

## 第 8 回計測法入門: 宇宙を計測するには 計測するに至った物理量

宇宙観測は、天体までの距離を知ろうとしたり、色や明るさを眺めてみることから始まった。

- 距離の測り方: 三角測量
- 天体の種類: 「惑星」「恒星」
- 色
- 明るさ

### 惑星と軌道

レンズを組み合わせることにより、光学望遠鏡が作られた。

- 惑星: 天球中で動きが逆行することがある天体
- Copernicus が円軌道でその動きを説明
- Kepler が楕円軌道であることを示した
- Newton が万有引力 (重力) を発見するきっかけ

**光学望遠鏡の発達** 光学望遠鏡は現在、次のような天体が区別できている。

- 星雲: 恒星から噴き出す物体
- 銀河: 天体の集まり
- 銀河団: 銀河の集まり

銀河団は銀河の集まる個数やひろがりによって、銀河群、超銀河団などに分類される。

## 相対性理論と量子力学の進歩

相対性理論や量子力学は、20 世紀に発展した分野である。

- 特殊相対性理論: 重力のないところを光の速さに近い速度で進む電磁波や粒子に関する理論。
  - － 質量とエネルギーは等価のものである。
  - － 光速は一定。
- 一般相対性理論: 質量を持つ粒子も含め、重力のあるところを進むときの理論
- 量子力学: 素粒子が波の性質と粒の性質をどちらも持つという特性に関する理論

一般相対性理論が構築されたことにより、観測されていた結果のいくつかは、その理由があきらかになった。

## 相対性理論による解明と仮説の発表、現象の発見

一般相対論が確立されたことで

- 水星の近日点移動が起きてしまう理由
- 遠くにある恒星の色はどれも赤く見える（赤方偏移）理由

が説明できた。また、一般相対論を簡単な形についてよく調べると以下のような現象が予想された。

- 「ビッグバン理論」: 宇宙は膨張している。過去は小さな高音の球であった。
- 「重力レンズ効果」: 重い質量の天体の近くを通った光は曲げられる。
- 「重力波」: 重力が電磁気と同じような方程式で書くことができるので、電磁波のように重力波というものが存在するはずである。

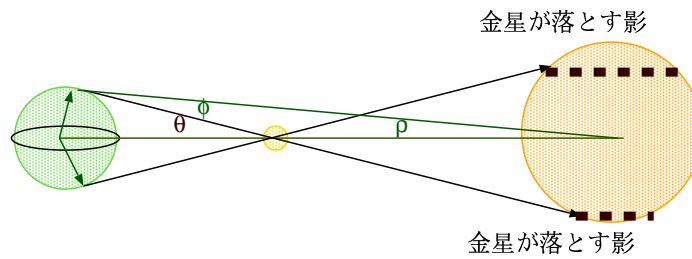
これらはいずれも現代までの観測により、現象が発見され、予測が正しいことが確かめられた。

## 天文学の長さの単位

- パリ (N°49) とギニアのカイエヌ (N°5) から測定した太陽視差から、太陽までの距離を求めた。地球から太陽までの距離を「天文単位」とする。

$$1[\text{天文単位}] = 1.49598 \times 10^{11}[\text{m}]$$

ケプラーの第2法則を用いて、角度から太陽までの距離を計ることができる



- 電磁波の速度  $c$

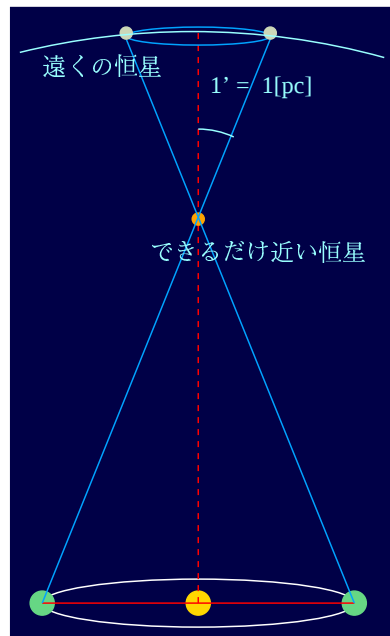
$$c = 299792458[\text{m/s}]$$

- 電磁波が 1 年に進む距離

$$1[\text{光年}] = 9460730472580800[\text{m}]$$

- 近傍の恒星と遠くの恒星との角度を半年ごとに測定し、年周視差を求め、遠くの恒星までの距離を求めた。1 天文単位あたりの年周視差 (PARallax) が 1 [秒角] (SECond) のとき、1 [pc] と呼ぶ。

$$1[\text{pc}] = 3.262[\text{光年}]$$



## 天文学の明るさの単位

「実視等級」による分類は古代からあった。1 等星から 6 等星までの光の明るさが 100 倍異なるので、これを数学的に決めた。恒星にも遠近があることが分かり、距離の概念を含んだ等級が定義された。

- 放射絶対等級: 天体本来の持つ明るさ
- 絶対等級: 10 [pc] の遠さにあると仮定したときの明るさ
- 実視等級: 人間の目で測定する等級

## 天体の色と温度

- 惑星: 惑星の大気や地表の成分
- 恒星: 恒星の中で、質量 (エネルギー) と温度に関係がつけられるものを、主系列星と呼ぶ。
  - 誕生後は青白く高温
  - 晩年は赤く低温

## 恒星の色と明るさと距離

- H-R 図: 恒星の色彩表と、年周視差から求められる距離を組み合わせたもの
- 近年ヒッパルコス衛星が詳しく調査した

## 銀河の色と距離

- Slipher により、銀河は赤方偏移を起こしていることが発見される
- 赤方偏移は重力によるドップラー効果であるが、この由来が一般相対論的なものであることが Hubble によって示された「Hubble の法則」
- ビッグバン模型が正しいことの証明となった

## 電波望遠鏡の歴史

- Hertz が電磁波の存在を確認
- Jansky が天体が電磁波を放出していることを確認
- Reber が電波望遠鏡第一号を制作

## 宇宙背景放射放射の発見

- 宇宙のあらゆる方向から飛んでくる  $3\text{ [K]}$  のエネルギー放射を発見「宇宙背景放射」(Penzias, Wilson)
- 宇宙背景放射: 一様等方に膨張している宇宙の熱が冷えてやってきたもの  
→ ビッグバン宇宙になる前の残骸

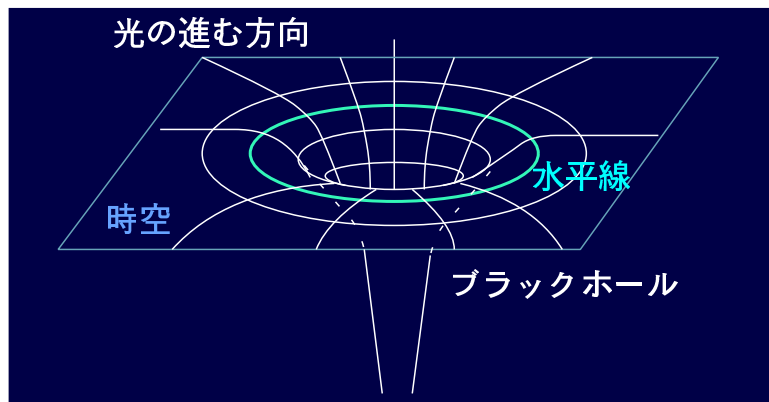
## 変光星の機構の解明

- 変光星: 明るさが定期的、あるいは不定期に変わる天体
- 電磁波 =  $\gamma$  線, X 線, 紫外線, 可視光, 赤外線, マイクロ波, 短波 …  
であることから、何らかの理由で波長が変化していることが分かるようになった。

重力パルサー: 二つの同じくらいの天体が互いを回り、その周期が徐々に早まるもの

## ブラックホールの解明

- ブラックホール: 小さいが強い重力を持つ天体



## 現在知られている天体

- 彗星: 太陽系で楕円軌道を回る小さな小惑星
- 銀河系: 我々の住む銀河
- 星雲: 星の間からガスが吹きでている
- 変光星: 周期的あるいは非周期的に明るさが変化する星
- 銀河: 恒星の集団、とくに銀河系（太陽系の属する銀河）
- 銀河団、銀河群、超銀河団: 銀河の集団の大きさによる分類
- 重力レンズ、ブラックホール: 一般相対論が正しいことの証明