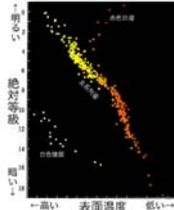


# 宇宙に関する話題の紹介(天体編)

## HR図と星の一生 入江庄一

### HR図

- HR図(ヘルツスプリング・ラッセル図)は星の表面温度と星の明るさから星を分類するための図である。
- HR図上で星は、主系列星、赤色巨星、白色矮星に分類される。



<http://yukimura.hep.osaka-cu.ac.jp/~vuniv/>より

### 星の一生

- 星間雲が収縮して原始星ができる。
- 原始星が縮んで水素の核融合反応が始まると主系列星になる。
- 水素が無くなると赤色巨星になり、ヘリウムの核融合反応が始まると、再び主系列星になる。
- ヘリウムの核融合反応によって炭素が溜まり、ヘリウムが無くなると、炭素から鉄になるまで次々と核融合反応が起こる。
- 鉄では核融合反応が起こらないので白色矮星になり、星の一生が終わる。

### 核融合反応

- 核融合反応とは、軽い原子核同士が融合して重い原子核になる反応である。
- 恒星での核融合反応の例:
- 1つの陽子(p)と1つの中性子(n)を持つ重水素(D)同士が核融合すると、1つの陽子と2つの中性子を持つ三重水素(T), または、2つの陽子と1つの中性子を持つヘリウムができる。
- $D+D \rightarrow T+p \dots \textcircled{1}$
- $D+D \rightarrow He+n \dots \textcircled{2}$

### HR図と星の一生の関係(1)

- 原始星が主系列星になって核融合反応が始まると星がエネルギーを出すようになり、HR図の右下に現れる。
- 主系列星では表面温度が高くなり、明るくなっていくので、HR図の右下から左上に進んでいく。
- 水素の核融合反応が終わると、表面温度が下がりHR図上で右に進んで赤色巨星になる。



### HR図と星の一生の関係(2)

- ヘリウムの核融合反応が始まると、星はHR図上で赤色巨星から主系列星へ進み、左上に進む。
- 鉄になるまで次々と核融合反応が起こり、鉄になると核融合反応が起こらなくなる。星はエネルギーを出さなくなり、表面温度が下がって暗くなるので、HR図上で右下に進んで白色矮星になる。
- 星の一生の終わる時には、星は光らなくなるので、HR図から消える。



## 中性子星・パルサー 黒田雅敏

### 中性子星

- 太陽の数倍の質量を持つ星が超新星爆発で残った、星の中心部
- 直径は20km程度で、密度は高く(10<sup>15</sup>g/cm<sup>3</sup>)、高速回転し、非常に強い磁場を持っている
- ほとんど中性子だけで構成されている
- 天の川銀河には、数百万個の中性子星が存在していると考えられている
- 1934年にパーデとツビッキが初めて提唱

### パルサー

- 光、電波、X線、ガンマ線などを周期的に規則正しく放射している中性子星
- 1967年アントニー・ヒューイッシュらが、こぎつね座でパルサーを発見
- これまでに700個以上のパルサーが発見されている



図1.かに座星雲のパルサー  
spaceinfo.jaxa.jp

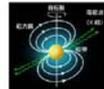


図2.パルサーのモデル  
www.enecho.meti.go.jp

### 誕生

- 恒星が一生を終えるとき、質量の軽い星は白色矮星となり、チャンドラセカール限界によって導かれた太陽の質量の1.44倍以上の重い星は超新星爆発を起こし、外層部は宇宙に放出され、このとき中心部に残った核が中性子星となる
- このうち8倍以上の重い質量の星はブラックホールとなる

### パルサーが中性子星だとされる理由

- かに座星雲のパルサーが0.033秒というとても早く、白色矮星ではこの早さのパルスは説明できなかった
- パルサーの周期が徐々に長くなっている(年間10万分の1秒)ことも観測されており、これは自転が遅くなっていることを意味する、そのエネルギーが電磁波となっていると考えられる
- 自転の遅れから考えられるエネルギーの損失量と、パルサーから発せられる電磁波のエネルギーが一致する

## ブラックホール 明田剛慈

### ブラックホールとは

- 重力崩壊により、光などの情報が外部に行かない(いくことができない)状態にある天体と、その周りに形成される空間。
- 一般相対性理論で予言され、1962年に発見された白鳥座X-1が代表例とされている。

### ブラックホールはどのようにして形成されるか

- 太陽より8倍以上重い星は、超新星爆発を起こす。
- さらにその星が太陽の40倍以上であるなら、超新星爆発後も、重力崩壊し続ける。
- 収縮は続き、シュバルツシルト半径(形成された空間(球体)の半径のこと)よりも小さくなりブラックホールとなる。

### シュバルツシルト半径とは！！

1916年ドイツの学者シュバルツシルトが、一般相対論における重力場方程式の解のひとつを導いた。これは、'球対称で時間的に変化しない重力'という条件の下で解かれたものである。質量をM、光速をc、万有引力定数をGとすると、その球の半径は

$$r_g = \frac{2GM}{c^2}$$

となり。この半径よりも内側の空間は、光などの情報が出てこれなくなり、全く情報を得ることのできない状態となることが判明した。ちなみに地球と太陽のシュバルツシルト半径は...

- 地球・・・0.9cm
- 太陽・・・3km

### ブラックホールの観測方法(1)

ブラックホールは直接観測できないので、間接的な方法をとる。

#### ブラックホールが単独で存在する場合

・強力な重力場の作用によって近くの星の大気から、その一部がブラックホールへと落ち込んでいくと予想される。よって、このガス加速から生じるX線やガンマ線を観測する。

・背景からの光が届かないので、小さいながら宇宙空間に暗黒領域が生まれると考えられる、よってそれを観測する。

・強力な重力場により、背景の星からの光がこの天体の方へと曲げられる一種のレンズ効果を示すので、この効果を観測する。

### ブラックホールの観測方法(2)

#### 連星系をなしている場合

・互いの重力により合体する為、合体の際に放出される重力波を検出することで見つけることができる。

・現在、世界各地でレーザー干渉計が稼動しており、ブラックホール連星系合体を調べている。(見つければノーベル賞)