

スペース重力波アンテナDECIGO計画

安東 正樹

(東京大学理学系研究科)

川村 慧晃(国立天文台), 中村 卓史(京大理), 坪野 公夫(東大理), 瀬戸 直樹(Caltech), 長野 重夫(NICT), 田中 貴浩(京大理), 石川 毅彦(JAXA), 植田 憲一(電通大), 武者 満(電通大), 佐藤 孝(新潟大工), 細川 瑞彦(NICT), 森脇 成典(東大新領域), 高島 健(JAXA-ISAS), 沼田 健司(NASA), 平林 久(JAXA-ISAS), 高野 忠(JAXA-ISAS), 藤本 真克(国立天文台), 樽家 篤史(東大理), 姫本 宣朗(東大理), 柳 哲文(阪市大理), 中尾 憲一(阪市大理), 原田 知広(京大理), 井岡 邦仁(京大理), 佐合 紀親(阪大理), 疋田 涉(京大基研), 佐藤 修一(国立天文台), 苔山 圭以子(お茶大人間文化), 福島 美津広(国立天文台), 國森 裕生(NICT), 山崎 利孝(国立天文台), 大河 正志(新潟大工), 橋本 樹明(JAXA-ISAS), 高橋 忠幸(JAXA-ISAS), 青柳 巧介(早大理工), 我妻 一博(東大宇宙線研), 阿久津 智忠(東大理), 浅田 秀樹(弘前大理工), 麻生 洋一(東大理), 新井 宏二(国立天文台), 新谷 昌人(東大地震研), 池上 健(産総研), 石徹白 晃治(東大理), 市来 淨與(国立天文台), 伊藤 洋介(Univ. of Wisconsin), 井上 開輝(近大理工), 戎崎 俊一(理研), 江里口 良治(東大総合文化), 大石 奈緒子(国立天文台), 大橋 正健(東大宇宙線研), 大原 謙一(新潟大理), 奥富 聡(東大宇宙線研), 鎌ヶ迫 将悟(東大宇宙線研), 河島 信樹(近大理工), 川村 麻里(新潟大理), 神田 展行(阪市大理), 雁津 克彦(京大理), 木内 健太(早大理工), 桐原 裕之(東大宇宙線研), 工藤 秀明(東大理), 黒田 和明(東大宇宙線研), 郡 和範(Harvard-Smithsonian Center), 古在 由秀(ぐんま天文台), 小嶋 康史(広島大理), 小林 史歩(Penn. State Univ.), 西條 統之(Observatoire de Paris), 阪上 雅昭(京大総合), 阪田 紫帆里(お茶大人間文化), 佐々木 節(京大基研), 柴田 大(東大総合文化), 真貝 寿明(稲盛財団), 杉山 直(国立天文台), 宗宮 健太郎(AEI), 祖谷 元(早大理工), 高橋 弘毅(阪市大理), 高橋 龍一(国立天文台), 高橋 竜太郎(国立天文台), 田越 秀行(阪大理), 田代 寛之(京大理), 谷口 敬介(Univ. of Illinois at Urbana-Champaign), 千葉 剛(日大文理), 辻川 信二(東大理), 常定 芳基(東工大), 徳成 正雄(東大宇宙線研), 内藤 勲夫(無所属), 中川 憲保(東大宇宙線研), 中野 寛之(阪市大理), 中村 康二(国立天文台), 西澤 篤志(京大総合), 丹羽 佳人(京大総合), 野沢 超越(新潟大理), 端山 和夫(国立天文台), 平松 尚志(東大理), 二間瀬 敏史(東北大理), 前田 恵一(早大理工), 松原 英雄(JAXA-ISAS), 水澤 広美(新潟大理), 蓑 泰志(Caltech), 宮川 治(Caltech), 三代木 伸二(東大宇宙線研), 向山 信治(東大理), 森澤 理之(京大基研), 山元 一広(東大宇宙線研), 横山 順一(東大理), 吉田 至順(早大理工), 吉野 泰造(無所属)

概要

日本の将来のスペース重力波アンテナ **DECIGO**
(**DECI-hertz interferometer Gravitational wave Observatory**)
についてお話します

重力波とは？
重力波の検出法
世界の現状と将来計画
DECIGOの概要
期待できる成果
今後の計画



重力波検出の現状

重力波とその検出 (1)

- 重力波による天文学 -

● 重力波 (時空のさざなみ)



A. Einstein

(TAMAプロジェクトパンフレットより)

一般相対性理論, アインシュタイン方程式

⇒ 波動 (光の速度で伝播する時空の歪み)

連星パルサーの公転周期の観測により存在証明

質量の加速度運動により生成

(⇔ 電磁波: 電荷の加速度運動により生成)

強い透過力 (物質との相互作用が小さい)

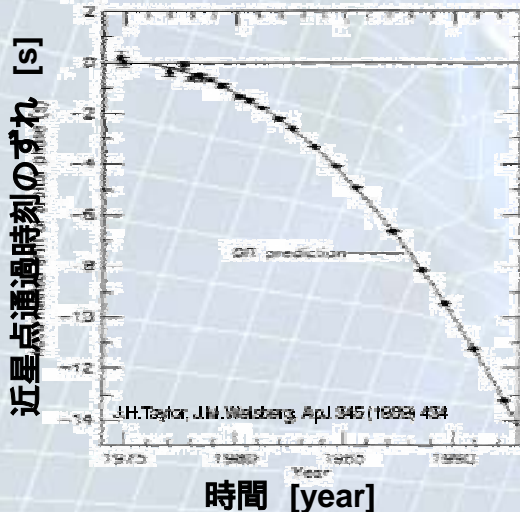


「重力波天文学」の可能

電磁波による天文学とは質の異なった情報

天体内部のダイナミックな運動の観測

電磁波では見ることのできない初期宇宙

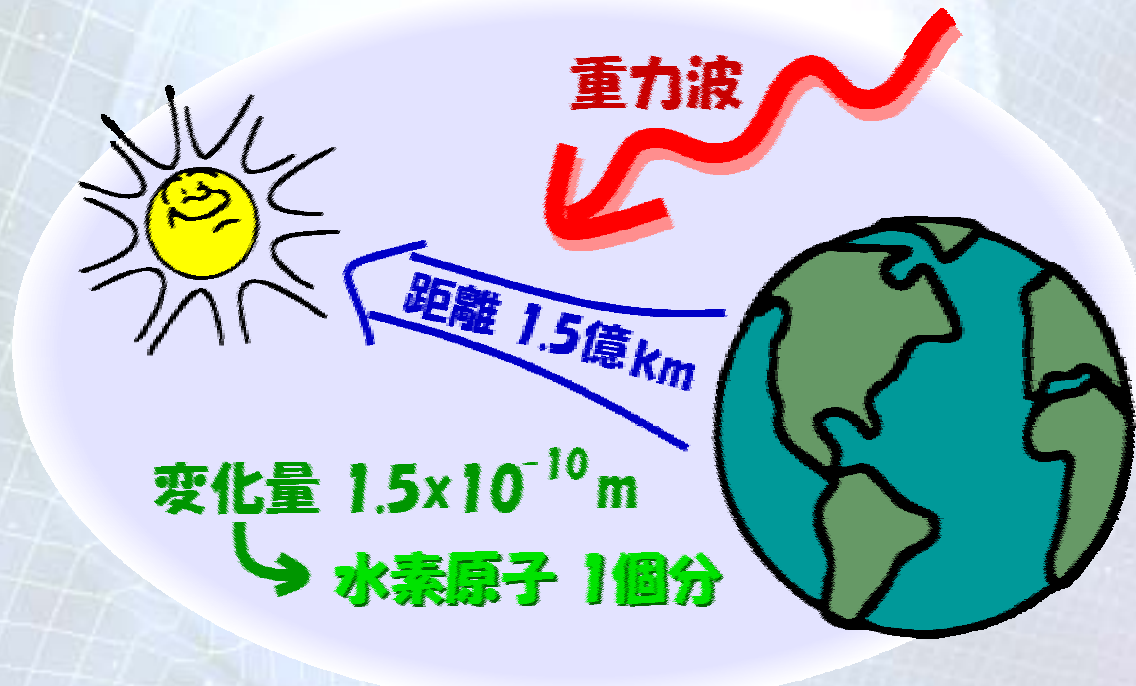


重力波とその検出 (2)

- 重力波は未検出 -

●しかし...

まだ直接検出されていない (効果が非常に小さいため)



10^{-21} の歪



安定な環境・微小検出技術が必

重力波とその検出 (3)

- 重力波の効果 -

● 重力波の検出

重力波の効果

自由質点間の距離の変化
大きさを持った物体への潮汐力

横波

四重極特性：

直交する方向で差動に変動

2つの偏光 (+モード, xモード)

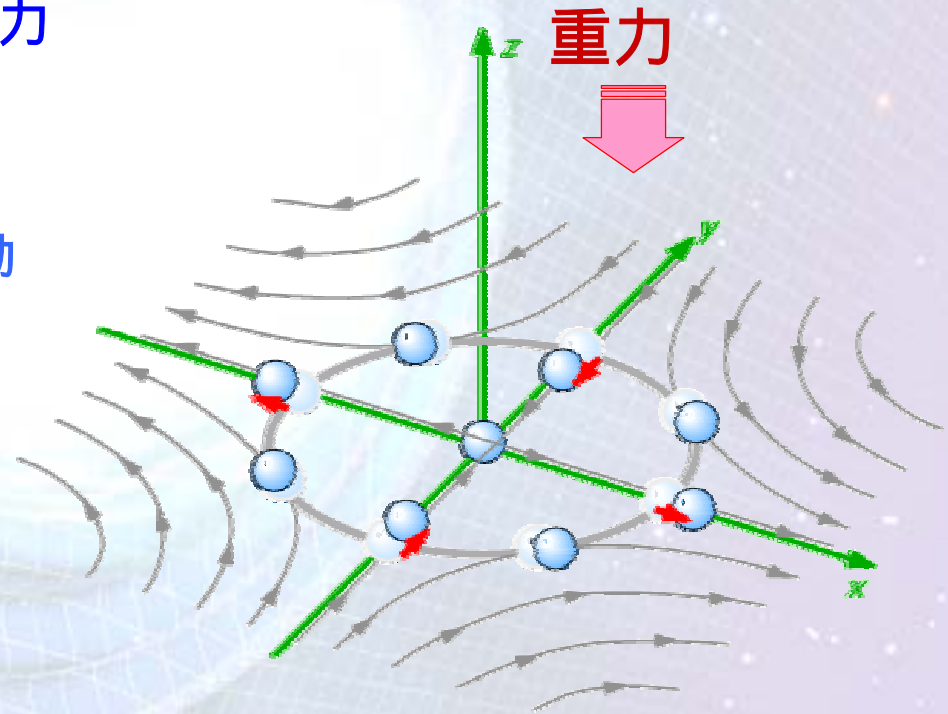


これらの性質を利用して検出

共振型検出器

自由質点型検出器

(レーザー干渉計型)



重力波とその検出 (4)

- マイクエルソン干渉計 -

● マイクエルソン干渉計

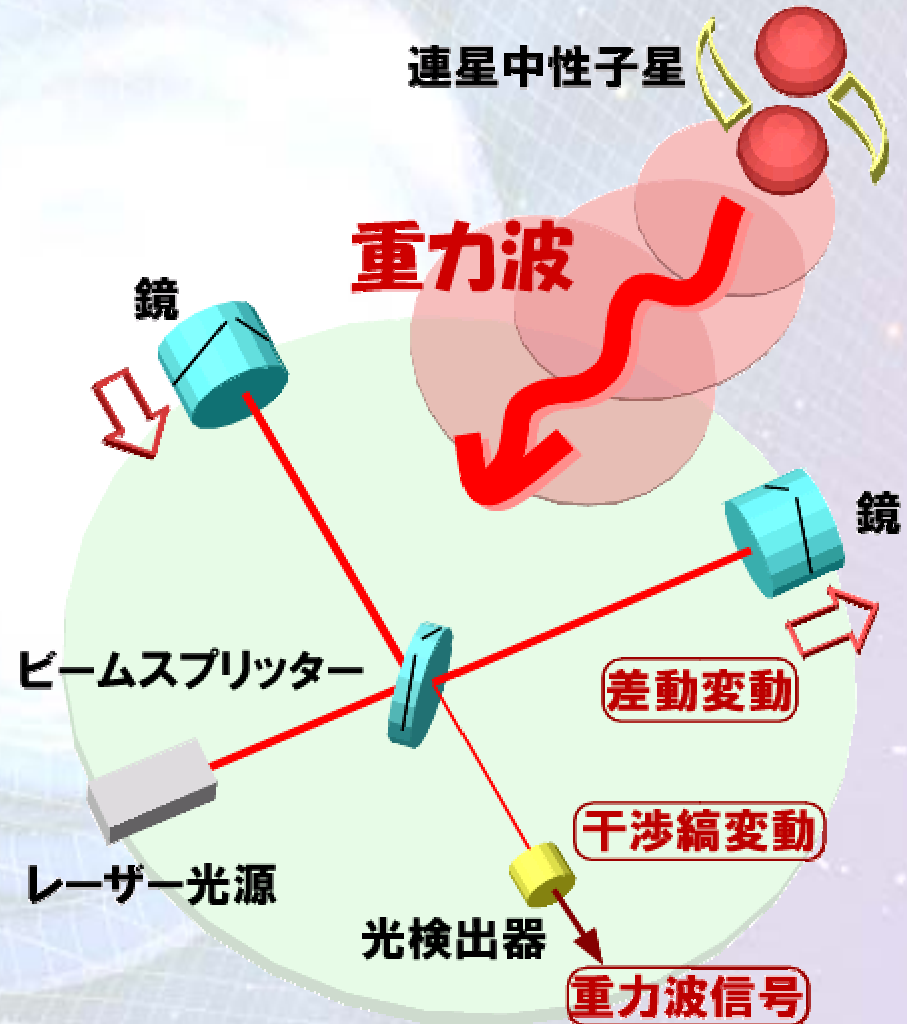
レーザー光源からの光を
直交する2方向に分岐



それぞれ、鏡で打ち返し
干渉させる



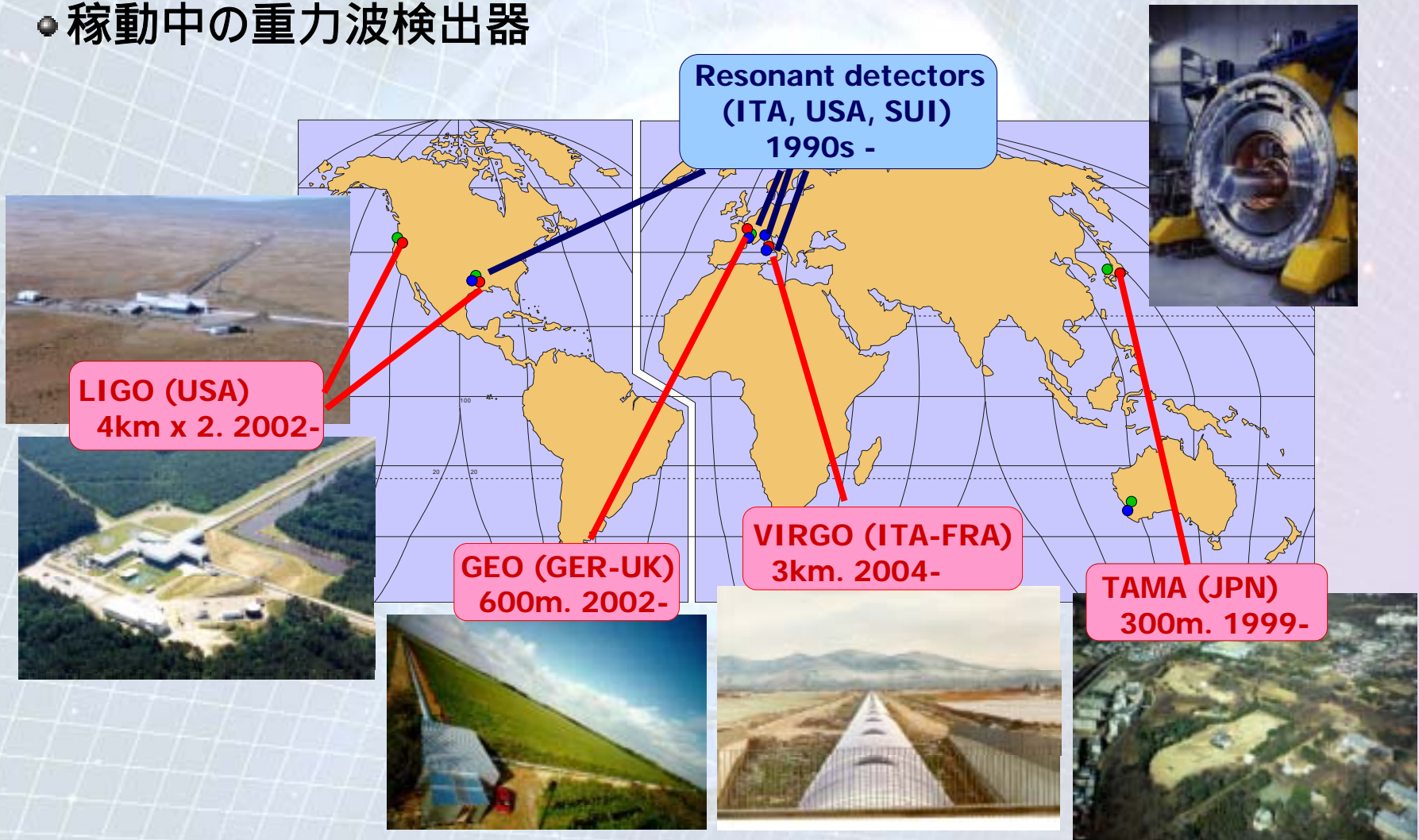
腕の長さの差動変動を
干渉縞の変動として検出



重力波とその検出 (5)

- 世界の重力波検出器 -

●稼動中の重力波検出器



重力波天文学 (1)

- 現状と将来計画 -

● 重力波天文学にむけて

稼働中の重力波検出器

連星中性子星合体イベント : 50kpc ~ 10Mpcの観測レンジ

→ 我々の銀河, 近傍銀河でイベントがあれば検出可能

ただ...

そのようなイベントは極めて稀 (10^{-5} event/yr/gal)

本格的な天文学のためには、

高感度化 → より多くの銀河をカバーする

多周波数での観測 → さまざまな対象を観測, 定常的な重力波の観測

(重力波の周波数 ~ 光速/系のスケール)

| | 現在 | 2010 | 2015 | 2020 | 2025 |
|------------------------------------|---------------------|------------------|---|------|-------------------------------------|
| 地上検出器 (10-1kHz) | LIGO(米) TAMA (日) | Ad. LIGO LCGT | ~10 event/yr のイベントレート | | |
| 宇宙検出器 長期線長がとれる 地球重力場変動の影響がない | | | LISA(NASA/ESA) 0.1mHz-10mHz 確実な重力波源 | | BBO DECIGO 0.1Hz帯 宇宙論的な重力波 |

重力波天文学 (2)

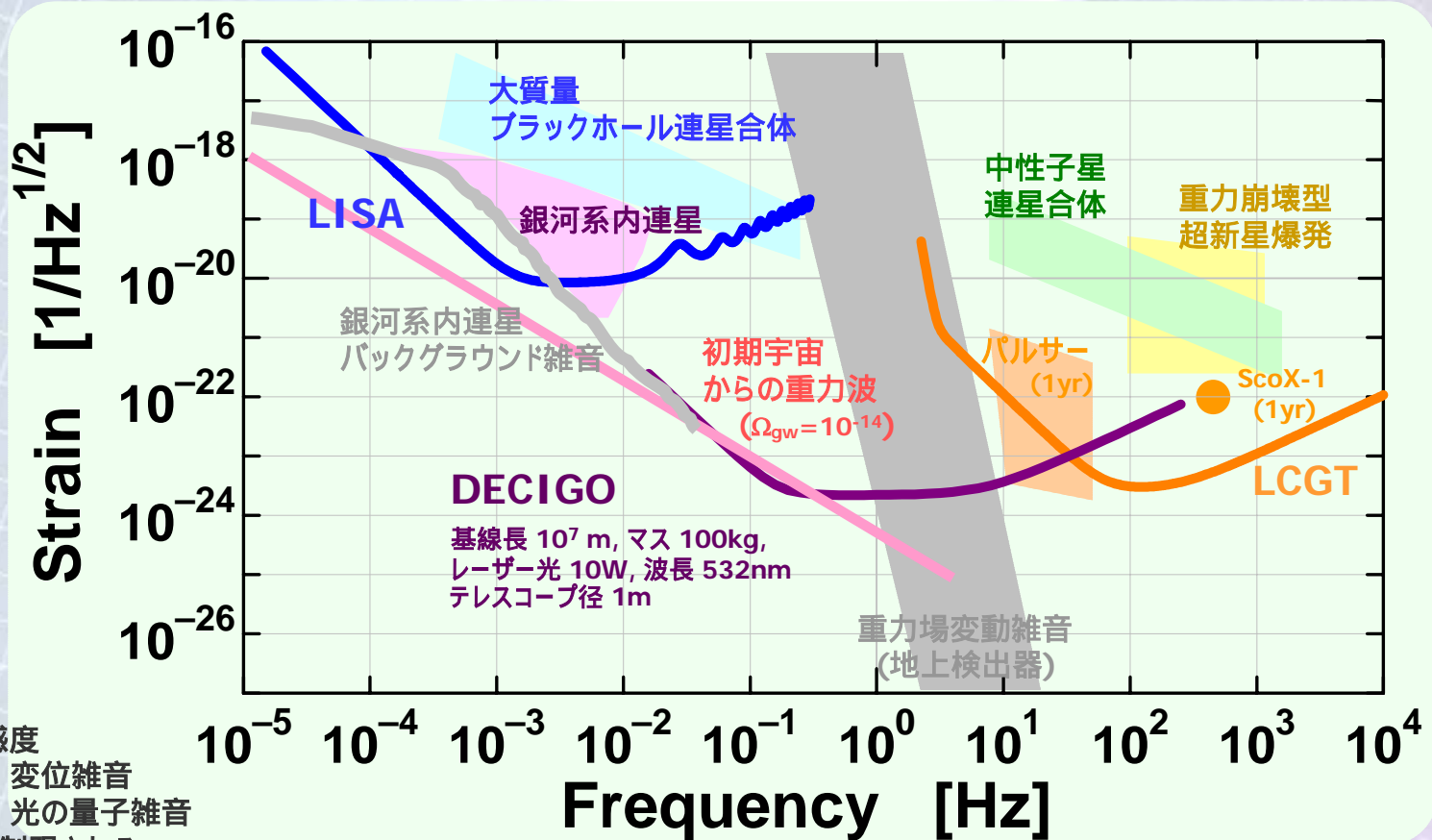
- 重力波源と検出器感度 -

● 重力波天文学

高感度化, 多波長化



電磁波と相補的な天文学・宇宙論
多様なスケールでの天文学・宇宙論

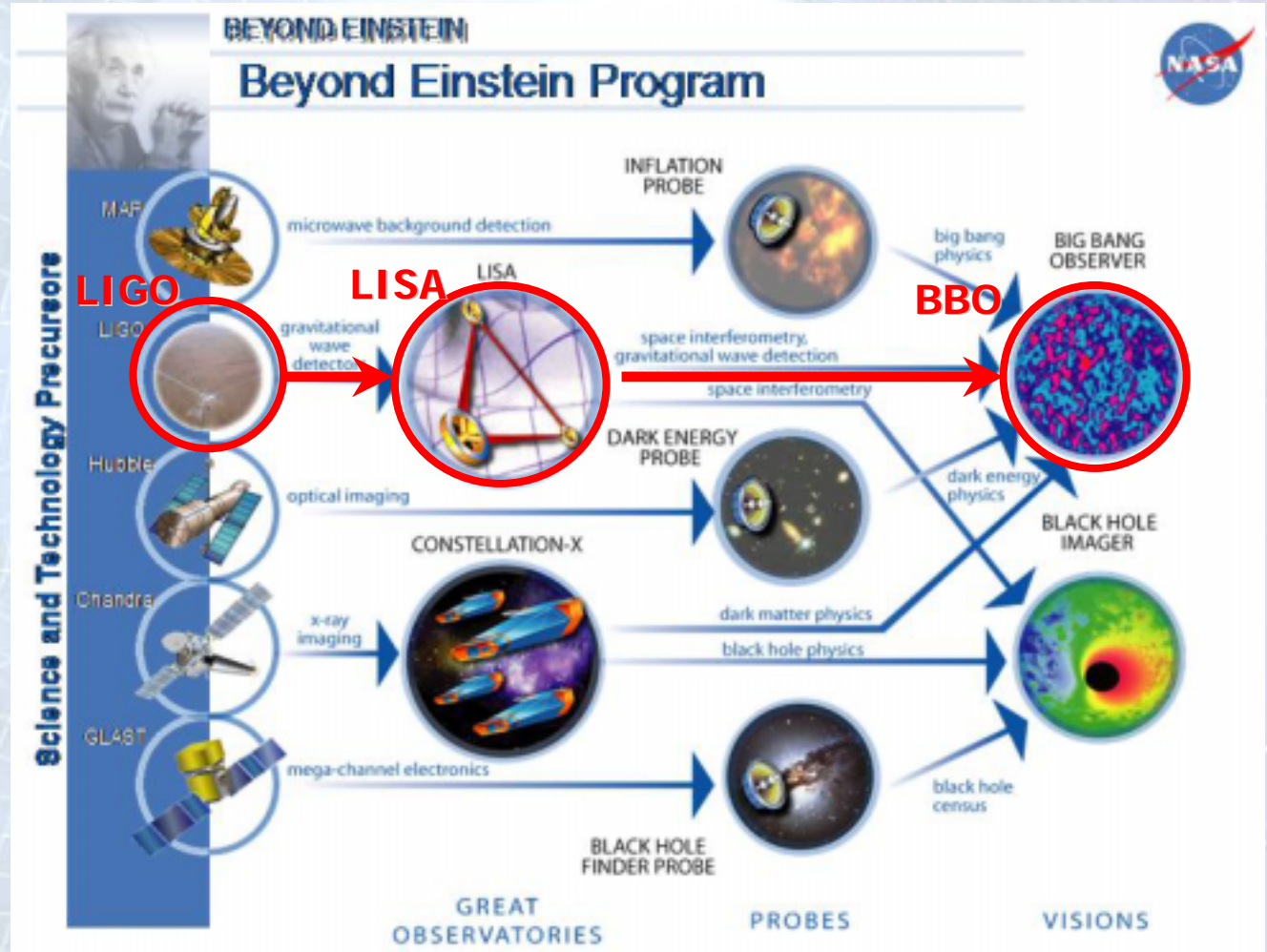


重力波天文学 (3)

- NASAロードマップ -

● NASA長期計画

重力波観測が
主要なプロジェクトの
1つ挙げられている



重力波天文学 (4)

- JAXA長期計画 -

● JAXA長期ビジョン (平成17年4月6日) より抜粋

○ これにより、その後の10年間において、

- 宇宙での最初の星や最初のブラックホールの観測を行うミッション、重力波を検出するようなミッションを実現することで宇宙の生い立ちの謎に迫る。また、太陽系外の地球型惑星の直接観測を実現し、生命の兆候を探索する。そのために編隊飛行技術、編隊観測技術により、地球周回軌道上やラグランジュ点に編隊飛行望遠鏡、干渉型高解像度望遠鏡、重力波望遠鏡等を展開する。

- 月、金星、水星の探査を進めることにより、太陽系、特に地球型惑星の今の姿を探る。また、先進的な深宇宙推進技術等による次世代の惑星間宇宙航行技術ミッションを実現するとともに、木星型惑星の探査の準備を行う。

○ これにより、その後の10年間において、

- 宇宙での最初の星や最初のブラックホールの観測を行うミッション、重力波を検出するようなミッションを実現することで宇宙の生い立ちの謎に迫る。また、太陽系外の地球型惑星の直接観測を実現し、生命の兆候を探索する。そのために編隊飛行技術、編隊観測技術により、地球周回軌道上やラグランジュ点に編隊飛行望遠鏡、干渉型高解像度望遠鏡、重力波望遠鏡等を展開する。

- 実現された次世代の惑星間宇宙航行技術、月探査を通じて獲得した惑星への着陸や惑星表面での移動のための技術を活用することで、木星型惑星や木星の小惑星の探査を中心に、太陽・惑星環境の多点観測や惑星内部探査、金星気球、火星大気圏での飛行機による惑星探査等を実施し、太陽系の生い立ちの謎に迫る。

○ さらに20年以降の将来では、



DECIGO

DECIGO (1)

- 概要 -

● DECIGO

(DECI-hertz interferometer Gravitational wave Observatory)

日本の将来のスペース重力波アンテナ

LISAと地上検出器の狭間の周波数帯を狙う

光共振型マイケルソン干渉計

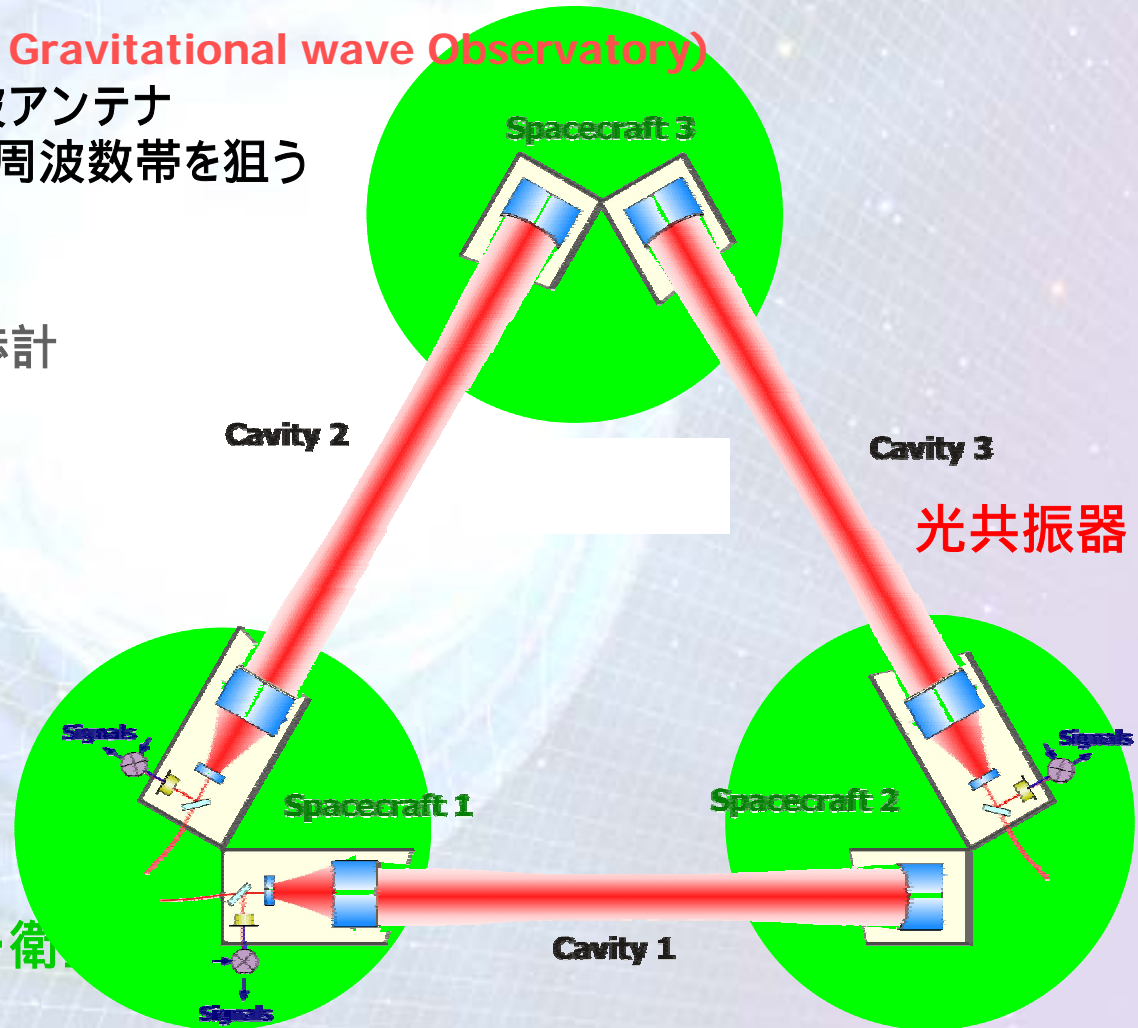
アーム長: 1000 km

レーザーパワー: 10 W

レーザー波長: 532 nm

ミラー直径: 1 m

ドラッグフリー衛星



DECIGO (2)

- 期待できるサイエンス -

● DECIGOの可能性

連星の合体といった重力波イベントの他に...

遠方の連星中性子星

→ 宇宙膨張加速度の直接計測

中規模質量ブラックホールの合体

→ 超巨大ブラックホール形成の謎

宇宙初期からの重力波

→ 宇宙創造の謎

全く新しい重力波源

→ 宇宙に対する概念の変化

DECIGO (3)

- 工学的問題点 -

光源

- 短波長で高パワー
- 周波数安定化
- 強度安定化
- 寿命
- 予備レーザーとの交換

計測・制御

- 大口径ミラー
- ロックアクイジション
- 姿勢制御
- 同相アーム長信号による周波数安定化
- CMRR

ドラッグフリー

- センサー
- アクチュエータ
- 衛星のつくる重力場
- 推力
- リリース機構

軌道

- アンテナ配置
- 推力の持続

衛星一般

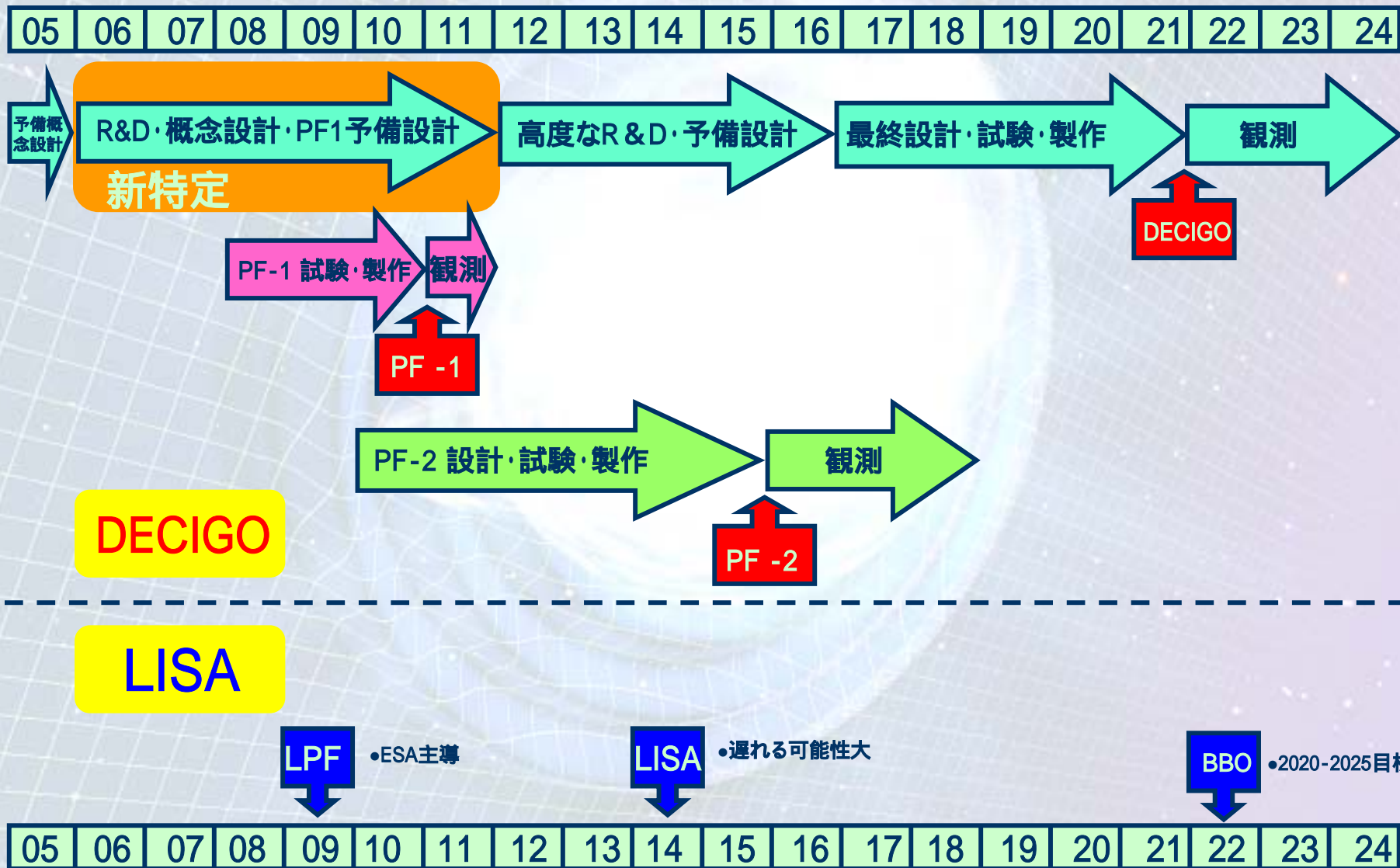
- 電力
- 通信
- 打ち上げ

宇宙環境

- 電磁波
- 宇宙線
- ドラッグ
- 温度変化

DECIGO (4)

- 実現へのロードマップ -





まとめ

おわりに

- 2002年ノーベル物理学賞 -

● プレスリリース (2002年10月8日, 日本語版) の抜粋 宇宙の2つの新しい窓

...本年度のノーベル物理学賞受賞者は、これら宇宙の超微小成分を用いて、太陽、星、銀河、超新星など、**超巨大なものに対する我々の理解を増進させた。この新しい知はわれわれの宇宙観を変えた。**

...Davisと小柴の仕事は予期せぬ発見や、**ニュートリノ天文学**という新しい力強い研究分野を導くに至った。

...Giacconiは、...われわれに新しいそしてシャープな宇宙観を提供してくれた。彼は**X線天文学**の礎を築いた。



新たな観測手段による, 新たな天文学・宇宙観



The Nobel Prize in Physics 2002

"for pioneering contributions to astrophysics, in particular for the detection of cosmic neutrinos"

"for pioneering contributions to astrophysics, which have led to the discovery of cosmic X-ray sources"



Raymond Davis Jr.

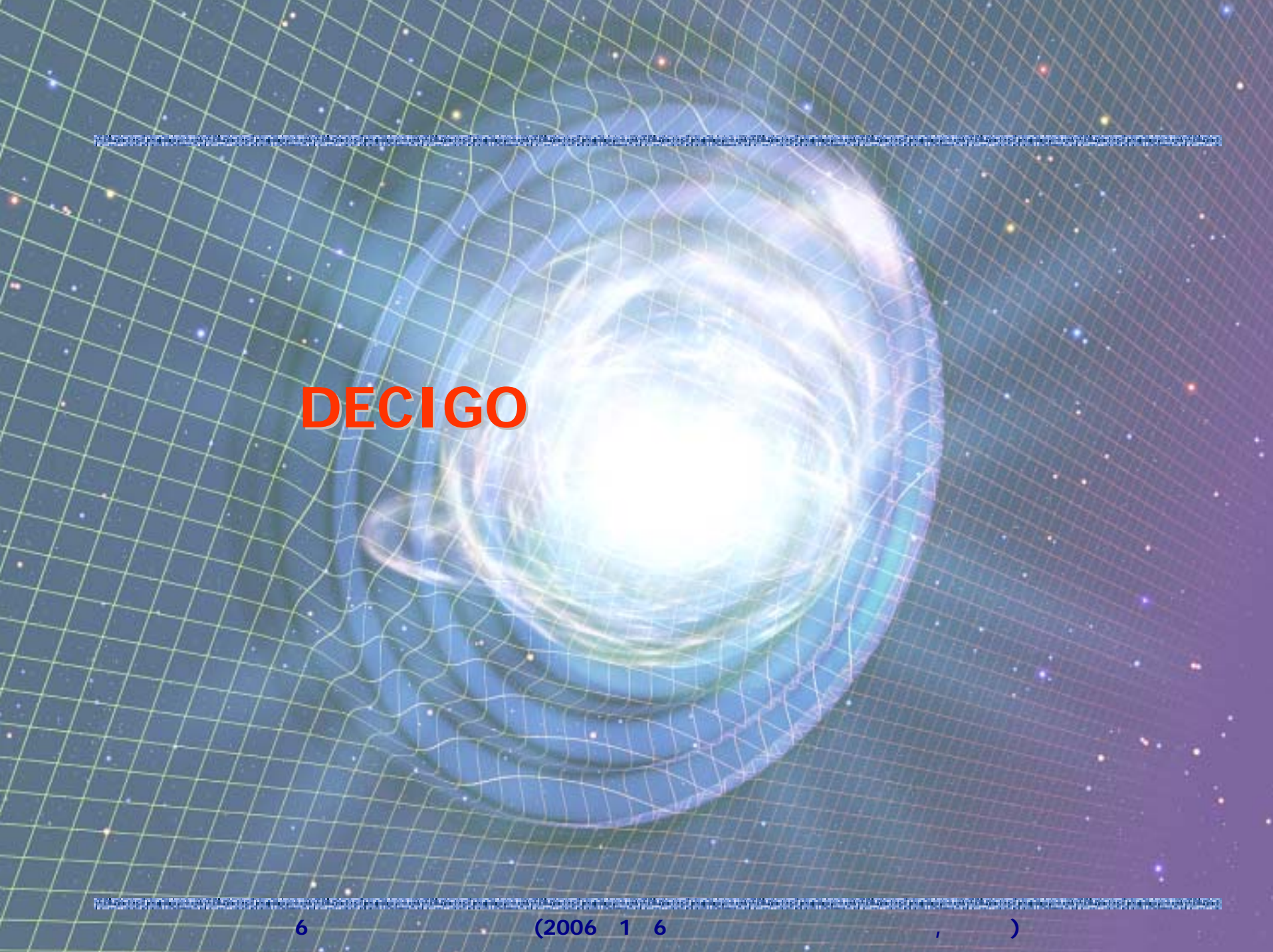


Masatoshi Koshiba



Riccardo Giacconi

<http://www.nobel.se/physics/laureates/2002/index.html>



**DECIGO等の重力波観測に
よって得られるサイエンスは
21世紀の天文学に
大きなインパクトを与えるであろう！**



終