

最新の宇宙像入門 ビッグバンから銀河、星、ブラックホールへ

第10回

重力波天文学 - 21世紀の天文学 -

大阪市立大学大学院理学研究科 神田展行

2003.12.4

講義の概要、それぞれの単元を記します。これらは「重力波天文学」の簡単な歴史にもなっています。単元の後半は、ほとんどが現在の研究の最前線にあるものです。なるべく受講者のみなさんにとっても興味深い資料を用意するつもりです。

単元の最初は、できれば相対性理論について簡単に理解しておくとうわかりやすくなります。(数式があやつれるといったことではなくて、原理的なことを知っておいてほしいということです。)また最前線の研究のなかには、専門家でも手を焼いている非常に難解なことも存在します。本講義は、そのようなことを理解するのが目的ではないのであまり立ち入らずに、原理的なことやこの分野の面白さを紹介しようと思います。理解のポイントとなるようなことを傍注で記しておきます。

また、この講義を準備している現在、まだ重力波の直接観測は世界のだれも成し得ていません。最前線の分野のお話を楽しみにしてください。

天文学の道具の歴史：可視光から素粒子まで 人類が宇宙を観察する手段は、様々に進歩してきました。またその度に、新しい宇宙の姿が明らかになってきました。ここではそれらを思い起こし、「重力波天文学」という言葉のイメージを持ってもらいます。

- 電磁波（有史以前ー現在）：
電波、赤外線、可視光、紫外線、赤外線、X線、ガンマ（ γ ）線、といったものがあります。異なる波長帯には異なった電磁波放射の仕組みがあり、それによって星や銀河のいろいろな面を知ることになります。
- 電磁波でないもの（近年）：
ニュートリノ、荷電粒子、重力波、これらは電磁波ではありません。そして、やはり異なる過程によって作られています。

異なる放射過程によって、ということは、天体現象の違う部分で作られているということ。それぞれの種類の電磁波や素粒子を観測することで、対応する天体の仕組みを知ることができます。

重力波とは？ 「重力波天文学」が宇宙を見る道具である重力波の原理を説明します。

- 相対性理論と時空間
- 重力と時空のゆがみ
相対性理論で、我々は時間と空間が別々のものではなく、時空間として認識すべきものだと知っています。そして、重力というのは、質量によって時空間が歪むものであると解釈できます。
- 重力の「波」その時空間の歪みが、波として宇宙を伝搬してゆきます。

相対論について初歩の知識があるとよいです。数式をあまり使わない一般向けの入門書程度でも結構。

重力波と天体現象 観測できるような重力波を出すと期待されている天体現象をいくつか紹介します。

- 連星パルサーの観測：重力波の間接証明
テイラーが1993年にノーベル賞を受ける業績の一つとなったものです。連星パルサーの周期を長年にわたって観測した結果、重力波を放出することで公転軌道がエネルギーを失っているということが観測されています。
- 直接観測のターゲット：中性子星／ブラックホール連星合体、ブラックホール固有振動、超新星、パルサー
こうした天体が重力波源の候補となっています。ただし、これらの天体を持ってしても、私たちが観測しようとする重力波はとても小さいものです。

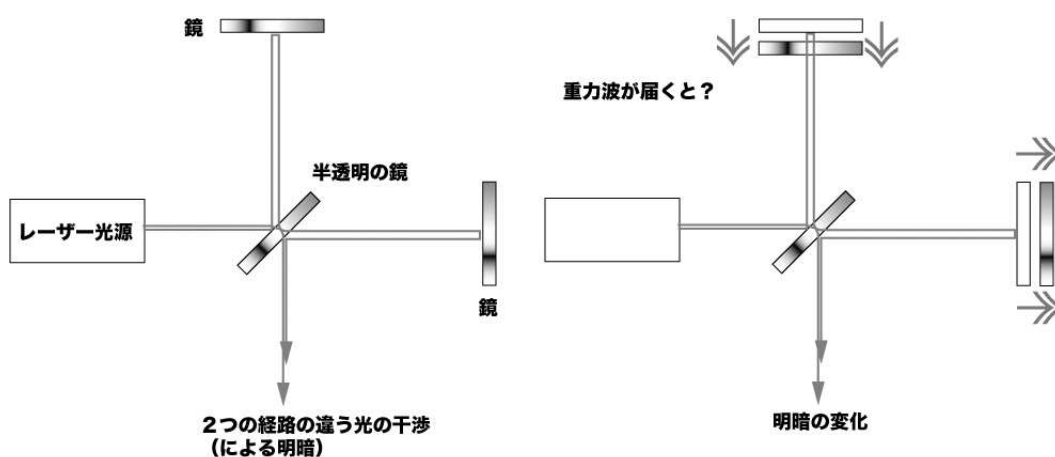
銀河系中心での中性子星連星合体で、1mの距離がほんの $10^{-19} \sim 10^{-20}$ mくらい変化します。

重力波の検出器

- 検出原理
- 共鳴アンテナと黎明期
- レーザー干渉計の登場

共鳴型と自由質点型(レーザー干渉計型)の2つがあります。

重力波 = 時空間の歪みを測るための原理と、歴史的順番にそって検出器の発展をお話しします。



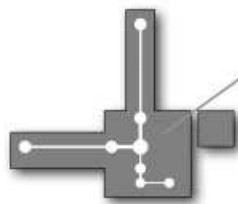
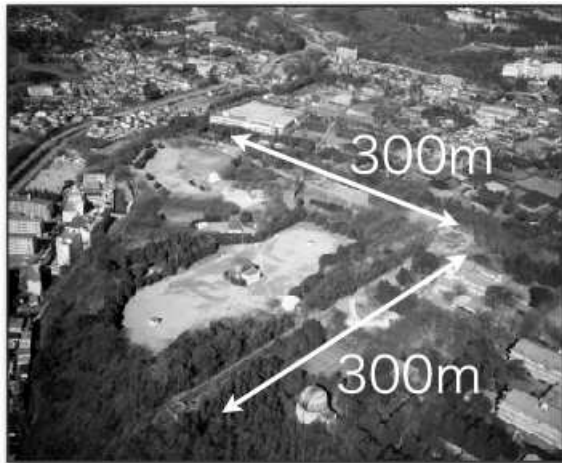
干渉計の原理

- 「観測世代」のはじまり現在の実験装置は、感度を出すだけのテストの段階を超えて、実際の観測を始めようとしています。

世界のレーザー干渉計実験 いくつか実働中 / 建設中のレーザー干渉計型重力波検出器が世界にはあります。LIGO (米国)、VIRGO (仏伊)、GEO (英独)、TAMA (日) です。

TAMA 300 講師もメンバーである、日本のTAMA実験(国立天文台ほかの共同研究プロジェクト)について、写真などもふんだんにつかって実際に説明します。

TAMA ホームページ
<http://tamago.mtk.nao.ac.jp>



TAMA 干渉計の鳥瞰と中央真空槽室

検出装置のキーテクノロジー 干渉計が重力波をとらえるためには、さまざまな雑音を重力波よりも小さくしなければなりません。雑音減は、地面の振動からレーザー光の量子の性質まで、極限の世界です。

観測データに重力波の形跡を探す データ解析テクニックについて、TAMAでの実例をいくつかあげながら、「微小信号の選別」についてお話しします。

一つの方法は、マッチドフィルターという、第2次大戦中のレーダー技術に始まったものです。

どこまで遠くの宇宙が見えるようになるのか？

- 現在の観測レンジ
- 将来計画の紹介

結論をいうと、現在の観測装置は、我々の銀河系やおとなりのアンドロメダ星雲での重力波現象を探す能力があります。しかし重力波源がすくないため、世界の将来計画では乙女座銀河団やさらに遠くの銀河団まで見える装置を計画しています。

6 ~ 10 億光年の彼方です。