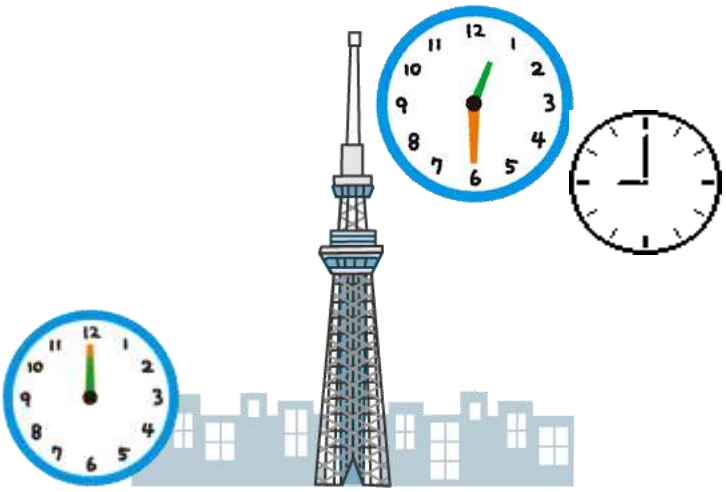
GPSと相対性理論

GPSが高い精度（１２桁）を要求される
のために相対性理論を取り入れる必要
が出てくる。９、１０桁目にあらわれる

運動している時計は遅れる

特殊相対性理論（1905）

高いところにある時計は進む



一般相対性理論（1915）

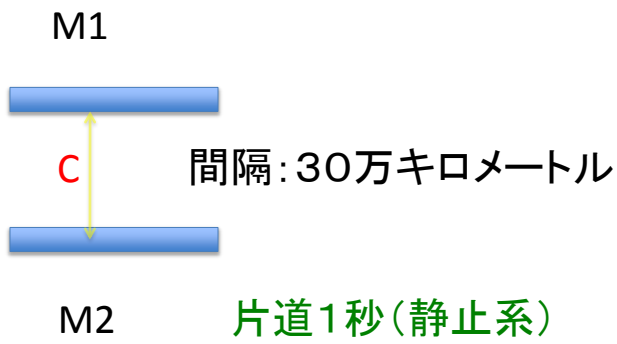
アルバート・アインシュタイン

- 特殊相対性理論（1905）
- 一般相対性理論（1915）

今年は100周年です

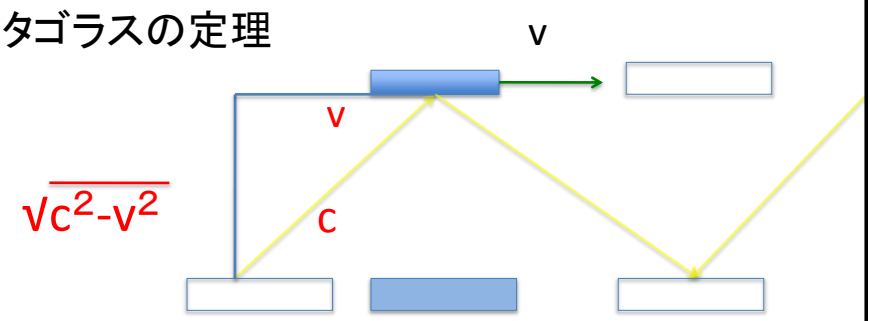
7. 運動している時計はなぜ遅れるか

- ２枚の鏡の間で光を往復させ、時計にしよう



光時計を静止系に対して速度vで走らせる

ピタゴラスの定理



例えば

- 光速の半分で運動する場合は＝

v＝0.5cとして計算すれば

$1/\sqrt{1-v^2/c^2}$＝1.157　秒に伸びる

v=3km/s の場合

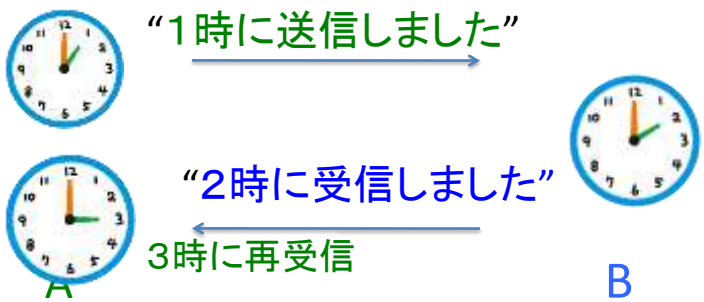
5×10^{-11} 秒だけ伸びる

vが光速cに近づくと時間は限りなく伸びる

静止しているミュー粒子の寿命は10^{-6} 秒であるが光速近くで飛来すれば寿命が延びて地表に到達することができる

27歳のアインシュタインが考えた事

- 異なる場所にある時計の合わせ方



Aは自分の時計がBの時計と合っていると知る

これを一定速度で走る系で見る

- 「2つの時計が合っている」という物理的事実は走っている系からみても変わらない
  （相対性原理）
- 光速度は走っている系でも定数Cである。
  （光速不変の原理）

を仮定して、特殊相対性理論を作った。

詳しくはアインシュタインの原論文

内山龍雄訳
解説

すこし、話しがむつかしいかな？

8.自由落下＝無重力

- Free fall
- https://www.youtube.com/watch?v=LgKzj4V3zmU

一般相対性理論の基本的出発点

Monkey shooting:

- http://www.physicsclassroom.com/mmedia/vectors/mzf.cfmZero G flight
- https://www.youtube.com/watch?v=29r_6g5NpRA
- MIT ideo
- http://video.mit.edu/watch/monkey-and-a-gun-3056/
-

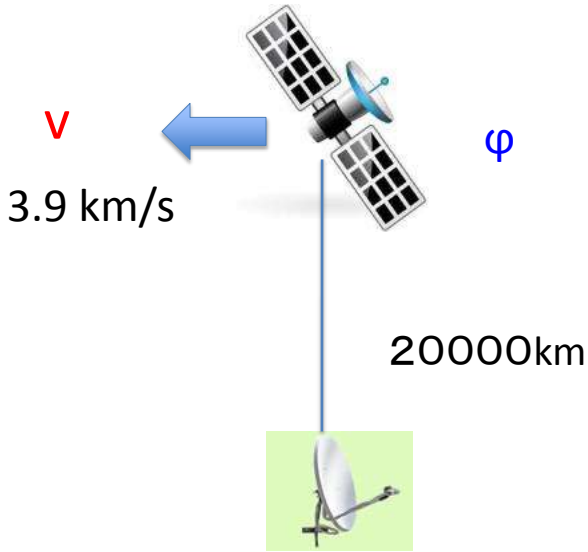
$u^2／2＝gh＝\varphi$(位置エネルギー)

$1/\sqrt{1-u^2/c^2} \approx 1＋u^2／2c^2$
$＝1+\varphi/c^2$

だけ時間が延びる

すこし、話しがむつかしいかな？

GPSの問題にもどると



高度20,200km、周期12時間

GPSの相対論補正 4.5×10^{-10}

$$1+\phi/c^2-v^2/2c^2$$

一般相対論　　特殊相対論

5.3　　-0.8　　$(\times10^{-10})$

相対論補正　4.5×10^{-10}

はGPSで要求される精度10^{-12}
よりもはるかに大きいので、この補正は必要。
（補正をしないと1時間で5kmほどズレる）

10. GPS補正の実際

- NASAのオペレーションセンターから衛星に信号を送り　4.5×10^{-10}　だけ時計を遅らせる。

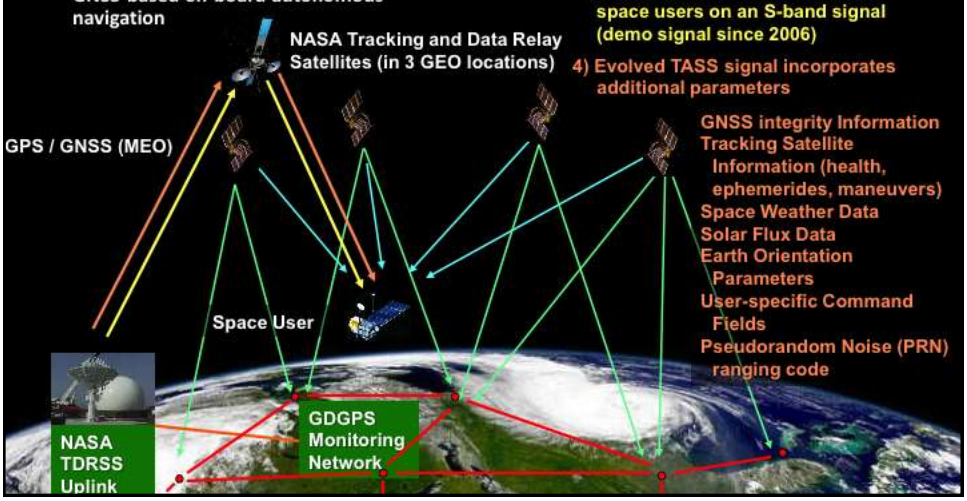
- 他にも

（1）地球の自転の影響（受信機側で対応）
（2）衛星軌道が円でなく楕円であるための補正
（3）大気のプラズマのための光速の変化
（複数の波長の電波を使う）
を考慮する

Current GPS Activities and Mission Areas
Augmenting GPS in Space with TASS

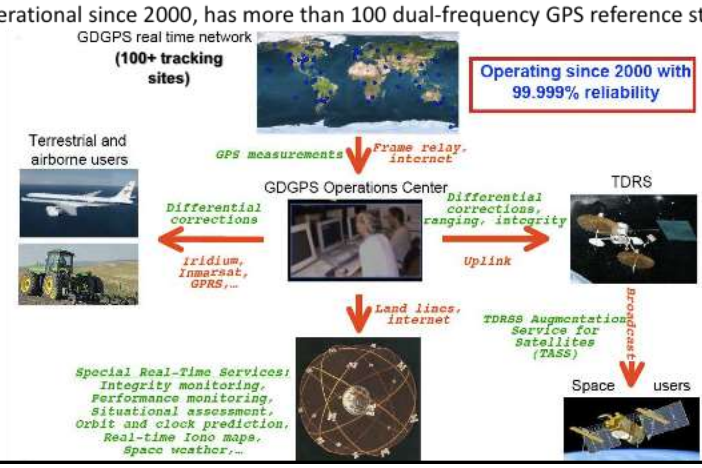
- TDRSS Augmentation Service for Satellites (TASS)
- Supports all space users
  - Communication channel tracking / ground-in-the-loop users
  - GNSS-based on-board autonomous navigation

1) User spacecraft acquires GNSS signals
2) A ground network monitors GNSS satellites
3) GEO Space Network satellites relay GNSS differential corrections to space users on an S-band signal (demo signal since 2006)
4) Evolved TASS signal incorporates additional parameters



Current GPS Activities and Mission Areas: Global Differential GPS System (GDGPS)

- Global, seamless, GPS augmentation system developed and operated by NASA's Jet Propulsion Laboratory
  - Supports real-time positioning, timing, and environmental monitoring for agency science missions. Provides advanced real-time performance monitoring
  - Provides timely products for GPS situational assessment, natural hazard monitoring, emergency geolocation, and other applications.
  - Operational since 2000, has more than 100 dual-frequency GPS reference stations



GPS衛星搭載の時計の合わせ方

- GPSでは、衛星搭載の時計の示す時刻の精度が重要であることは既に見た。

時計は12時間くらいおきに合わせ直す必要があるが、そのために電波を交信させる。

その方法はアインシュタインの時計の合わせ方と本質的に同じであることは興味深い。

実際のGPSの概要

- 高度約2万kmの6つの軌道にそれぞれ4台以上合計24台以上の衛星が配置されている。約、12時間周期でほぼ円軌道を回っている。

・原子時計を内蔵しており、1.2/1.5GHz帯の電波で時刻を含むデータを地上に送信している。

・GPS受信機は複数のGPS衛星からの電波を受信してそれぞれとの距離を割り出すことにより、現在位置を測定することができる。

まとめ

気楽に質問