

# 相対性理論とGPS・重力レンズとブラックホール

情報ゼミ生(3年生) レポート発表

## 相対性理論とGPS 上田拓郎

### 特殊相対性理論と一般相対性理論

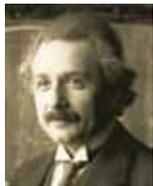
共にAlbert Einsteinによって発表された。

#### 特殊相対性理論(1905年)

- ・ 時間, モノの長さ, 質量は観測者の立場によって変化。
- ・ 慣性系でしか扱えない。

#### 一般相対性理論(1915年)

- ・ 特殊相対性理論を加速度を適用できるように改良。
- ・ 重力が強い所は光は曲がり時間は遅れる。



Albert Einstein(1879-1955)

### 特殊相対性理論



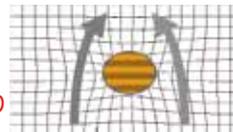
光速に近いロケットを地球から観測すると・・・  
ロケットの中の時間は遅れて進む。

一方, ロケットから地球を観測すると・・・  
地球の時間は遅れて進む。

### 一般相対性理論

質量の大きな物体は空間を曲げる

重力=空間の曲がり



・光は曲がった空間に従って進む  
→光は重力で曲がっているように見える

・重力が強い場所では時間は遅れて進む

### GPSにも相対性理論

GPS (全地球測位システム)

携帯電話やカーナビなど, 身近なところに存在。



衛星からの電波の発信時刻と, 地上の受信機の受信時刻の差で位置を特定。

衛星は, 特殊相対性理論と一般相対性理論の影響を受けている。

### GPSにも相対性理論

特殊相対性理論の影響

衛星は秒速3.8kmで運動  
→ 一日当たり時計が7マイクロ秒遅れる

一般相対性理論の影響

衛星は地上よりも受ける重力が小さい  
→ 一日当たり時計が45マイクロ秒進む

合計38マイクロ秒の誤差を一日放置すると, カーナビ上で11kmの誤差を発生させる。  
GPSにはこれらを補正する仕組みが備えられている。

### オマケ: タイムトラベルは可能なのか?

未来へのタイムトラベルは・・・

→理論的には可能, 技術的に難しい  
光速の99%で飛行するロケットで一年間宇宙旅行  
→地球に戻るとそこは約7年後の世界。

過去へのタイムトラベルは・・・

→理論的にも技術的にも難しい  
もしモノの速さが光速を超えると可能・・・かも?  
パラドックスをどう説明するのか?

## 重力レンズとブラックホール 藤井健太郎

### 重力レンズとは

観測対象である天体と、地球との間に質量の大きい天体が存在すると、その重力により空間が曲がり光が曲がる。これがレンズの役割をすることで観測対象である天体の像を観測することができる。

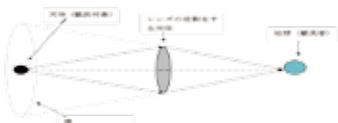


図1 重力レンズの仕組み



図2 アインシュタインリングの観測例



図3 アークの観測例



図4 アインシュタインクロス

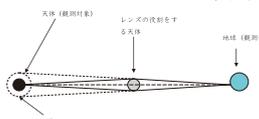


図5 マイクロレンズ効果の原理

### ブラックホール (BH)

BHとは天体の一種であり、非常に重力が大きいため、光さえも引きずり込み外へ出ることができず、直接観測することができない。

ブラックホールの種類	質量	形成方法
ミニブラックホール	太陽の10億分の1	10億トンほどの質量のブラックホール。現在観測している宇宙には存在が確認されていない。
恒星質量ブラックホール	太陽の10倍程度	恒星質量ブラックホールは超新星爆発と併発する過程で形成されたと考えられている。観測により発生する。最も多く研究されている。
大質量ブラックホール	太陽の数千万倍	超大質量の巨大ブラックホールはその形成過程はまだ謎のままだが、その存在自体は多くの観測から確認されている。ほとんどの銀河の中心には大質量ブラックホールがある。

表1 ブラックホールの種類

### 重力レンズによる像

- ①アインシュタインレンズ 図2  
図1のように観測者・レンズ・観測対象が一直線上に並んだ時に観測できる像。
- ②アーク (円弧) 図3  
観測対象の天体と、地球、レンズの役割をする天体、この3つが一直線状になっておらず少しずれたとき、円環のつづれた円弧 (アーク) になる。
- ③アインシュタインクロス 図4  
実際の銀河や銀河団は少しゆがんだ楕円形になっている。楕円の長軸方向と短軸方向で光の屈折する割合が異なるため、2重像ではなく4重像になっており、十字架上に並んだ像ができる。
- ④マイクロレンズ効果 図5  
銀河ほどの質量はなく小さな天体が、観測対象と観測者の間を横切るときに起こる現象である。

### ・BHの観測方法

- ①BHの周辺から放射されるX線を探知する。
- ②重力レンズによる観測

### ・BHの直接観測は可能か

- ①強い重力をもつBH同士の衝突で重力波が発生する。
- ②重力波を発見できれば、相対性理論が正しいことがわかり、それはBHを直接「見た」ことになる。
- ③現在、重力波観測のプロジェクトが進行中。