散符号で識別します。
衛星ごとに違う拡散符号を元信号に
掛けてます。

GPS技術入門　坂井丈泰著
（東京電機大学出版局）



GPS時計　セイコー　アストロン