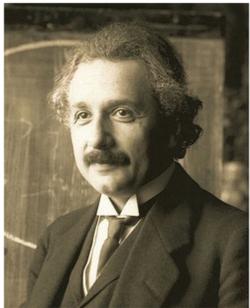


重力波が切り拓く新しい物理 2016

京都大学理学研究科

田中貴浩, 瀬戸直樹, 中野寛之, 野澤真人

一般相対性理論の誕生 1915年



アインシュタイン方程式

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}Rg_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4}T_{\mu\nu}$$

時空の曲がり
具合

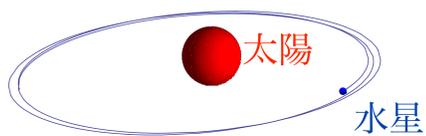
物質・
エネルギー

Photography courtesy by Wikipedia

ニュートンの万有引力に代わる重力の理論
太陽系近傍の多くの検証をクリア

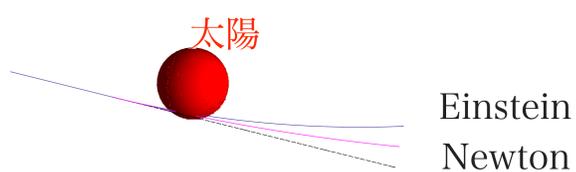
- 水星の近日点移動

0.43秒/年



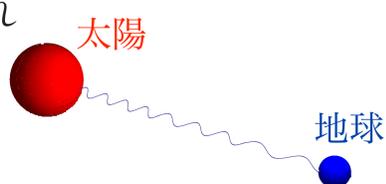
- 光の曲がり

1.75秒



- 重力による到達時刻の遅れ

GPSなどに応用

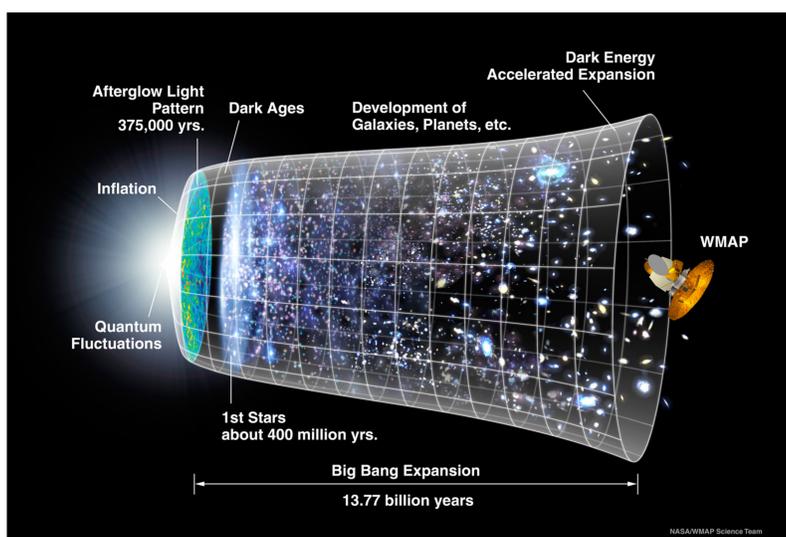


一般相対性理論の予言

- (i) 膨張宇宙 ビッグバン宇宙論

ダイナミックに変動する宇宙像の確立

138億年前に灼熱の宇宙が生まれた

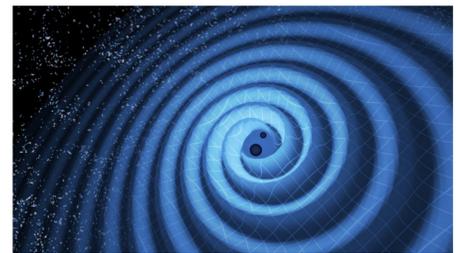


<http://map.gsfc.nasa.gov>

- (ii) 重力波

重力波とは?

物質の運動が引き起こす
時空のさざ波



<https://www.ligo.caltech.edu/>

特徴

- 光速で伝播

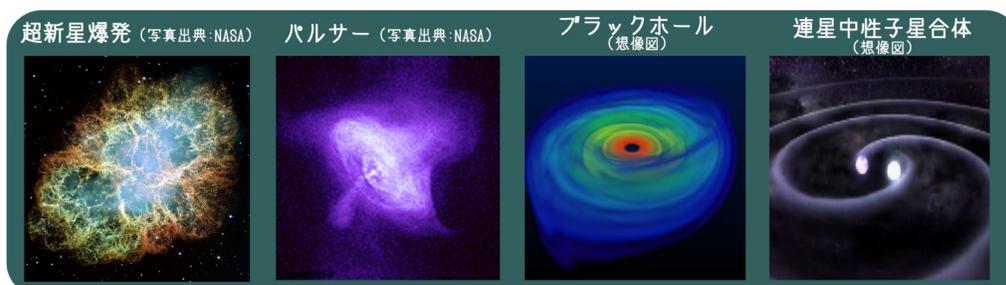
電磁波と同じく横波

- 振幅が小さい、相互作用しない

観測が難しい

重力波検出はアインシュタインの最後の宿題

宇宙の高エネルギー天体現象が重力波源の候補



<http://gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp> copyright©2010 ICRR GW group

超新星爆発

星の核エネルギーが枯渇し重力崩壊すると引き起こされる大爆発。1054年のかに星雲の超新星爆発は、明月記(藤原定家)にも記載。

中性子星

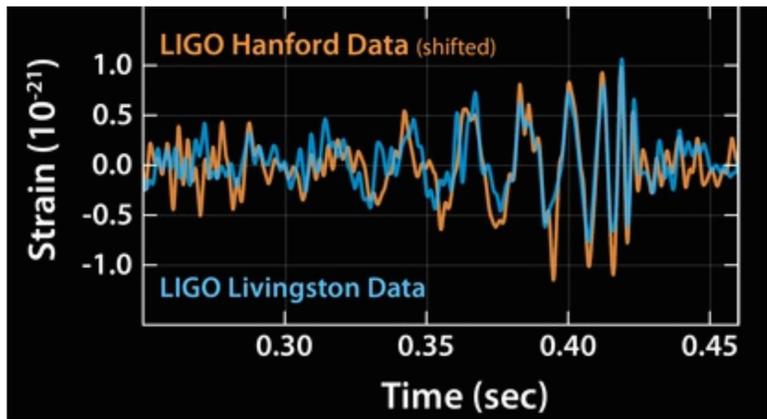
超新星爆発後に残る、中性子が主な構成要素で密度が非常に高く、巨大な原子核のようなコンパクトな星(半径約10km)。中性子星が自転していると、規則的な周期でパルスを放射する。連星パルサーの公転周期の減少率から間接的に重力波の存在が確認された(1993年ハルス、テイラーにノーベル賞)。

ブラックホール

重力が強く光さえも抜け出せない領域。太陽の約20倍の質量の星の重力崩壊などで形成。降着円盤を伴いX線で輝く。天の川銀河の中心には太陽の400万倍の質量をもつ超巨大ブラックホールが存在。

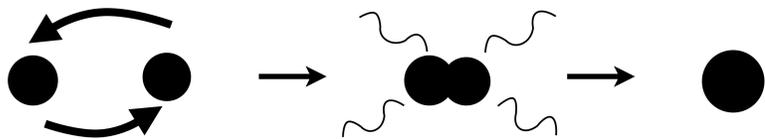
重力波検出

2015年9月14日, advanced LIGO (アメリカのレーザー干渉計型重力波検出器)が重力波を検出!



<https://www.ligo.caltech.edu/>

13億年前の2つの**ブラックホールの合体**



$36M_{\odot} + 29M_{\odot} \Rightarrow 62M_{\odot}$ のブラックホールの誕生

$3M_{\odot}$ のエネルギーが重力波として放出

M_{\odot} : 太陽質量(約 $10^{33}g$)

3つの大きな意義

(i) 重力波が実在した!

$h \sim 10^{-21}$ (太陽-地球間に水素原子1個ぶん)

だけ空間が伸び縮みした

(ii) ブラックホールを直接観測できた!

ブラックホールが奏でる音色(固有振動)が宇宙全体に響き渡った

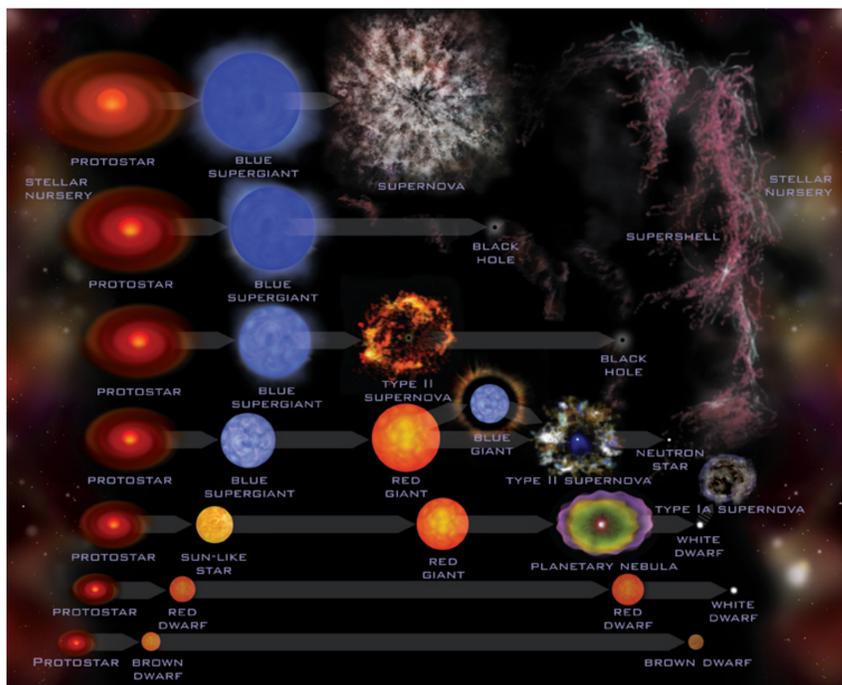
一般相対性理論は強重力の領域でも正しかった

(iii) 中途半端な重さのブラックホールが存在した!

$10M_{\odot} \lesssim M \lesssim 10^6 M_{\odot}$ の範囲は

ブラックホールの砂漠地帯

星の構造進化論に新たな課題



<http://chandra.harvard.edu/edu>

重力波天文学の幕開け

重力波は透過力が強い(電磁波のように散乱されない)

宇宙を見る新たな`望遠鏡`



日本でもKAGRAが建設中

岐阜県神岡鉱山の地下に建設中のレーザー干渉計型重力波検出器。2019年には本格観測開始。

世界各地の重力波ネットワークの構築

- 三角測量による位置決定
- マルチメッセンジャー観測(光、ニュートリノ)



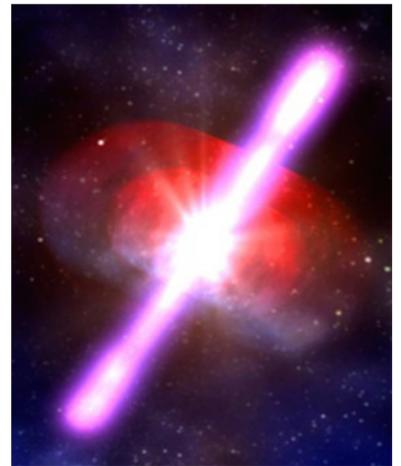
copyright©2010 ICRR GW group

重力波天文学が解き明かす宇宙の謎

- 超新星爆発メカニズムの解明
- 中性子星を構成する高密度物質の解明

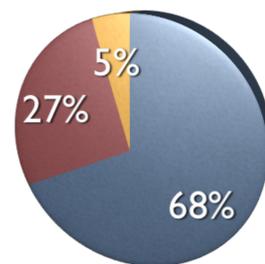
• **ガンマ線バースト**の正体

ミリ秒から数千秒におよぶ短い時間に大量のエネルギーが放出される宇宙最大の天体現象。中性子星の連星合体か?



- 宇宙論的距離決定の精度向上 <http://spaceinfo.jaxa.jp>

宇宙の構成要素の解明へ



- 暗黒エネルギー
- 暗黒物質
- 原子

- より高精度での一般相対性理論の検証
- **原始重力波**による初期宇宙の観測

電磁波では宇宙誕生後38万年までしか見れない

- (i) **インフレーション理論**の直接検証
- (ii) 素粒子統一理論への制限