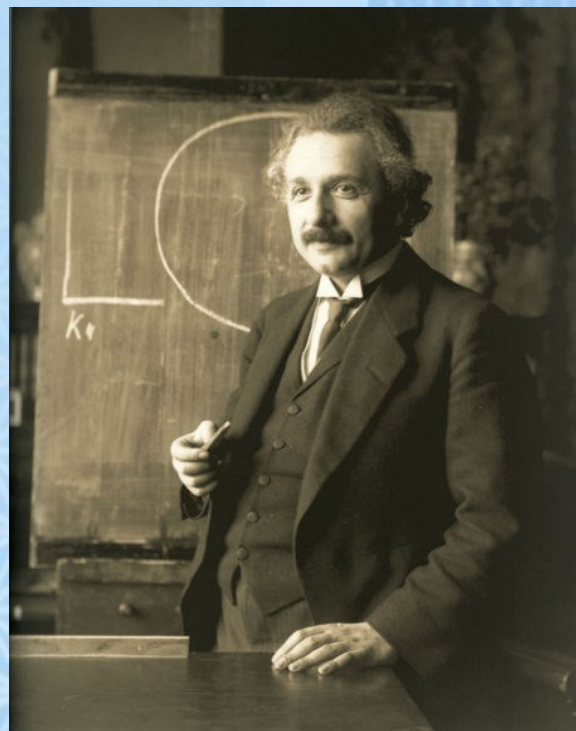


研究室メモ

GPSにおける相対性原理の補正



2011.11.26
オーディオ道場

GPSにおける相対性原理の補正

【相対性原理で説明される現象】

・重力による赤方変移

強い重力場から放出される光の波長は元の波長より引き延ばされる現象

・時間の遅れ

強い重力場中で測る時間の進み(固有時間)が弱い重力場中で測る時間の進みより遅いこと

GPSにおける相対性原理の補正

【GPSによる時間や位置の狂いの補正】

衛星は軌道上を秒速4kmを超える速度で移動しているため、特殊相対性理論により地上の時計に比べて相対的に遅れる事になる。

高度2万kmの軌道上は地表に比べて重力の影響が弱いため、一般相対性理論により地上の時計に比べて早く進む。

双方の効果を重ね合わせると、GPS衛星に搭載された原子時計は、地上の時計に比べて1日当たり28.6マイクロ秒だけ早く進むことになる。

光は28.6マイクロ秒の間におよそ11km進むため、このズレを1日放っておくだけで、GPSに11kmもの誤差が出ることになる。この相対論の効果を打ち消すべく原子時計の補正が行われている。

GPSにおける相対性原理の補正

GPS 衛星側での補正

GPS 衛星上では相対論的効果により、時間の進み方が地表と異なるので、あらかじめ衛星搭載時計の周波数を、 -4.45×10^{-10} オフセットして、UTC(協定世界時)と同期させている。

GPSにおける相対性原理の補正

一般相対論による補正(重力による赤方偏移)
地球表面とGPS 衛星上での重力ポテンシャル
の差により、GPS 衛星上での時間は地表より
早く進む。

その大きさは下記のとおり。

$$\Delta U/C^2 = 5.27 \times 10^{-10}$$

GPSにおける相対性原理の補正

- 特殊相対論による補正(2次ドップラー効果)
GPS 衛星の速度(3.874 km/sec)により、GPS 衛星上での時間は地表より遅くなる。
その大きさは、次のとおり。

$$-(v/c)^2/2 = -8.4 \times 10^{-11}$$

その他

GPSの軌道が真円でないための
ケプラーの式の補正