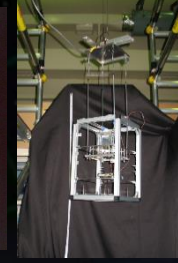
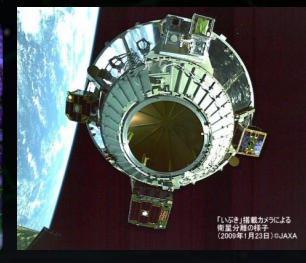
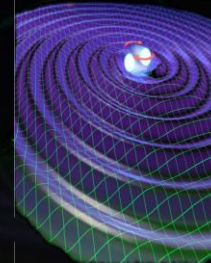
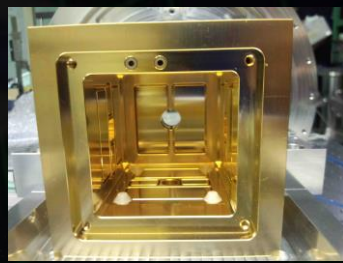
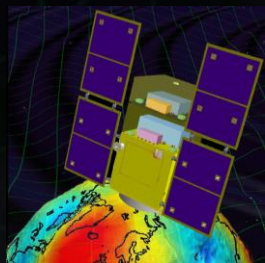


# 宇宙重力波望遠鏡DECIGO と Pre-DECIGO

安東 正樹 (東京大学 / 国立天文台)

DECIGO/DPF ワーキンググループ

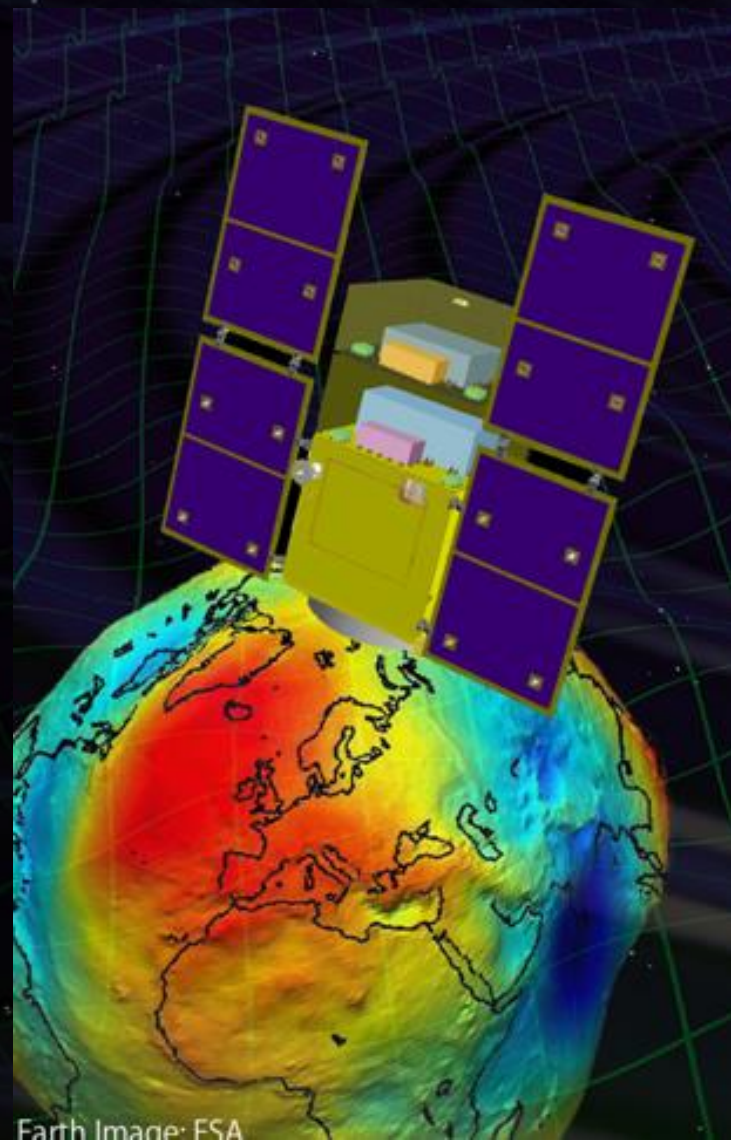




# DECIGO WG Members



安東正樹, 川村静児, 瀬戸直樹, 中村卓史, 坪野公夫, 佐藤修一,  
田中貴浩, 船木一幸, 沼田健司, 神田展行, 井岡邦仁, 高島健  
, 横山順一, 阿久津智忠, 武者満, 上田暁俊, 青柳巧介, 我  
妻一博, 浅田秀樹, 麻生洋一, 新井宏二, 新谷昌人, 池上健  
, 石川毅彦, 石崎秀晴, 石原秀樹, 和泉究, 市來淨與, 伊東  
宏之, 伊藤洋介, 井上開輝, 植田憲一, 牛場崇文, 歌島昌由,  
江口智士, 江尻悠美子, 榎基宏, 戎崎俊一, 江里口良治, 大  
石奈緒子, 大河正志, 大橋正健, 大原謙一, 大淵喜之, 岡田  
健志, 岡田則夫, 奥富弘基, 河島信樹, 川添史子, 河野功,  
木内建太, 岸本直子, 國中均, 國森裕生, 黒田和明, 黒柳幸子  
, 小泉宏之, 洪鋒雷, 郡和範, 穀山涉, 苔山圭以子, 古在  
由秀, 小鳶康史, 固武慶, 小林史歩, 権藤里奈, 西條統之  
, 齊藤遼, 坂井真一郎, 阪上雅昭, 阪田紫帆里, 佐合紀親  
, 佐々木節, 佐藤孝, 柴田大, 柴田和憲, 正田亜八香, 真貝寿明  
, 末正有, 杉山直, 鈴木理恵子, 諏訪雄大, 宗宮健太郎,  
祖谷元, 高野忠, 高橋走, 高橋慶太郎, 高橋弘毅, 高橋史宜  
, 高橋龍一, 高橋竜太郎, 高森昭光, 田越秀行, 田代寛之  
, 田中伸幸, 谷口敬介, 樽家篤史, 千葉剛, 陳たん, 辻  
川信二, 常定芳基, 豊嶋守生, 鳥居泰男, 中尾憲一, 中澤知  
洋, 中須賀真一, 中野寛之, 長野重夫, 中村康二, 中山宜典,  
西澤篤志, 西田恵里奈, 丹羽佳人, 能見大河, 橋本樹明, 端  
山和大, 原田知広, 疋田涉, 姫本宣朗, 平林久, 平松尚志  
, 福嶋美津広, 藤田龍一, 藤本真克, 二間瀬敏史, 細川瑞彦  
, 堀澤秀之, 前田恵一, 松原英雄, 松本伸之, 道村唯太, 宮川治  
, 宮本雲平, 三代木伸二, 向山信治, 森澤理之, 森本睦子  
, 森脇成典, 八木絢外, 山川宏, 山崎利孝, 山元一広,  
吉田至順, 吉野泰造, 柳哲文, 若林野花 (2015.5時点)



Earth Image: ESA



- **宇宙重力波望遠鏡のロードマップ**
- **Pre-DECIGO (JAXA中型計画)**
- **DECIGOの意義と概要**

# 重力波で宇宙を探る



背景画: NASA/WMAP Science Team



# 重力波による天文学

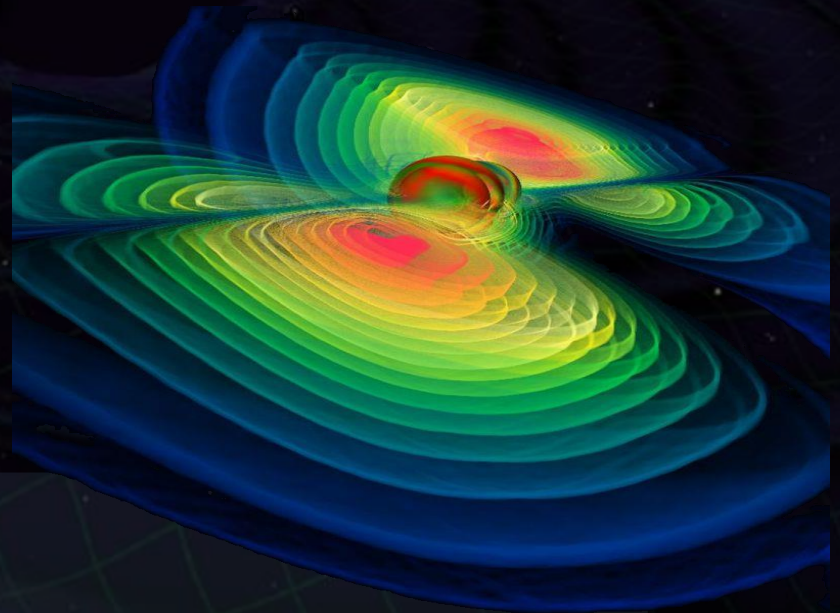
## 重力波の特徴

- ・質量の加速度運動から放射
- ・物質に対して強い透過力



## 宇宙を観測する新しい手段

- ・電磁波と相補的・独立な観測
- ・電磁波などでは見ることの出来ない現象  
初期宇宙, 高エネルギー天体现象の内部, 時空構造





# 宇宙重力波望遠鏡のロードマップ

Figure: S.Kawamura





# 宇宙重力波望遠鏡 Pre-DECIGO



## Pre-DECIGO

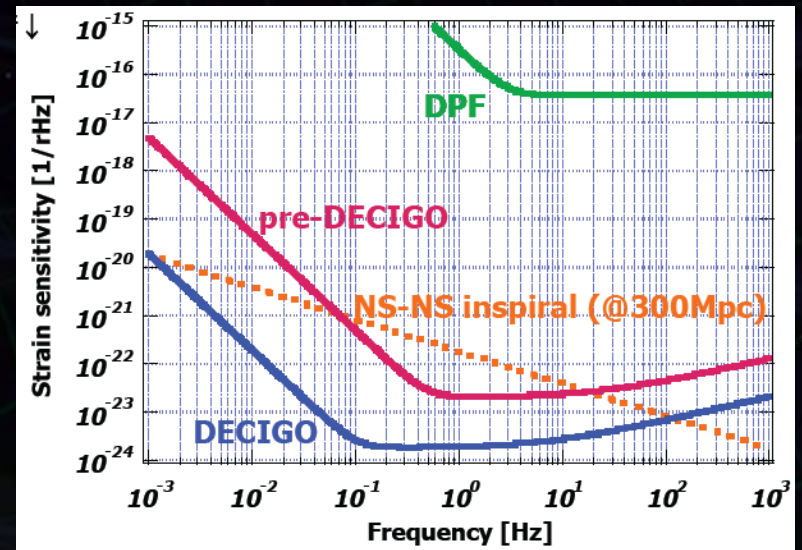
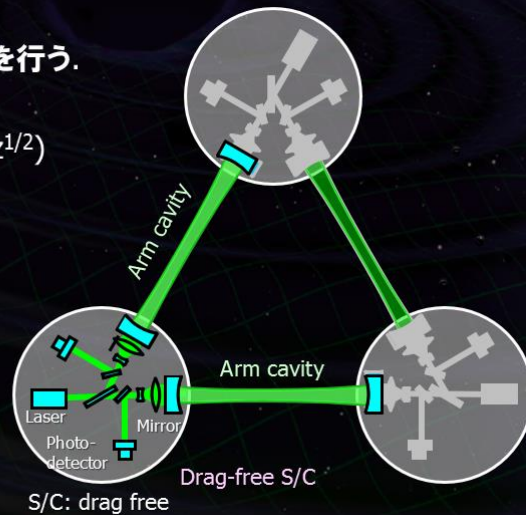
(Pre- DECI-hertz interferometer  
Gravitational wave Observatory)

**時空構造・銀河形成・高エネルギー天体現象**

**の解明を目指す宇宙重力波望遠鏡.**

- \* 0.1Hz付近の重力波の観測を行う。
- \* 歪み感度  $2 \times 10^{-23} \text{ Hz}^{-1/2}$   
(変位感度  $2 \times 10^{-18} \text{ m/Hz}^{1/2}$ )

Arm length: 100 km  
Finesse: 30-100  
Mirror diameter: 30 cm  
Mirror mass: 30 kg  
Laser power: 1 W  
Laser wavelength: 515 (532) nm





## ・科学的目的

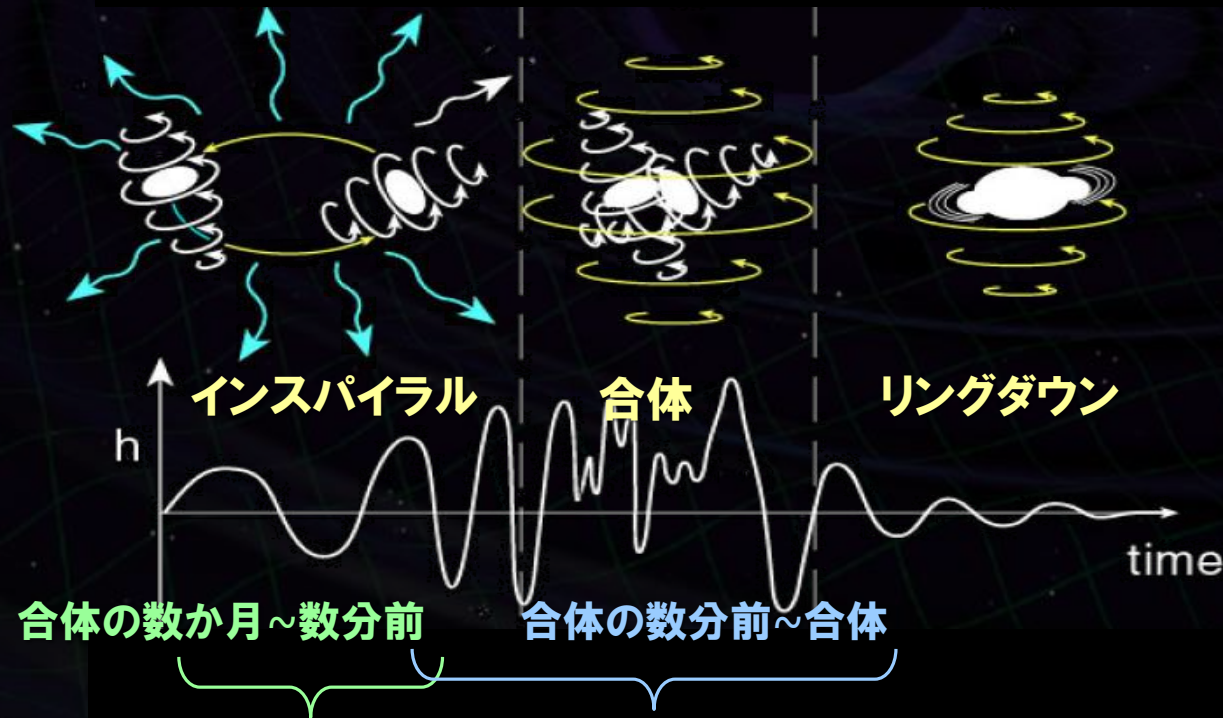
強重力・高密度天体からの重力波の観測による、  
時空構造・銀河形成・高エネルギー天体現象の解明。

## ・観測目標

- (1) 連星中性子星合体现象の観測。 [確実な観測対象]  
↑ 高エネルギー天体現象, 高密度天体の理解。
- (2) 中間質量BH連星合体の観測。 [独自の観測対象]  
↑ 宇宙の時空構造と銀河形成の解明。
- (3) DECIGOへ向けたフォアグラウンドの理解。 [将来への知見]  
連星中性子星のパラメータ推定と除去。

# 観測目標 (1) : 連星中性子星の合体

Pre-DECIGOでは,  $\sim 100$ 個/年 の連星中性子星イベントを観測.

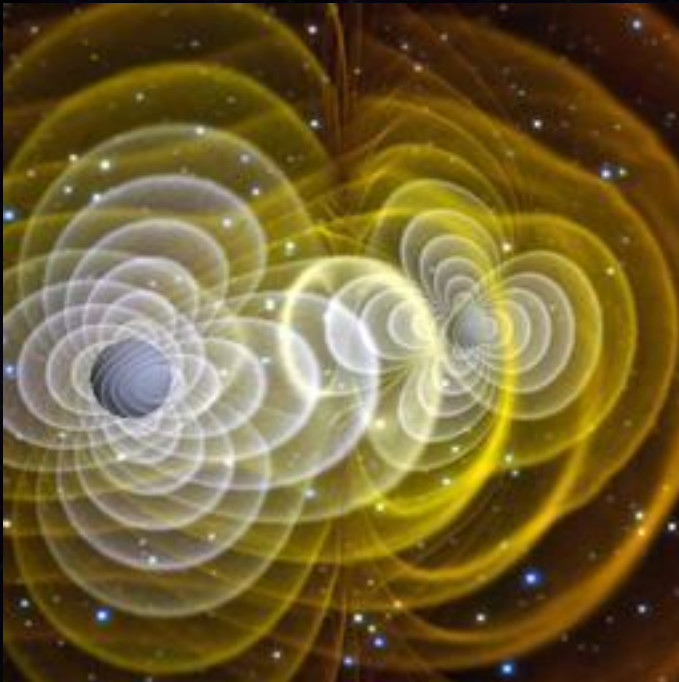


低周波数  $\rightarrow$  Pre-DECIGO  
質量, 軌道, 方向, 合体予測.

高周波数  $\rightarrow$  地上望遠鏡  
状態方程式, 高エネルギー現象.



Pre-DECIGOでは, ほぼ宇宙全体の中間質量BH合体を見通す.



銀河中心の超巨大BH形成の謎.

(A) 大質量星の崩壊 → 降着

(B) BHの階層的合体

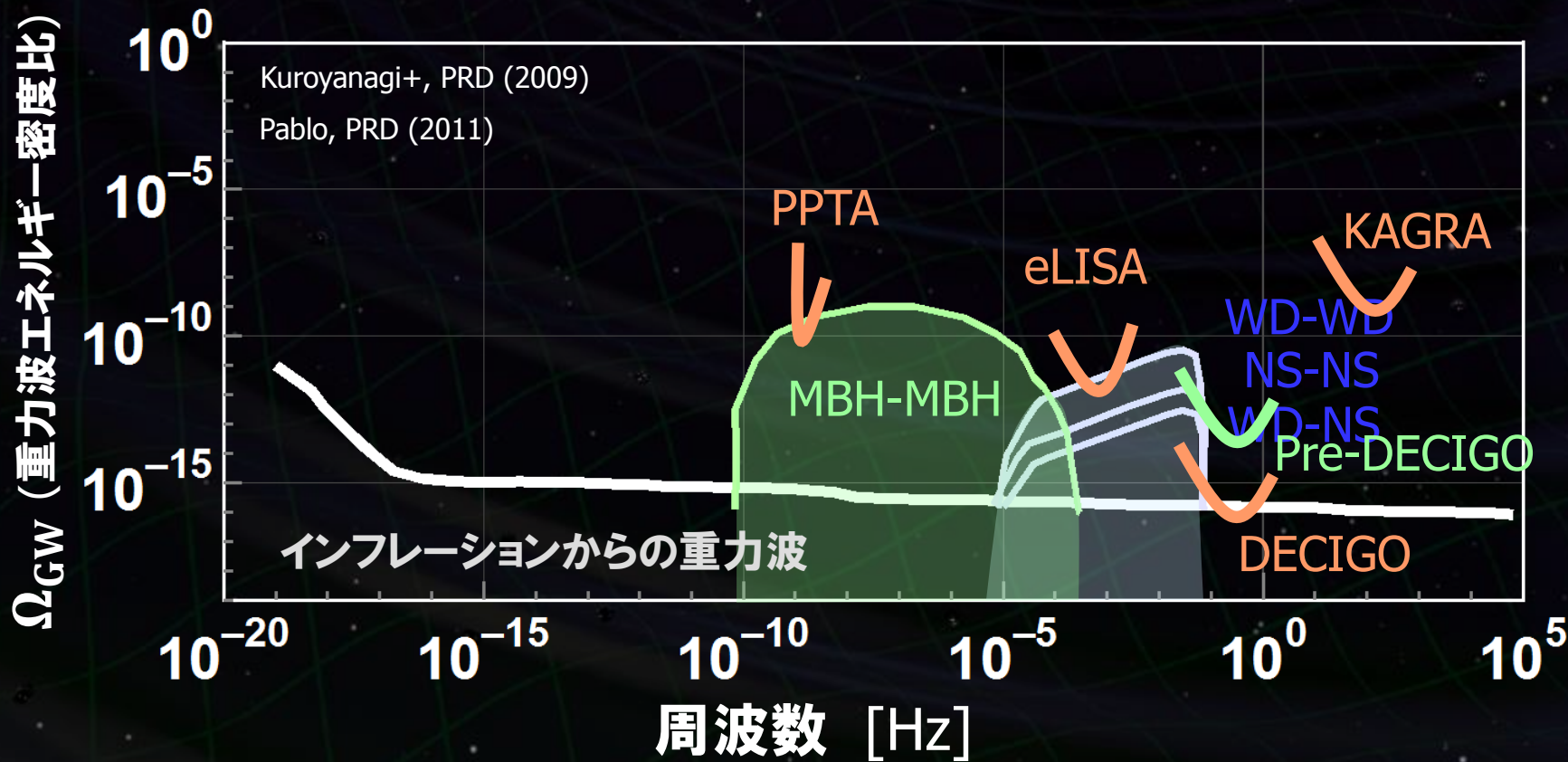
- Pre-DECIGO の観測によって,  
決定的な証拠が得られる可能性.
- 他の手段ではできない独自の観測.

# 観測目標 (3) : 前景重力波の理解

多くの連星系からの重力波 → 分離できない.

⇒ 原始重力波観測に対する **前景重力波雑音**

→ ~100個の系でパラメータ推定を行い理解を進める.





# Pre-DECIGOのミッション要求と構成

ミッション要求 :

歪み感度  $2 \times 10^{-23} \text{ Hz}^{-1/2}$  (0.1Hz付近)



\* 変位感度  $2 \times 10^{-18} \text{ m/Hz}^{1/2}$

\* 力の雑音  $1 \times 10^{-17} \text{ N/Hz}^{1/2}$

Arm length: 100 km

Finesse: 30-100

Mirror diameter: 30 cm

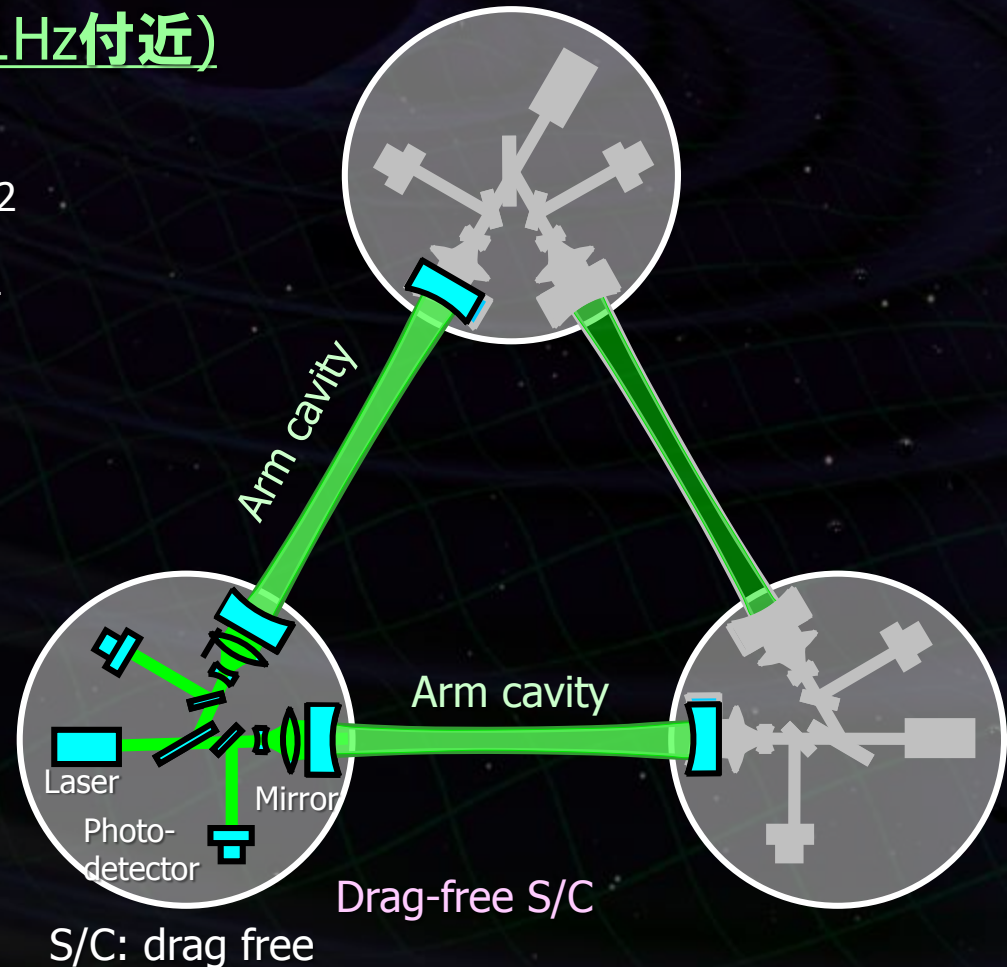
Mirror mass: 30 kg

Laser power: 1 W

Laser wavelength: 515 nm

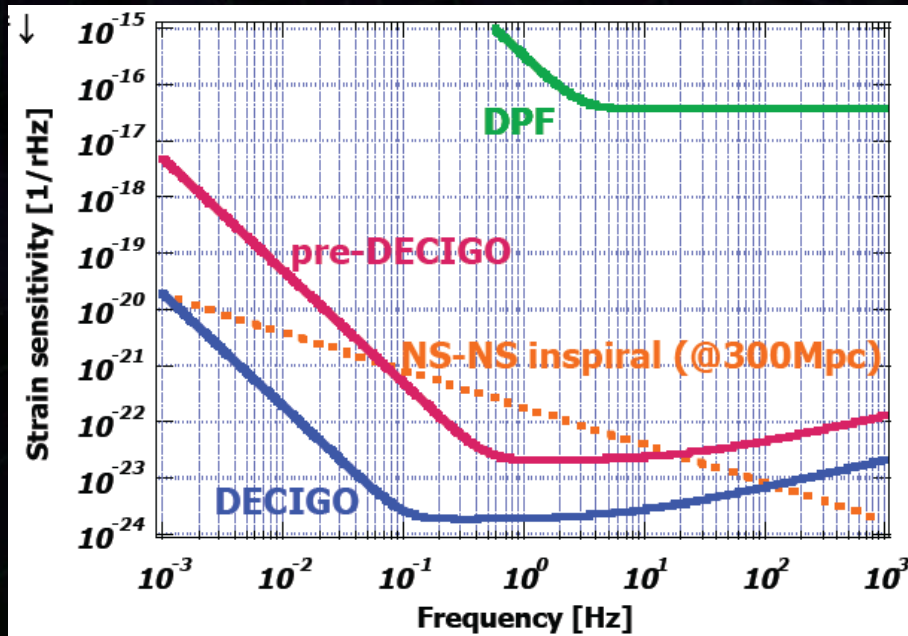
Orbit : TBD

(Record-disk around the Earth?)

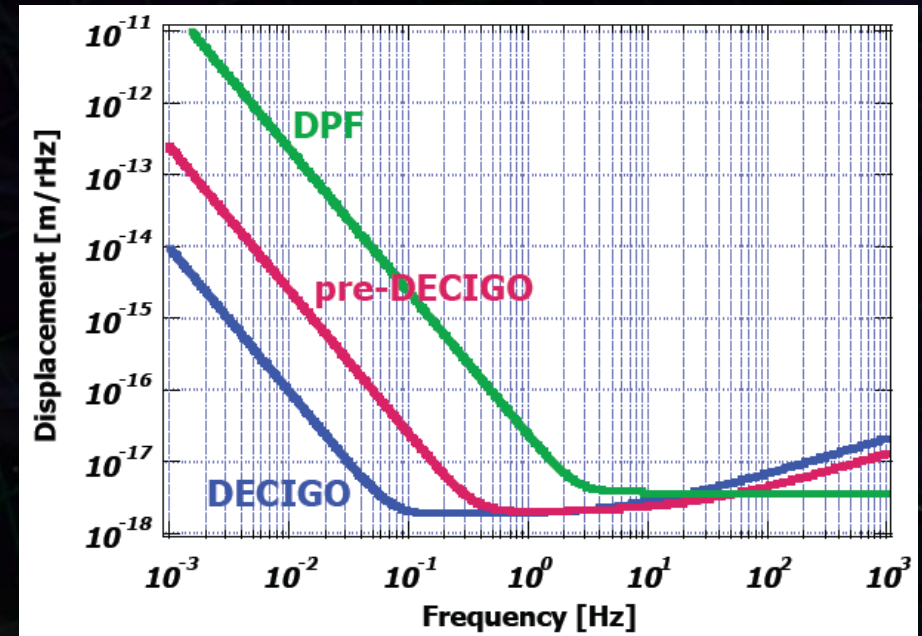


散射雑音, 力の雑音のみを考慮した原理的な到達限界感度.

## 歪み(重力波振幅)感度



## 変位感度



資料: 佐藤さん (法政大)



## •Pre-DECIGOの検討

- **最短 2018年のJAXA中型計画への応募を目指す。**
- サイエンス面, 技術面の両方から検討が進められている。
- 今年度中に概要を取りまとめる。

## •地上開発・実証

- **外部資金のサポート：科研費・基盤(A), JAXA戦略経費。**
- **根幹技術の開発：安定化光源, レーザー干渉計, 微小力測定, ドラッグフリー・スラスタ。**
  - DPFでの研究開発をPre-DECIGO向けに再定義。
- **航空機による無重力実験, 相乗りミッションの検討。**

P-063 Pre-DECIGOの設計

佐藤 修一 (法政大) ほか

P-064 Pre-DECIGO干渉計の開発

奥富 弘基 (総研大) ほか

P-065 DECIGO/Pre-DECIGOのための安定化光源

末正 有 (電通大) ほか



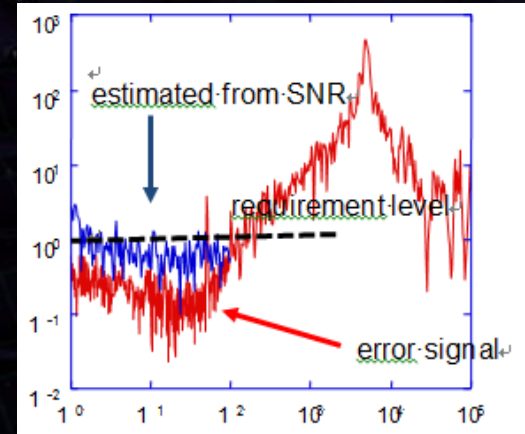
# 周波数安定化モジュール

## ・周波数安定化モジュールBBM1 (~2011, 電通大)

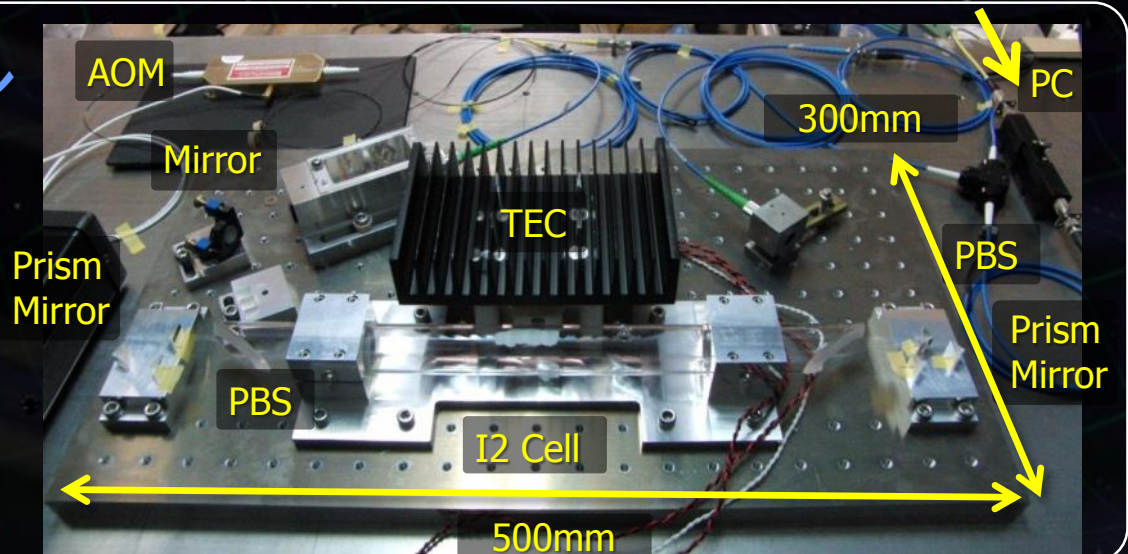
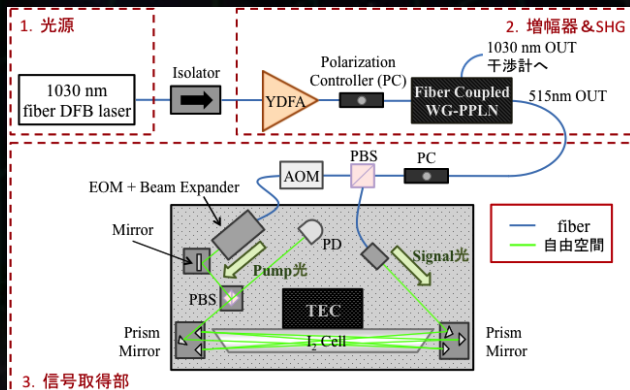
- ヨウ素セルを用いた周波数安定化.
- 安定度要求 ( $0.5 \text{ Hz}/\text{Hz}^{1/2}$ )を満たす.

## ・周波数安定化モジュールBBM2 (電通大)

- ファイバ素子を用い, 小型・軽量・堅牢化.
- SpWデジタル制御ボードによる動作.



## レーザー周波数安定化モジュール

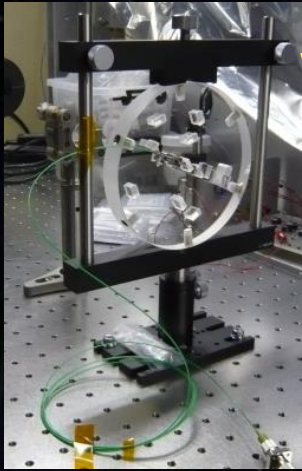




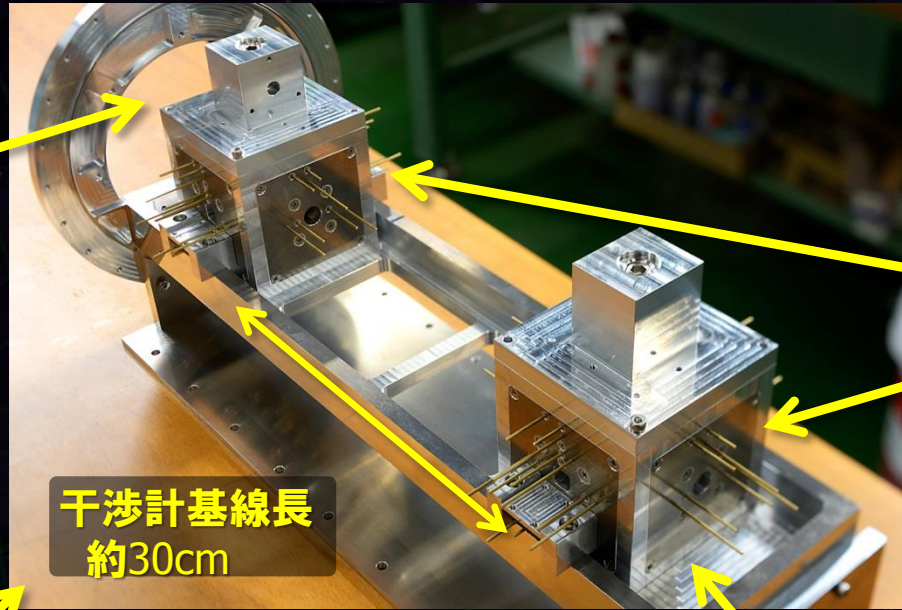
# 干渉計モジュール

## 入出射光学系

シリケートボンディングにより一体化



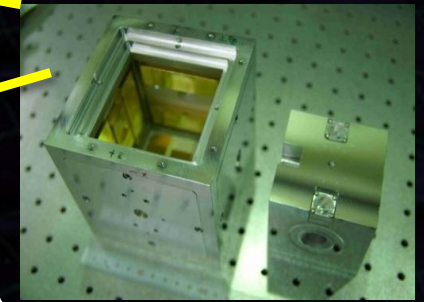
## 干渉計モジュール



干渉計基線長  
約30cm

## 試験マスモジュール

試験マス、静電センサ・アクチュエータ、ローンチロック



## 4分割RF フォトディテクタ

4分割PD + 復調回路  
干渉計基線長・角度の変動を取得



## SpW信号処理・ 制御ボード

SpW FPGA +  
16bit AD/DA  
干渉計の制御





# SWIMによる宇宙実証

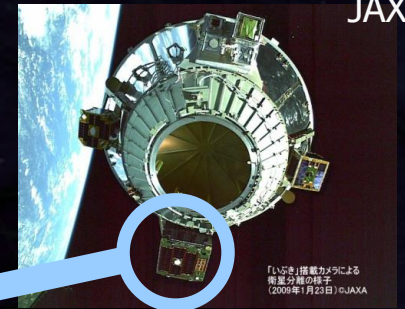


Photo:  
JAXA

## SDS-1搭載のSWIM (Space wire demonstration module)

2009年1月打ち上げ, 2010年9月運用停止

⇒ 世界で最初の 宇宙重力波検出器



「いぶき」搭載カメラによる  
衛星分解の様子  
(2009年1月23日) ©JAXA

### SpaceCube2: Space-qualified Computer

CPU: HR5000  
(64bit, 33MHz)

System Memory:  
2MB Flash Memory  
4MB Burst SRAM  
4MB Asynch. SRAM  
Data Recorder:  
1GB SDRAM  
1GB Flash Memory  
SpW: 3ch

Size: 71 x 221 x 171

Weight: 1.9 kg

Power: 7W



Photo by JAXA

### SWIMmn : User Module

Processor test board  
GW+Acc. sensor  
FPGA board  
DAC 16bit x 8 ch  
ADC 16bit x 4 ch  
→ 32 ch by MPX  
Torsion Antenna x2  
~47g test mass

Data Rate : 380kbps  
Size: 124 x 224 x 174  
Weight: 3.5 kg  
Power: ~7W

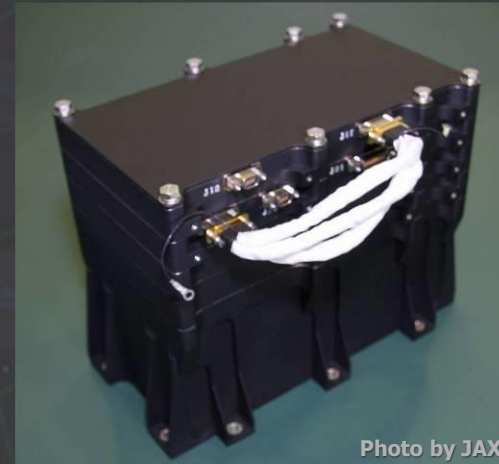


Photo by JAXA

SDS-1  
Bus System

Power +28V  
RS422 for CMD/TLM  
GPS signal

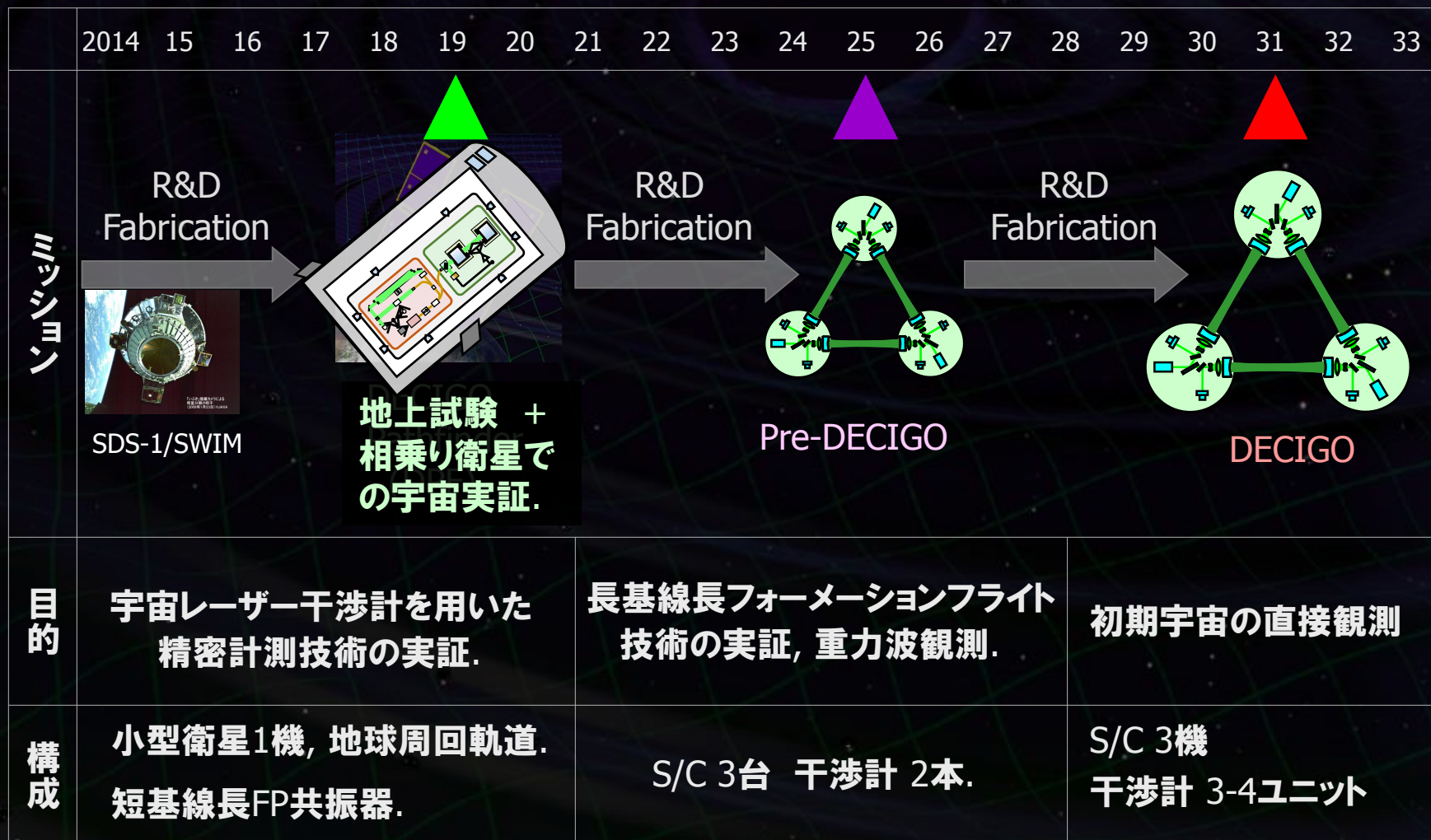
Power ±15V, +5V  
SpW x2 for CMD/TLM

# 宇宙重力波望遠鏡 DECIGO



# 宇宙重力波望遠鏡のロードマップ

Figure: S.Kawamura



# 宇宙重力波望遠鏡 DECIGO



**DECIGO** (DECI-hertz interferometer  
Gravitational wave Observatory)

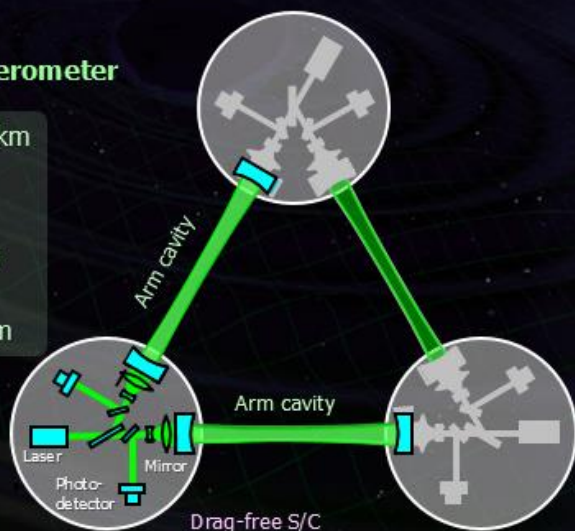
宇宙のはじまりを直接観測する。

ビッグバン宇宙論において、空間・物質の種が、  
いかに形成されたかを観測によって解き明かす。

Interferometer Unit:  
Differential FP interferometer

Arm length: 1000 km  
Finesse: 10  
Mirror diameter: 1 m  
Mirror mass: 100 kg  
Laser power: 10 W  
Laser wavelength: 532 nm

S/C: drag free  
3 interferometers



Direct probe to  
the history of the Universe



# 初期宇宙の観測



Background:  
original figure by  
NASA/WMAP Science Team

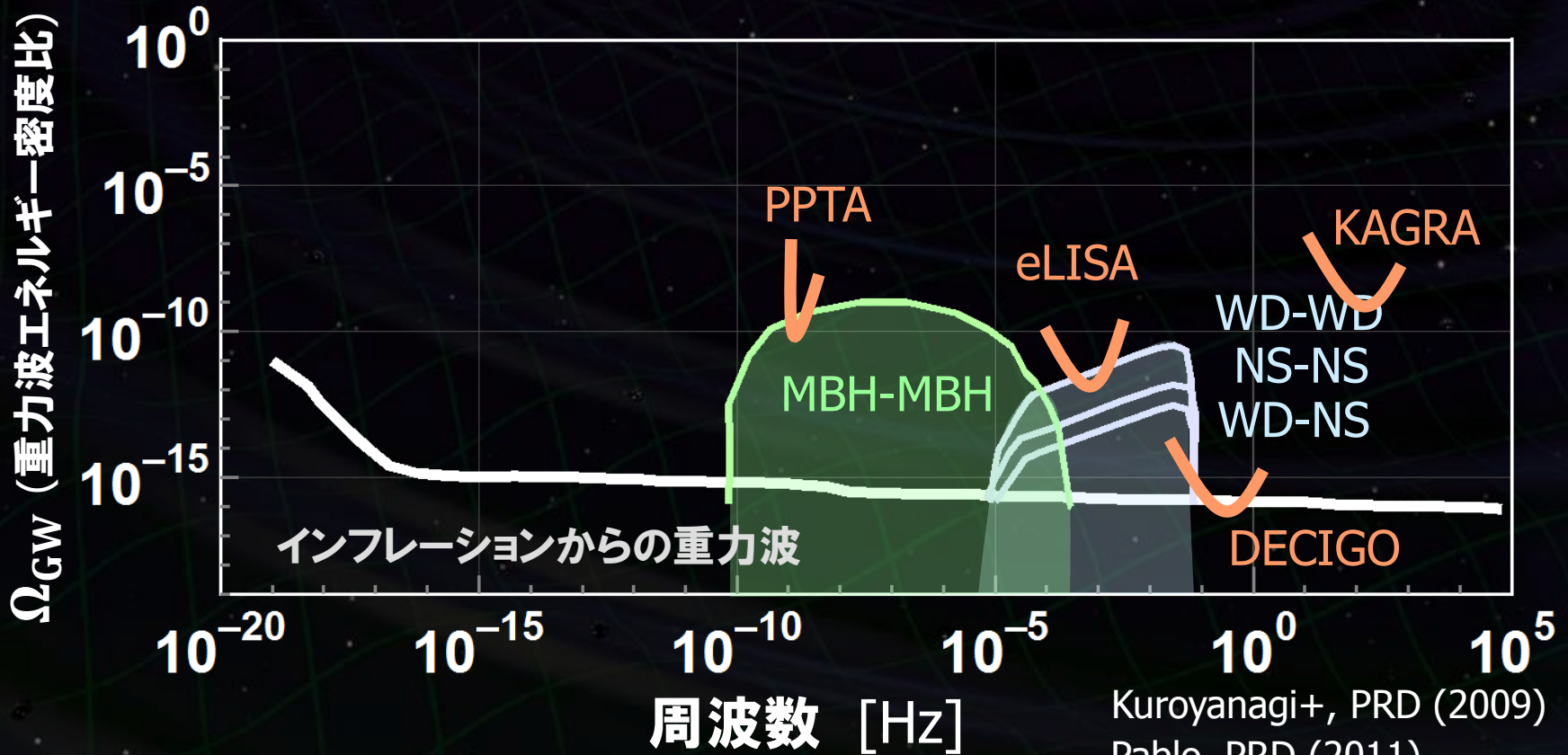


# 原始重力波観測の「窓」

多くの連星系からの重力波 → 分離できない.

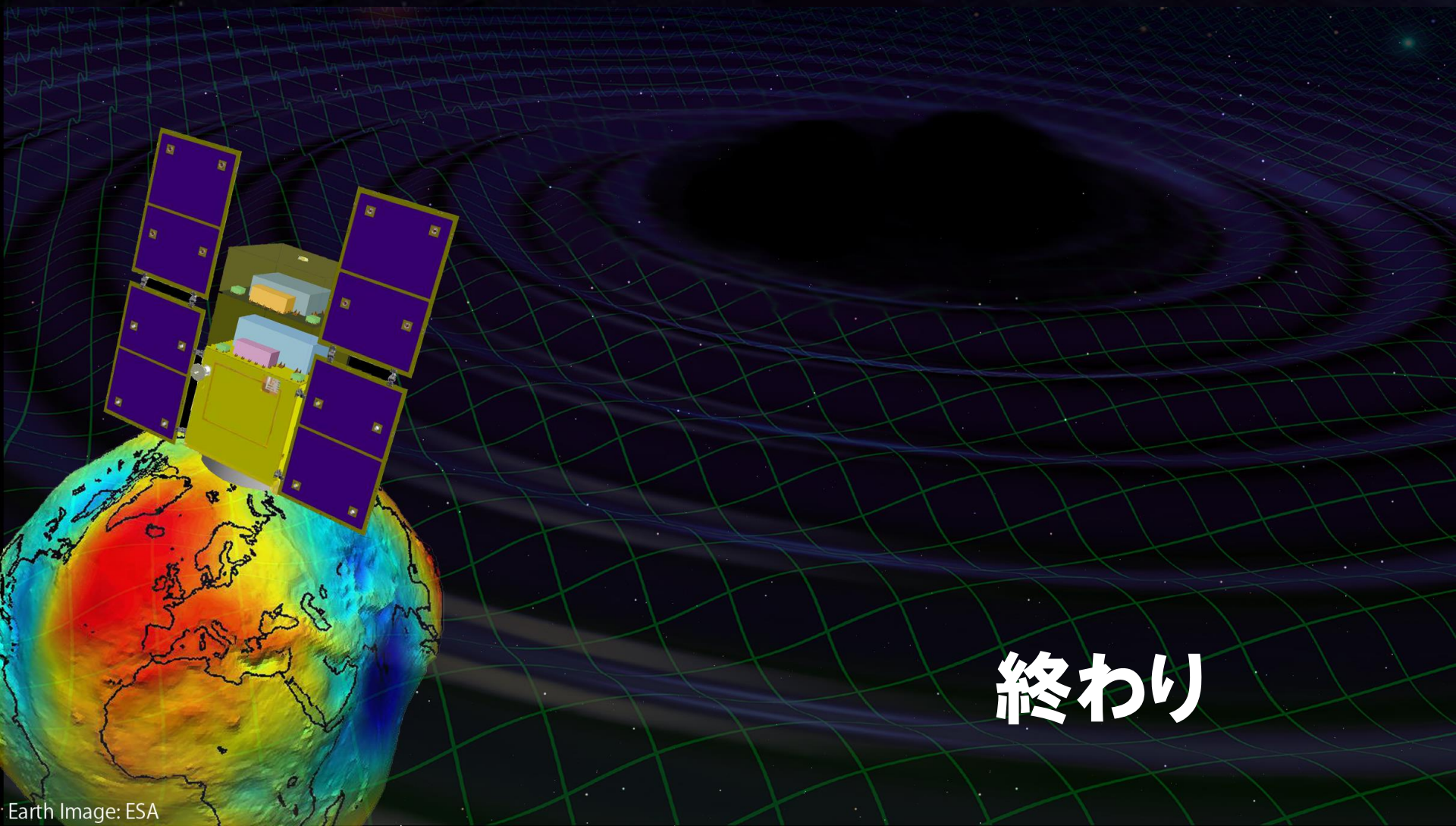
⇒  $10^{-10} - 0.1$  Hzの周波数帯で,

原始重力波観測に対する **Foreground雑音** となる.





- **宇宙重力波望遠鏡 Pre-DECIGO.**
  - 時空構造・銀河形成・高エネルギー天体現象の解明を目指す.
  - JAXA中型ミッションとしての実現を目指す.
    - \* 最短で2018年ミッション提案 → 2026-27年実現.
  - ミッション検討と技術開発.
    - \* 地上BBM/EM開発. 航空機実験.
    - \* 相乗りミッションでの宇宙実証.
- その先にある **DECIGO**は、宇宙の始まりを直接観測する、  
という非常に大きな科学的価値をもつ計画である.



終わり

Earth Image: ESA



# 補助スライド

# LISA Pathfinderの打ち上げ

- 2015年12月3日 技術実証衛星LISA Pathfinderの打ち上げ。  
→ 2016年3月 サイエンスラン開始, 2016年6月頃に初期結果.



Launch of LISA Pathfinder. Credit: ESA-Stephane Corvaja, 2015



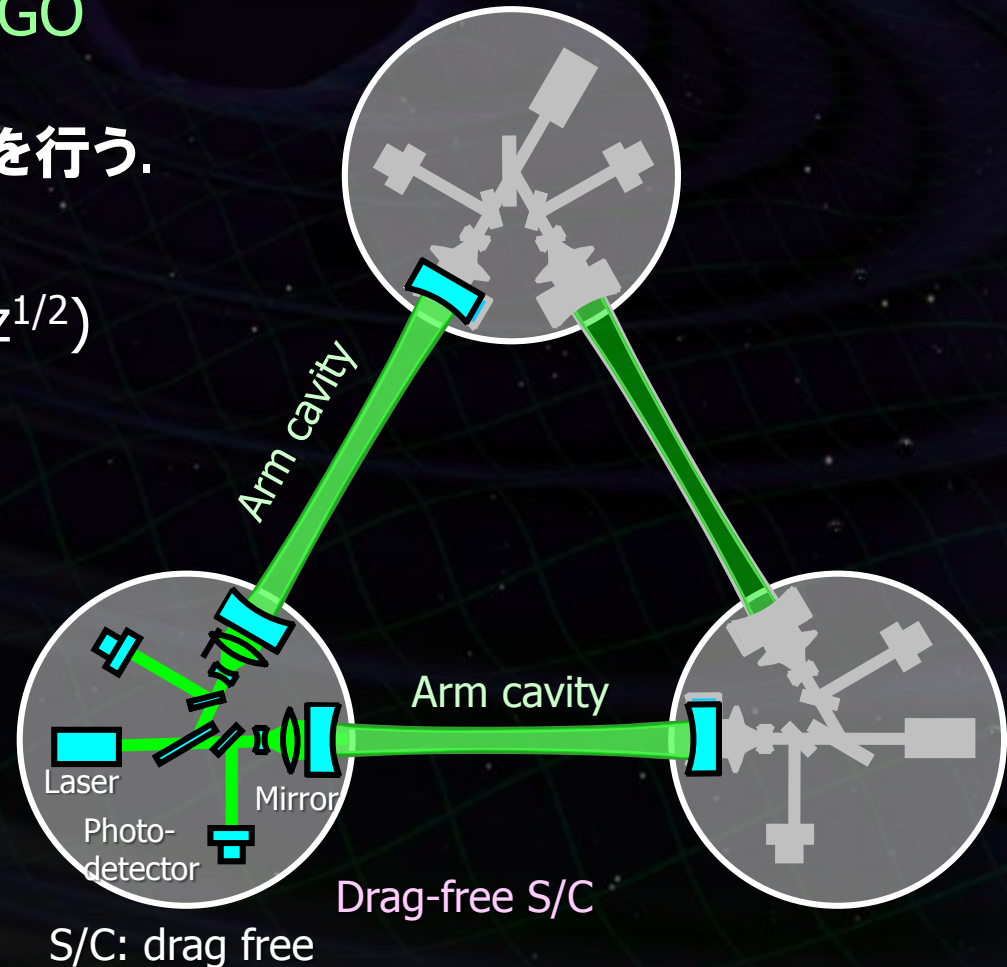
**宇宙重力波望遠鏡へ向けた本格的な一歩.**



## 宇宙重力波望遠鏡 Pre-DECIGO

- \* 0.1Hz付近の重力波の観測を行う。
- \* 歪み感度  $2 \times 10^{-23} \text{ Hz}^{-1/2}$   
(変位感度  $2 \times 10^{-18} \text{ m/Hz}^{1/2}$ )

Arm length:	100 km
Finesse:	30-100
Mirror diameter:	30 cm
Mirror mass:	30 kg
Laser power:	1 W
Laser wavelength:	515 (532) nm



- **今後5年程度**: サイエンス/ミッション検討, 根幹技術開発.
  - 根幹技術は個々に技術成熟度向上をはかる (~5年).
  - 相乗り衛星等の機会の模索.
  - 航空機実験などによる実証, 環境試験.
- **今後10年程度**: Pre-DECIGO(仮)の実現を目指す.
  - 重力波観測を目的とした**サイエンスミッション**.
  - **DECIGOの1/10スケール**.
  - JAXA中型ミッション (300億円). 国際協力の可能性.
- **その後**, DECIGOの実現を目指す.
  - 初期宇宙の観測をミッション目標とする.
    - そのためのミッション要求・システム要求の明確化必要.
  - 国際協力戦略は要検討.



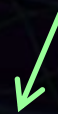
- さまざまな周波数帯で原始重力波観測を観測することで宇宙の進化の情報を得ることが可能.
- インフレーションからの重力波観測には低周波数が有利.
- 0.1Hz以下の周波数帯では, フォアグラウンド重力波が存在.



インフレーションからの重力波観測には,  
0.1 -1 Hzの周波数帯が良い.

$$\Omega_{GW} \sim 10^{-16} - 10^{-15}$$
$$\rightarrow \tilde{h}_{GW} \sim 10^{-24} \text{ Hz}^{-1/2} (@ 0.1\text{Hz})$$

- 重力波 – 強い透過力を持ち, 初期宇宙の情報を伝える.
- スペクトルの形 : 初期揺らぎ + 宇宙進化の歴史.



CMB Bモード偏光から  
もある程度推定可能.

観測周波数と宇宙の時代が対応.  
高周波数 → より初期宇宙の情報.  
- Reheating温度(物質の種の形成)  
- 宇宙の熱進化史 ....

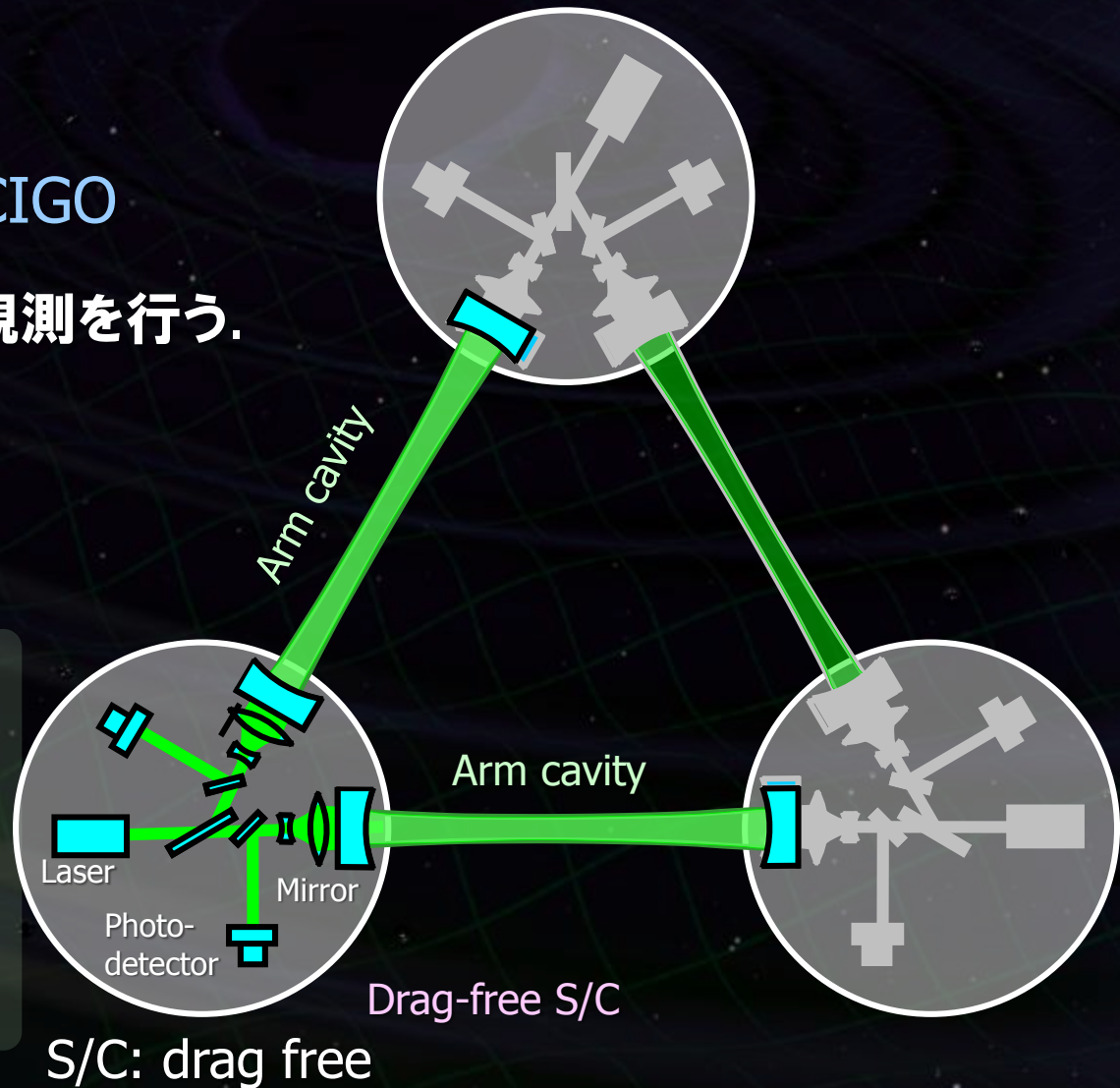
⇒ インフレーション期とBBN期の間の情報  
→ CMB-B偏光観測と相補的な観測.



## 宇宙重力波望遠鏡 DECIGO

0.1Hz付近の重力波の観測を行う。

Arm length:	1000 km
Finesse:	10
Mirror diameter:	1 m
Mirror mass:	100 kg
Laser power:	10 W
Laser wavelength:	532 nm

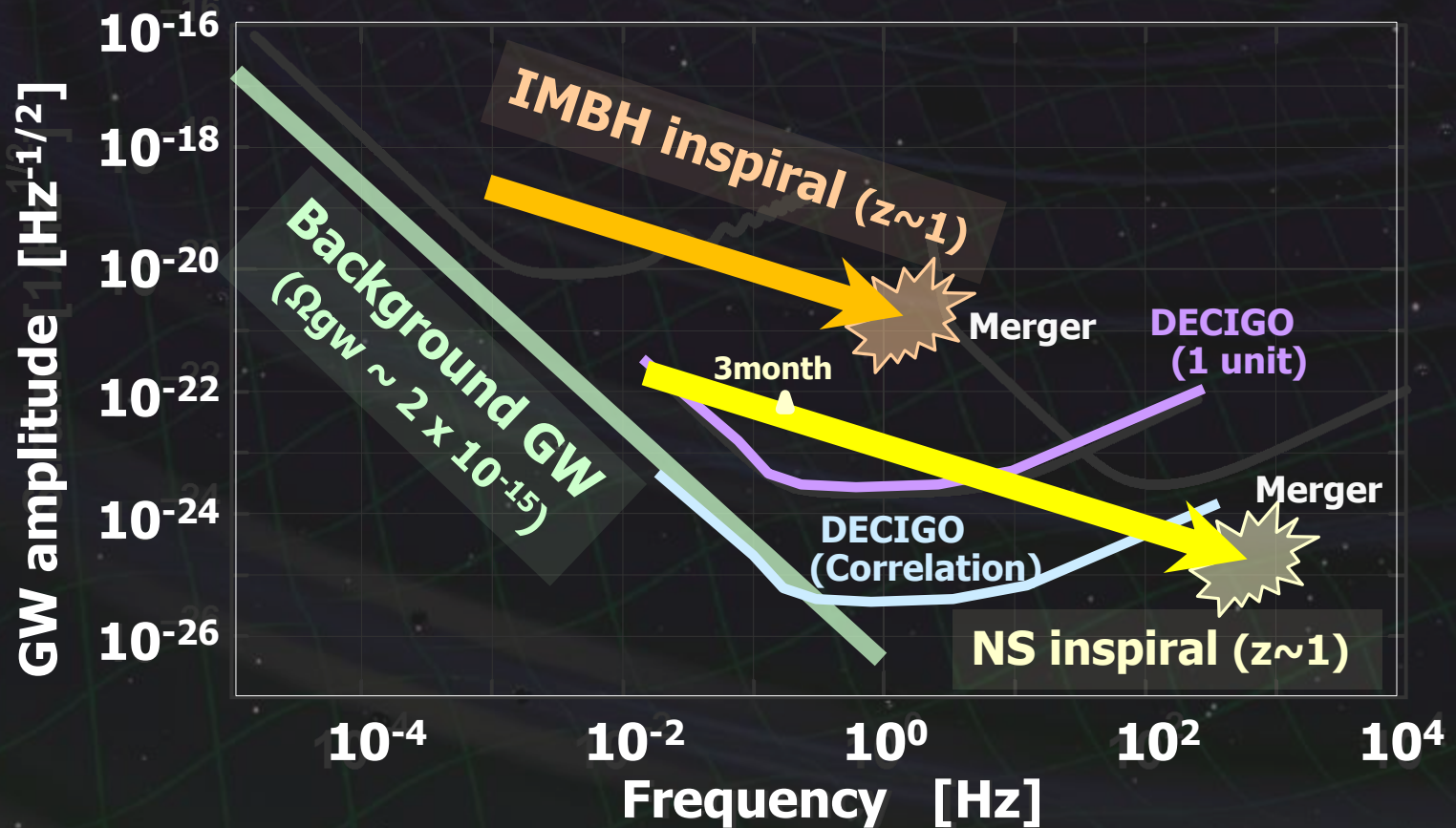


# DECIGOの観測対象

中間質量BH 連星の合体  
中性子星 連星の合体  
宇宙背景重力波



宇宙の成り立ちと進化  
銀河・超巨大BHの形成





# インフレーションの重力波観測

BICEP2, (POLARBEAR,...)

マイクロ波望遠鏡を用いた  
宇宙背景放射 B-mode偏光  
成分の観測.

DECIGO, (KAGRA, aLIGO,...)

重力波望遠鏡を用いた  
宇宙背景重力波の観測.

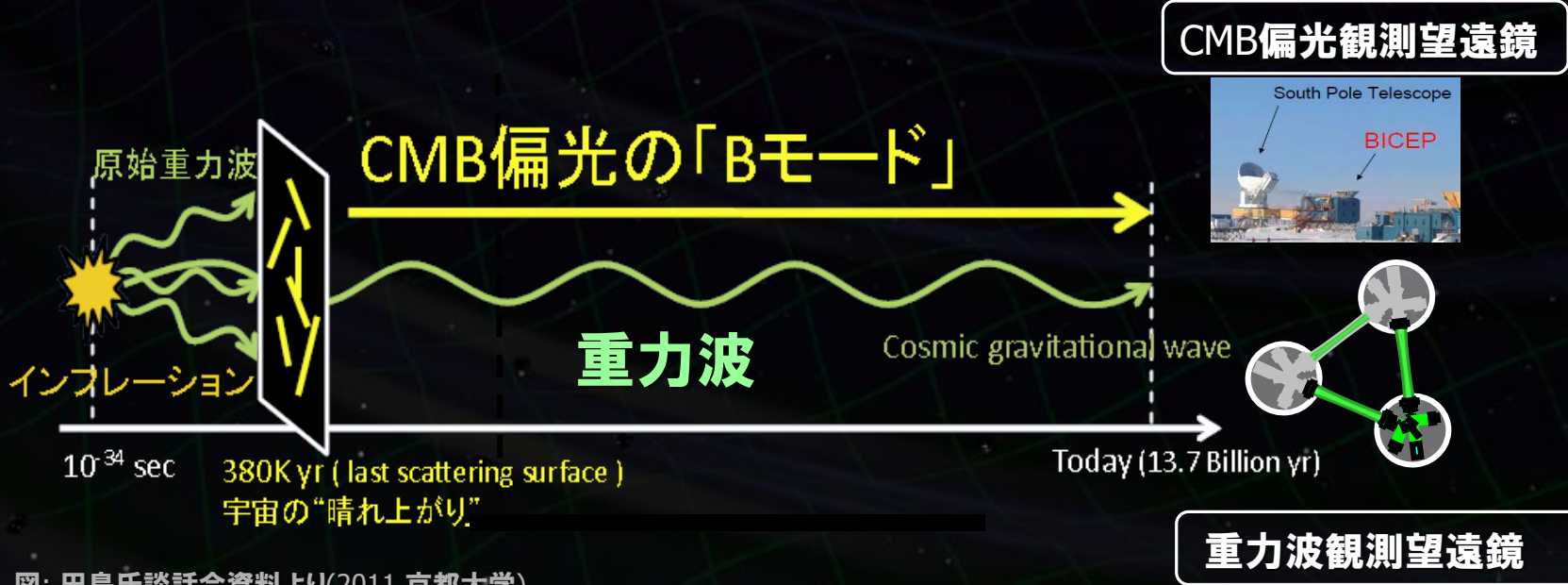
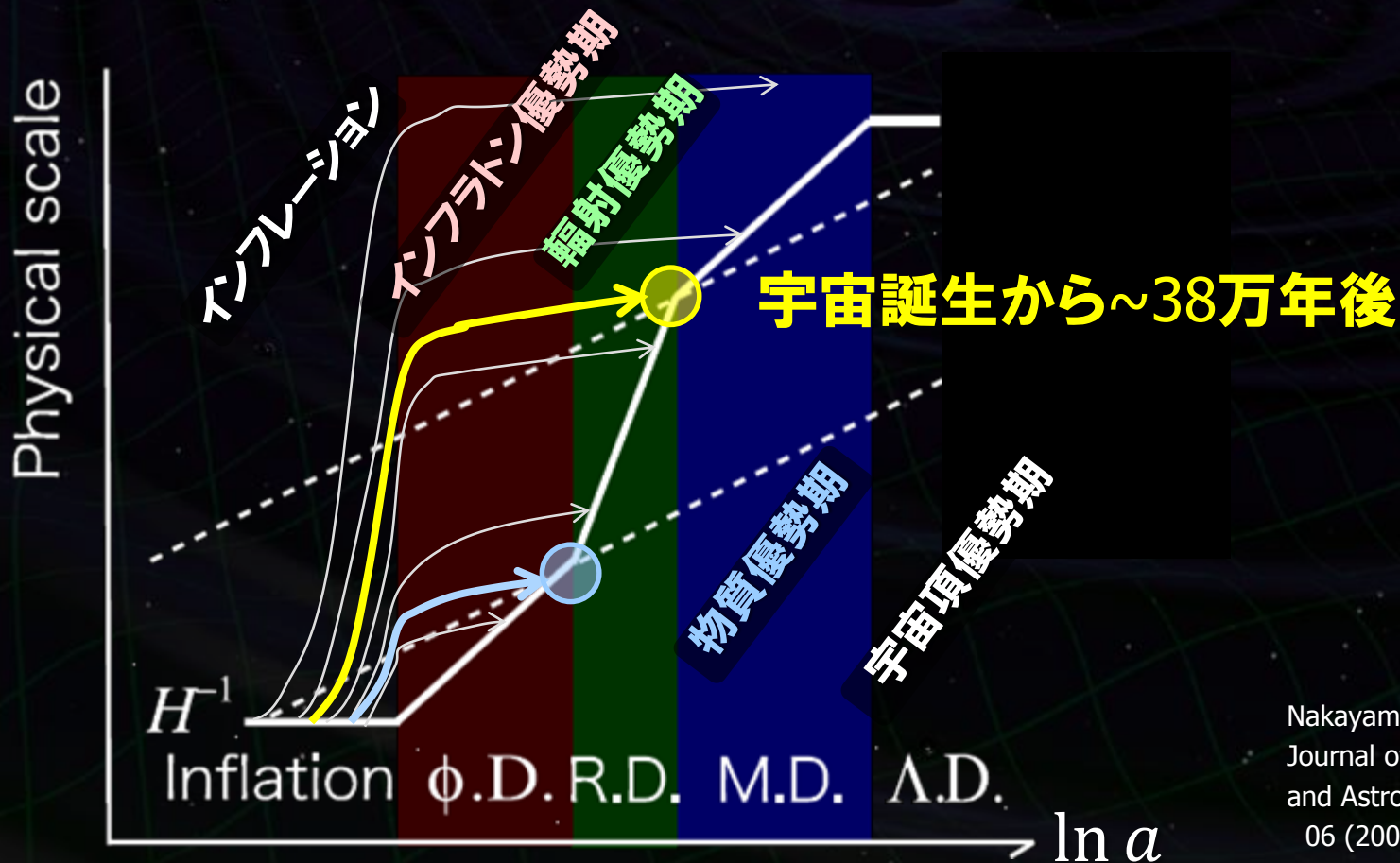


図: 田島氏談話会資料より(2011 京都大学)

# インフレーションからの重力波

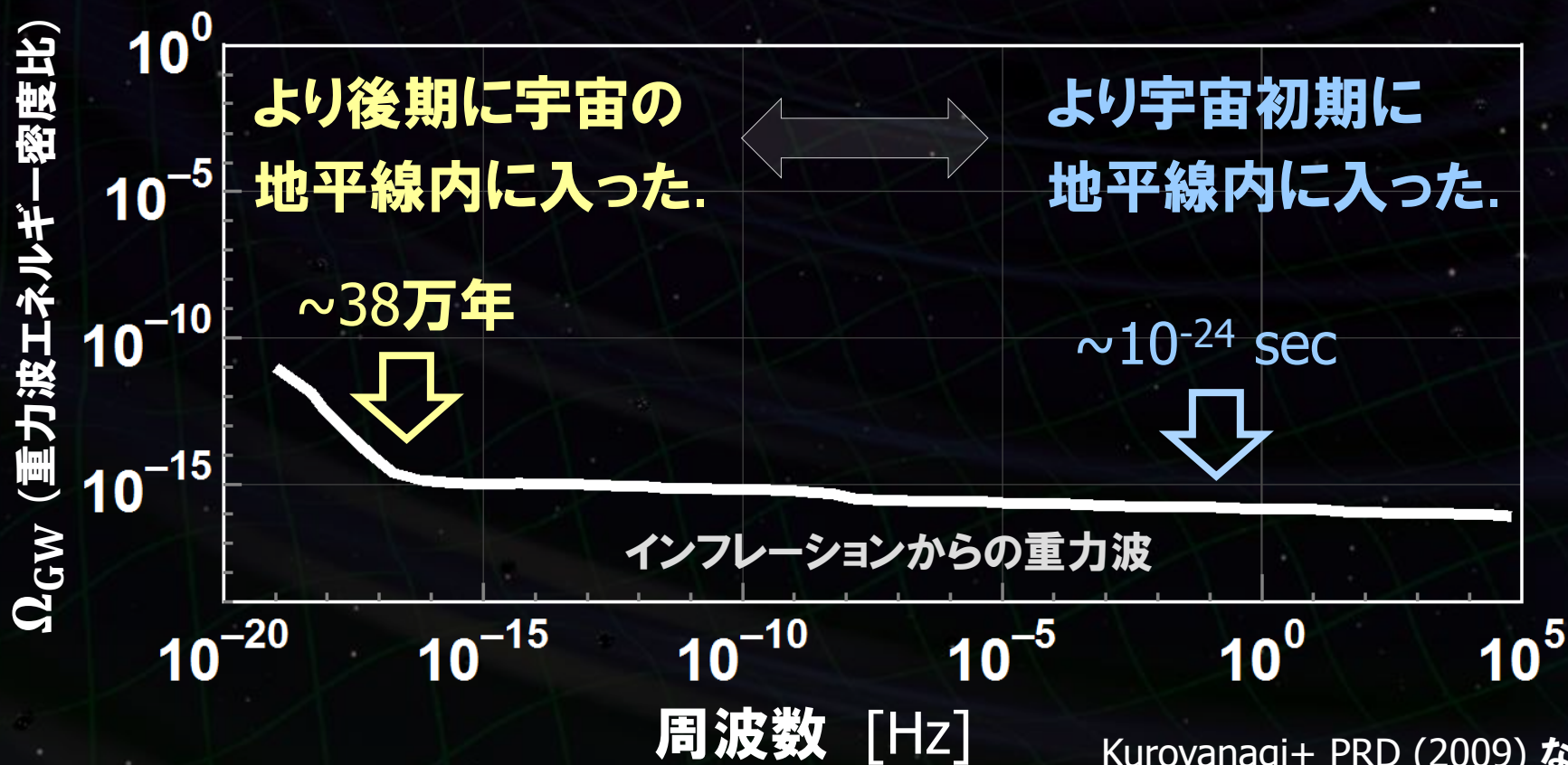
計量の量子揺らぎとして生成 → 初期に生成された重力波ほど、長くインフレーションで引き延ばされ、最近に宇宙の地平線内へ。



Nakayama+,  
Journal of Cosmology  
and Astroparticle Physics  
06 (2008) 020.



初期に地平線内入ってきた重力波ほど高周波.



- 重力波の周波数  $\sim$  (光の速度)/(波源の空間スケール)
  - 初期宇宙からの背景重力波の周波数は、それが放射された際の**宇宙のスケール(+赤方偏移補正)**に対応。

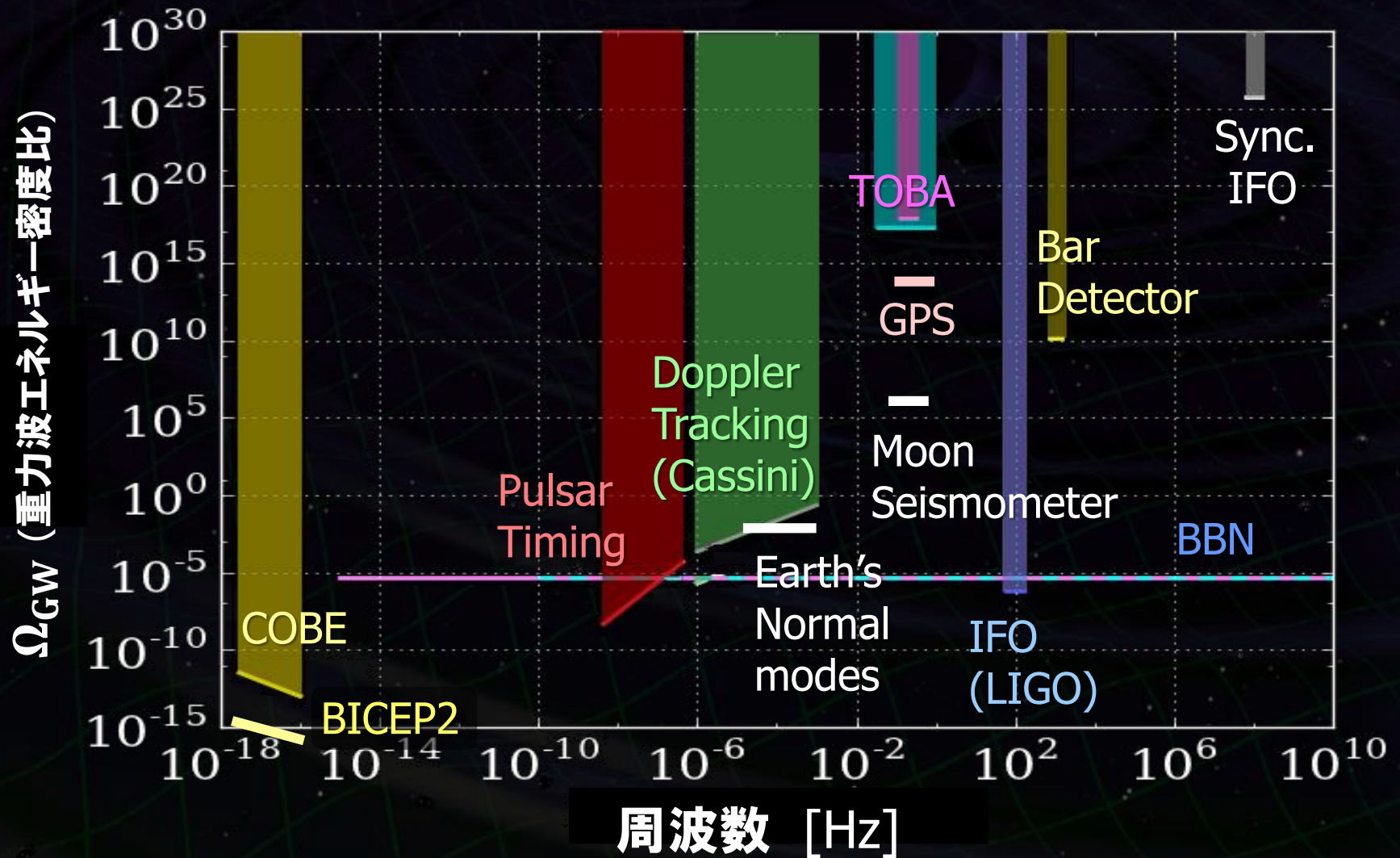


高い周波数ほど、より初期の宇宙を見ることになる。

- インフレーション起源の重力波: ほぼエネルギー一定スペクトル。
  - 重力波振幅  $h$  は、**高周波数帯では振幅が小さくなる。**
  - 地上での観測 ( $\sim 100\text{Hz}$ ): 振幅が小さい。地面振動の影響。
  - **DECIGO ( $\sim 0.1\text{Hz}$ )** : **背景重力波に対して開けた周波数帯。**
  - eLISA ( $\sim 1\text{mHz}$ ) : 白色矮星連星によるフォアグラウンド。



# 背景重力波探査の現状



原図 : Shoda+, PRD (2013)

重力波のエネルギー密度比


重力波のエネルギー密度

$$\Omega_{\text{GW}}(f) = \frac{1}{\rho_c} \frac{d\rho_{\text{GW}}(f)}{d \ln f}$$

宇宙の臨界密度

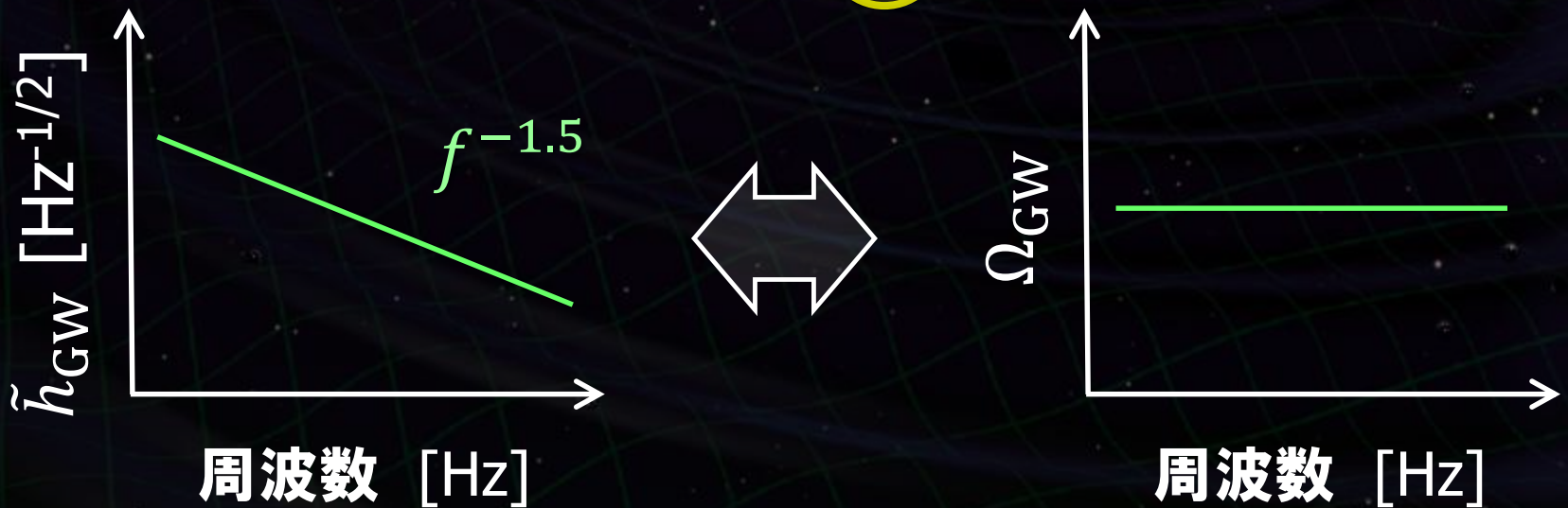
等価な重力波振幅

ハッブル定数


$$\tilde{h}_{\text{GW}}^2(f) = \frac{3H_0^2}{10\pi^2 f^3} \Omega_{\text{GW}}(f)$$



$$\tilde{h}_{\text{GW}}^2(f) = \frac{3H_0^2}{10\pi^2 f^3} \Omega_{\text{GW}}(f)$$



高周波数では振幅は小さくなる

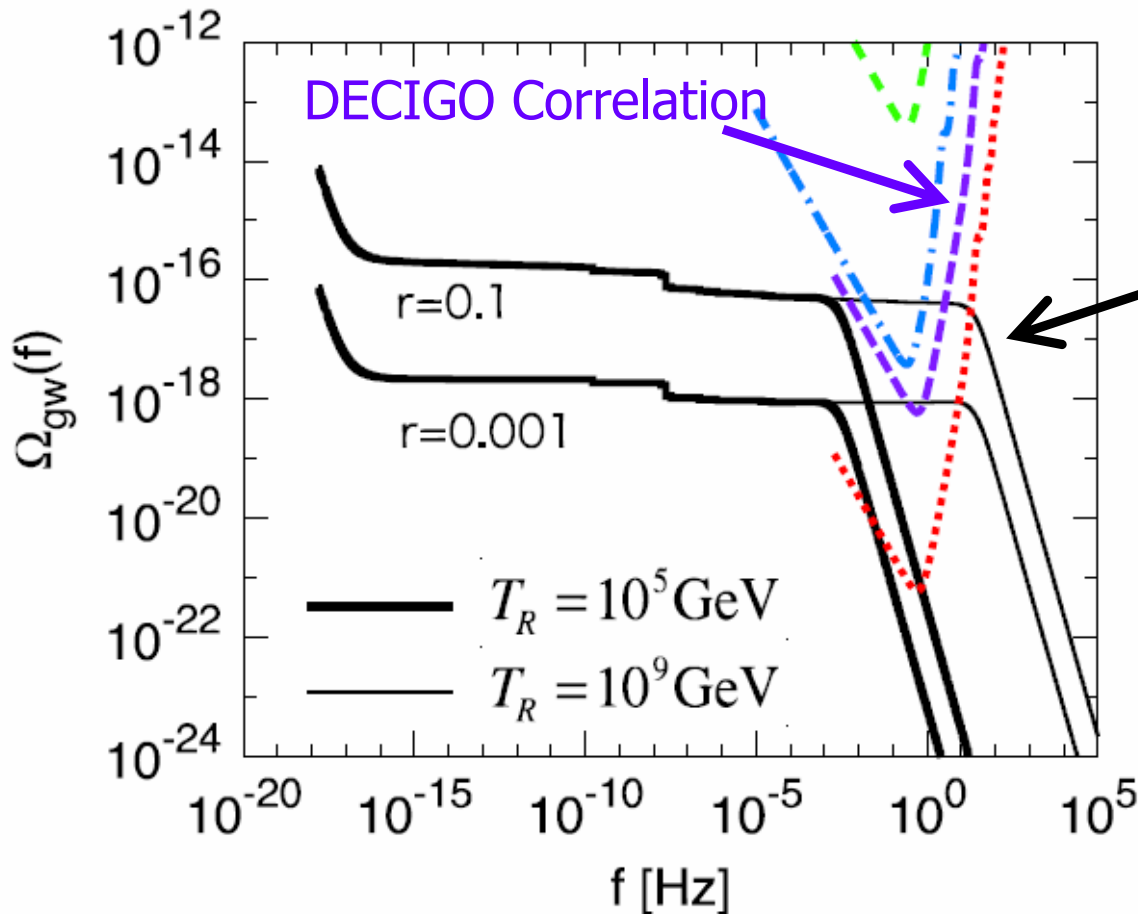
地平線内に入った重力波は、宇宙膨張とともに発展。  
→ スペクトルの形は、**宇宙進化の情報**を持っている。





Energy density  $\propto$  Tensor-Scalar Ratio ( $r$ ).

Power spectrum : Evolution history of the Universe.



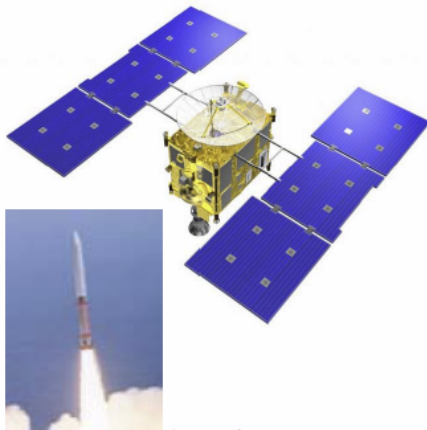
- Spectrum Power.  
→ Energy scale of inflation
- Cut-off freq.  
→ Energy scale of Reheating

Nakayama+,  
Journal of Cosmology  
and Astroparticle Physics  
06 (2008) 020.

内閣府・宇宙政策委員会・宇宙科学・探査部会 資料より (2013年9月19日)

## Ⅲ. 今後の宇宙科学・探査プロジェクトの推進方策

宇宙科学における宇宙理工学各分野の今後のプロジェクト実行の戦略に基づき、厳しいリソース制約の中、従来目指してきた大型化の実現よりも、中型以下の規模をメインストリームとし、中型(H2クラスで打ち上げを想定)、小型(イプシロンで打ち上げを想定)、および多様な小規模プロジェクトの3クラスのカテゴリーに分けて実施する。



2000年代前半までの  
典型的な科学衛星ミッション  
M-Vロケットによる打ち上げ

戦略的に実施する中型計画(300億程度)  
世界第一級の成果創出を目指し、各分野のフラッグ  
シップ的なミッションを日本がリーダーとして実施する。  
多様な形態の国際協力を前提。

公募型小型計画(100-150億規模)  
高頻度な成果創出を目指し、機動的かつ挑戦的に実施  
する小型ミッション。地球周回/深宇宙ミッションを機動的  
に実施。現行小型衛星計画から得られた経験等を活か  
し、衛星・探査機の高度化による軽量高機能化に取り組  
む。等価な規模の多様なプロジェクトも含む。

多様な小規模プロジェクト群(10億/年程度)  
海外ミッションへのジュニアパートナーとしての参加、海外  
も含めた衛星・小型ロケット・気球など飛翔機会への参  
加、小型飛翔機会の創出、ISSを利用した科学研究など、  
多様な機会を最大に活用し成果創出を最大化する。

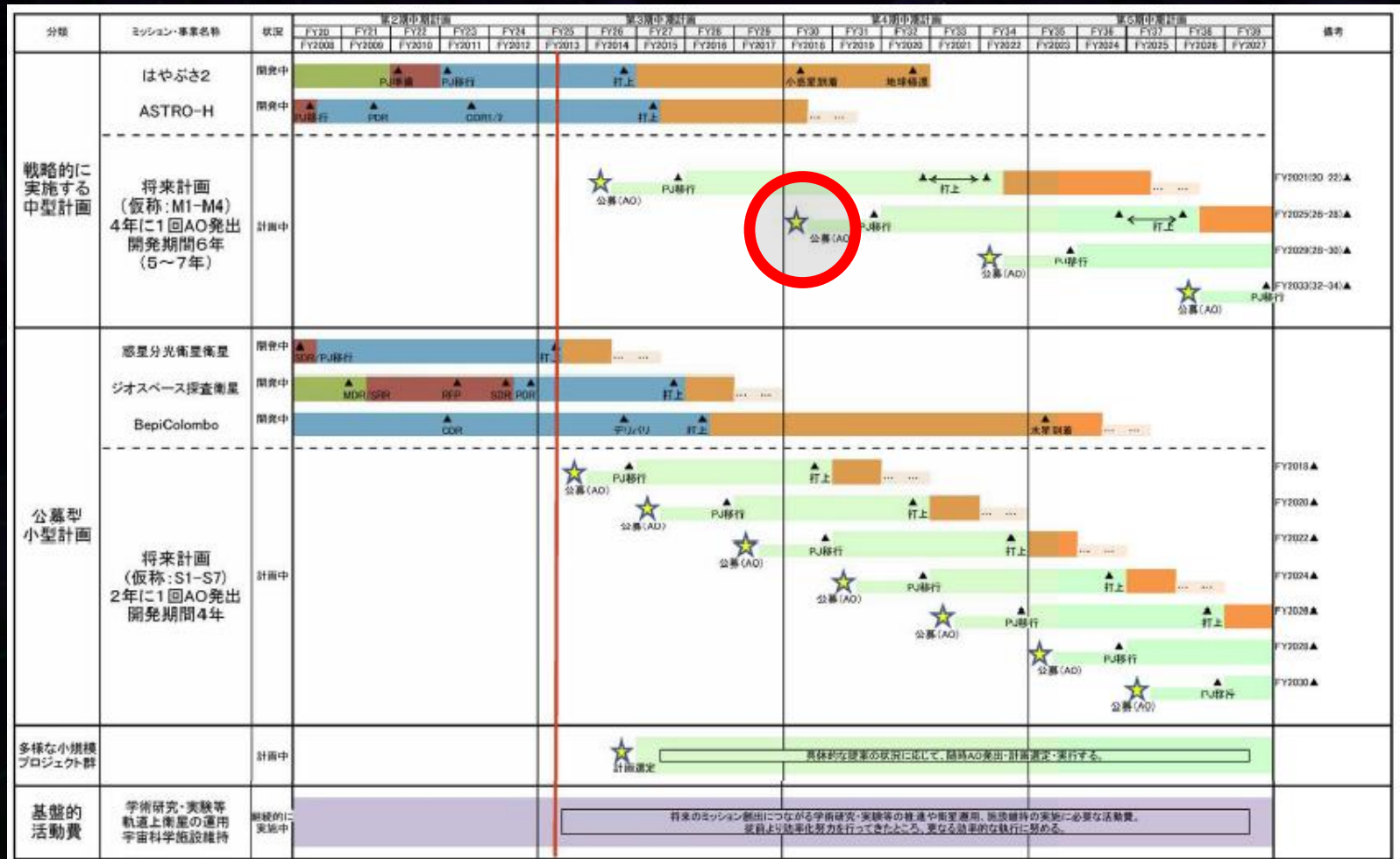


# JAXAによる宇宙科学・探査ロードマップ



From file submitted to the government by ISAS/JAXA

(内閣府・宇宙政策委員会・宇宙科学・探査部会 2013年9月19日)



- **今後5年程度**: 理学/技術実証衛星としてのDPFの段階はスキップ.
  - 根幹技術は個々に技術成熟度向上をはかる (~5年).
  - 相乗り衛星等の機会の模索.
  - 航空機実験などによる実証, 環境試験.
- **今後10年程度**: Pre-DECIGO(仮)の実現を目指す.
  - 重力波観測を目的としたサイエンスミッション.
  - DECIGOの1/10スケール.
  - JAXA中型ミッション (300億円). 国際協力の可能性.
- **その後**, DECIGOの実現を目指す.
  - 初期宇宙の観測をミッション目標とする.
    - そのためのミッション要求・システム要求の明確化必要.
  - 国際協力戦略は要検討.



## •DPF体制

- JAXA宇宙理学委員会：WG整理の議論進展に応じて対応。  
DPF WGは、継続/終了審査を受け、Pre-DECIGO(仮)に相当するWGとして再定義。名称等、理学委員会との相談必要。

## •国際協力体制：

- まず国内単独での実現を検討（～1年）。
- その後、国際協力の方策を模索。

## •研究費・科研費：

- 科研費・基盤(A) → 地上実証試験 期間～4年。
- より小規模なものはそれぞれ検討。

# DECIGO組織体制 (再編検討中)



代表: 中村 (京都大)  
副代表: 安東 (東大理), 瀬戸 (京大理)

## 運営委員会

川村 (東大宇宙線研), 安東 (東大理), 瀬戸 (京大理), 中村 (京大理), 坪野 (東大理), 佐藤 (法政大理工), 田中 (京大理), 船木 (JAXA), 神田 (阪市大理), 井岡 (KEK), 高島 (JAXA), 横山 (東大理), 阿久津 (国立天文台), 中澤 (東大理), 河野 (JAXA), 武者 (電通大)

## Pre-DECIGO

佐藤 (法政理工)

## 検出器

阿久津  
(国立天文台)  
沼田 (Maryland)

## サイエンス・データ

田中 (京大基研)  
瀬戸 (京大理)  
神田 (阪市大理)

## 衛星

船木 (JAXA)

DECIGO パスファインダー  
リーダー: 安東 (東大理)

Design phase

Mission phase

## 干渉計

佐藤 (法政理工),  
上田 (国立天文台),  
麻生 (東大理)

## レーザー

武者 (電通大)  
植田 (電通大)

## 衛星システム/ ドラッグフリー

佐藤 (法政理工),  
坂井 (JAXA)

## スラスタ

船木 (JAXA)

## 信号処理

阿久津  
(国立天文台)

## データ解析

神田  
(阪市大理)



- 広いコミュニティでは CRC に所属.
  - DECIGOは、CRC将来計画の中に位置づけられている。  
(2030年代までのロードマップに記載)
  - CRCタウンミーティングなどでも議論.
- 国内重力波コミュニティ：JGWC (注1)
  - コンセンサス：  
「まずKAGRAにより重力波初検出を行い、  
その後DECIGOで天文学として展開する。」
  - 地上望遠鏡とは異なった観測時期、目指すサイエンス(注2).

\*注1 JGWC : Japan Gravitational Wave Communityの略.

\*注2 観測周波数に応じて異なった観測対象になる. 電磁波観測における 電波-光赤外-X線などの関係と同じ.

平成 26 年 12 月 26 日

宇宙理学委員会研究班員  
宇宙工学委員会研究班員  
宇宙環境利用科学委員会研究班員 各位

宇宙航空研究開発機構  
宇宙科学研究所  
所長 常田 佐久

## 研究領域の目標・戦略・工程表提供のお願い

宇宙科学研究所は、研究委員会(宇宙理学委員会・宇宙工学委員会・宇宙環境利用科学委員会)の協力のもと、今後 20 年を見据えた戦略的な宇宙科学・探査のロードマップ策定作業を進めています。昨年、平成 25 年 9 月 19 日には、HIIA クラスのロケットを念頭においた戦略的中型計画、小型科学衛星の

**提出していただいた目標・戦略・工程表は、今年度募集いたします戦略的中型計画および小規模プロジェクトの評価・選定の際の参考文献とすると共に、今後20年の宇宙科学・探査ロードマップの策定のための源泉資料として分析と評価をさせていただきます。策定された今後20年の宇宙科学・探査ロードマップは、今後の研究開発の取り組みの重点化の根拠となる予定です。**



•2015年2月2日

## 「CRCの宇宙ミッション提案」 (CRC実行委員会取りまとめ)

- K-EUSO
- Pre-DECIGO
- SMILE実験
- HiZ-GUNDAM
- GAPS

### CRCの宇宙ミッション提案

CRC実行委員会  
CRC将来計画検討小委員会  
CRC宇宙ミッション計画各代表者

平成27年2月2日

#### 目次

1	目標：CRCにおける宇宙ミッションとサイエンスについて	3
1.1	CRCのロードマップと宇宙ミッション	4
1.1.1	最高エネルギー宇宙線観測分野	4
1.1.2	ガンマ線天文学分野	5
1.1.3	重力波天文学	5
1.2	今後検討してゆくミッション	5
2	ミッション(プロジェクト候補)1：K-EUSO	6
2.1	戦略	6
2.2	工程表	7
3	ミッション(プロジェクト候補)2：Pre-DECIGO	9
3.1	戦略	9
3.1.1	目的と概要	9
3.1.2	背景と将来計画	9
3.1.3	研究領域内での位置づけ	10
3.2	工程表	11
3.2.1	Pre-DECIGO実現への工程	11
3.2.2	競となる技術と準備状況、体制	11
4	ミッション(プロジェクト候補)3：気球による広視野高感度MeVガンマ線天体広域探査観測(SMILE実験)	12
4.1	戦略	12
4.1.1	学問の背景と計画の概略	12
4.1.2	期待される成果	13
4.2	工程表	13
5	ミッション(プロジェクト候補)4：HiZ-GUNDAM	15
5.1	学術的背景と戦略	15
5.1.1	多波長・他分野連携の考え方	16
5.2	工程表と体制	17

## KAGRA (~2017)

地上重力波望遠鏡

→ 高周波数の重力波イベント

目標: 重力波の検出, 天文学

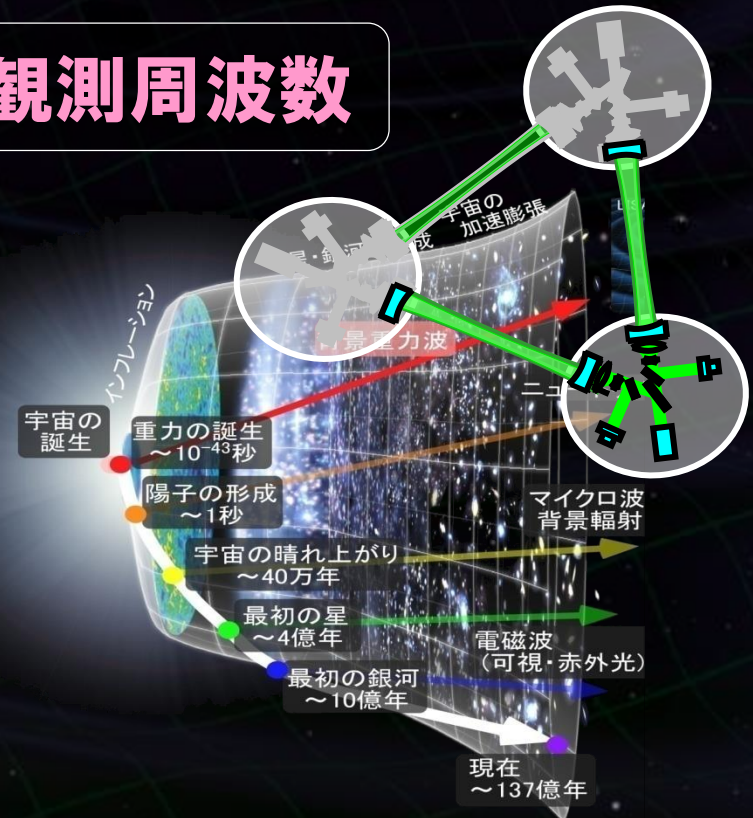
## DECIGO (~2027)

宇宙重力波望遠鏡

→ 低周波数の重力波

目標: 重力波天文学の展開

### 異なった科学目標・観測周波数





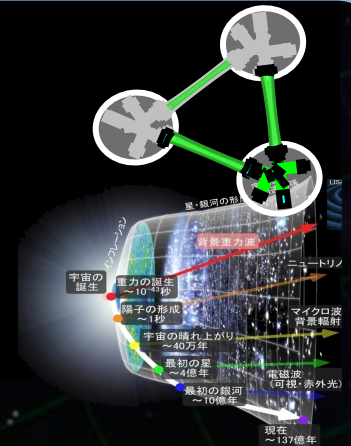
## KAGRA : 地上重力波望遠鏡.

- 目的: 重力波天文学の創成.
- 主に200Mpc程度以内にある中性子連星合体などの高エネルギー天体現象の観測.
- 建設中, 2017年本格観測開始.



## Pre-DECIGO/DECIGO : 宇宙重力波望遠鏡.

- 目的: 宇宙の物質起源への知見・宇宙論.
- 電磁波では観測できない初期宇宙の観測など.
- 2030年前後の実現に向け、Pre-DECIGOの実現を目指す.



•JGWC (Japan Gravitational Wave Community) : 325名

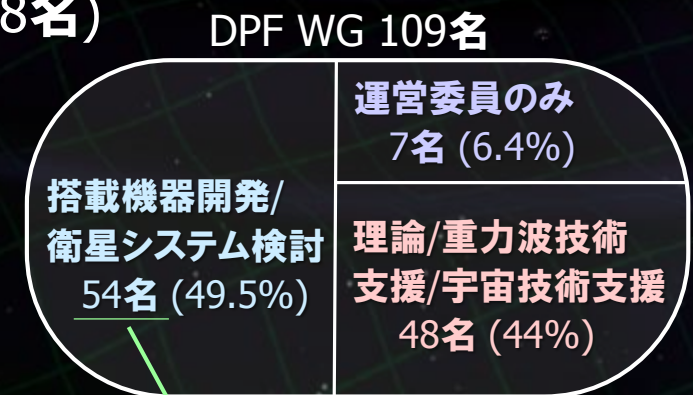


•DPF WGメンバー : 109名 (DECIGO WG 148名)

DECIGO/DPF開発だけに

参加するメンバーも多い。

- 宇宙用干渉計開発・無重力実験
- 安定化レーザー開発
- スラスタ開発
- 衛星システム検討/ドラッグフリー



このうち 11名が  
KAGRAのコアメンバー

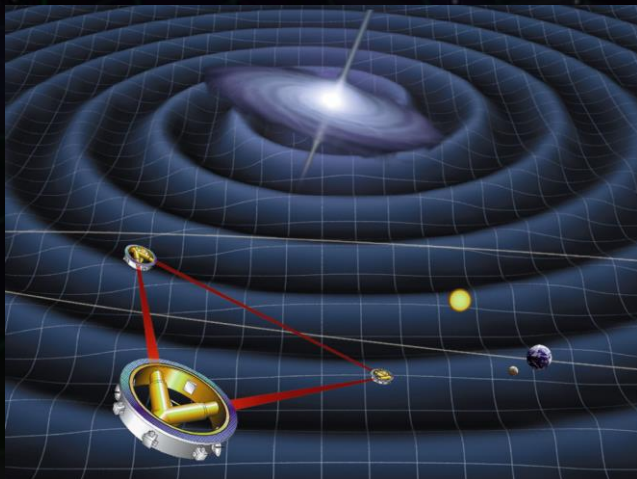


- 欧米の宇宙重力波望遠鏡 LISA.
  - 従来は ESA/NASAのプロジェクトだった。
    - 2012年 NASAが手を引きESA単独ミッション eLISAとなった。
    - \* ESA : Cosmic Vision L3 (2034年) として重力波を選定。
    - \* NASA : eLISAへの参加の可能性を検討。
  - LPFはESA/NASAミッションとして 2015年に打ち上げ。
  
- ⇒ 国際協力の可能性を模索。日本も検討に加わっている。

## eLISA

(Laser Interferometer Space Antenna)

- 観測対象: 超巨大BH, 連星系.  
1mHz付近の確実な重力波源.
- 基線長: 100万km.  
S/C 3機による編隊飛行.
- 測距方式: 光トランスポンダ.



## DECIGO

(Deci-hertz Interferometer  
Gravitational Wave Observatory)

- 観測対象: 初期宇宙・宇宙論的知見.  
0.1Hz付近の重力波.  
基線長: 1000km. S/C 3機による  
フォーメーションフライト.
- 測距方式: FP干渉計 (直接干渉).

