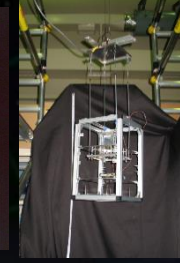
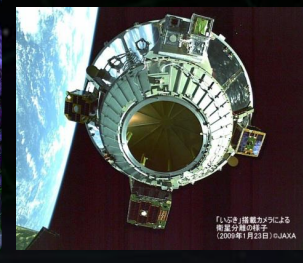
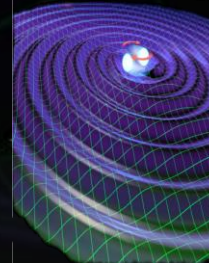
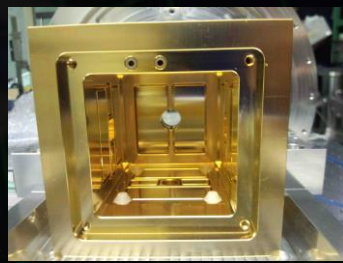
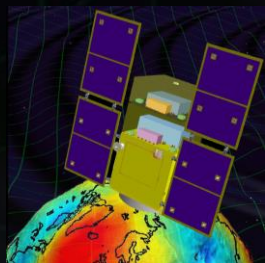


宇宙重力波望遠鏡 DECIGO / Pre-DECIGO

安東 正樹 (東京大学 / 国立天文台)

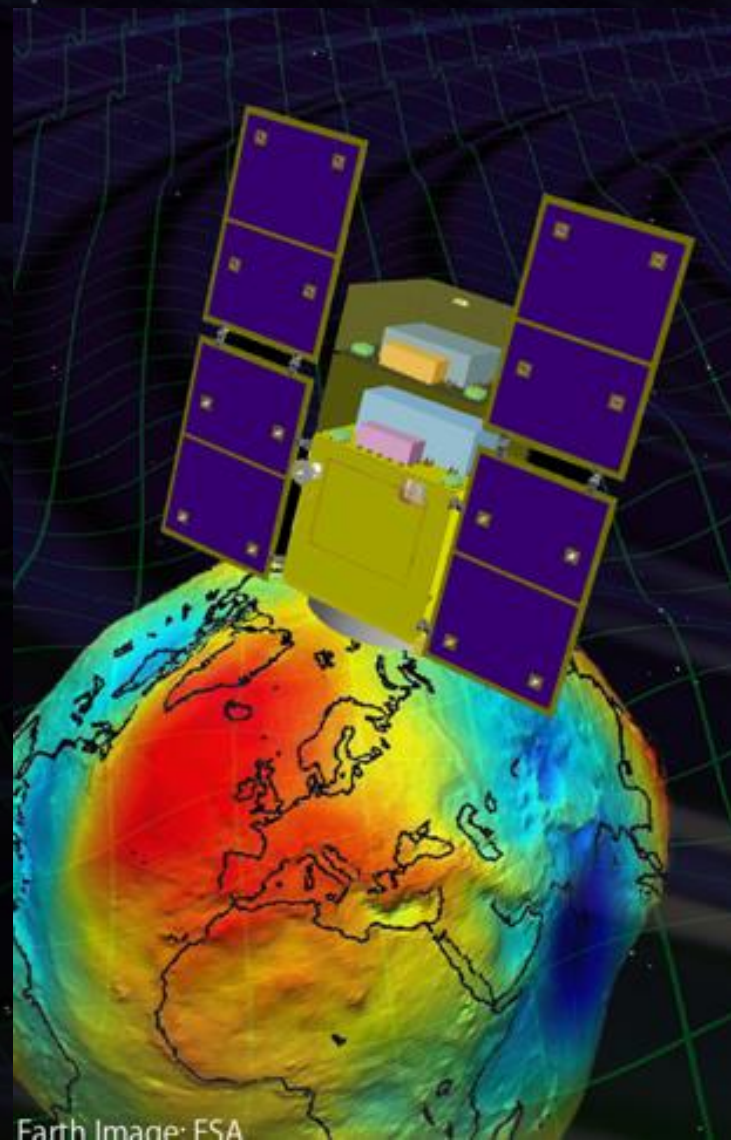
DECIGO/DPF collaboration



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

- CRCでの議論:
 - 「CRC将来計画シンポジウム」 (2010年9月16日)
 - 「宇宙線分野の現状と将来計画」 (2011年6月)
 - 「CRCタウンミーティング」 (2014年3月, 7月, 2015年1月).
- JAXA主催 2014年5月8日「宇宙科学・探査ロードマップと各分野の将来計画」での紹介.
- 2015年2月 JAXA RFI (研究領域の目標・戦略・工程表)提供.
- 今回の内容:
 - DECIGOの科学的意義とその実現に向けた戦略.
 - Pre-DECIGO (JAXA中型計画) の科学的意義と現状.

- DECIGOの意義
- 実現へ向けたロードマップ
- Pre-DECIGO (JAXA中型計画)

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

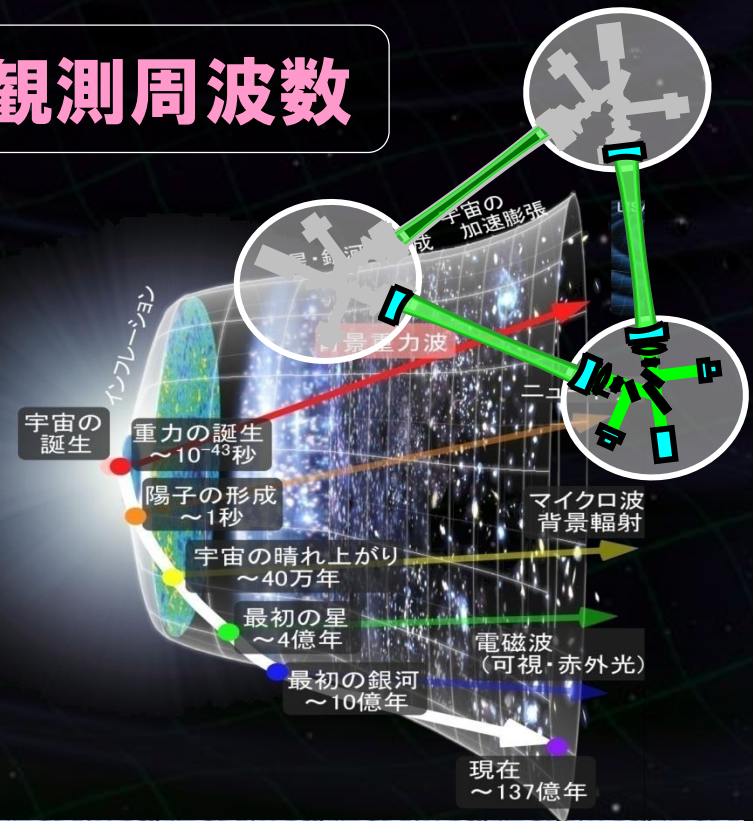
DECIGO (~2027)

宇宙重力波望遠鏡

→ 低周波数の重力波

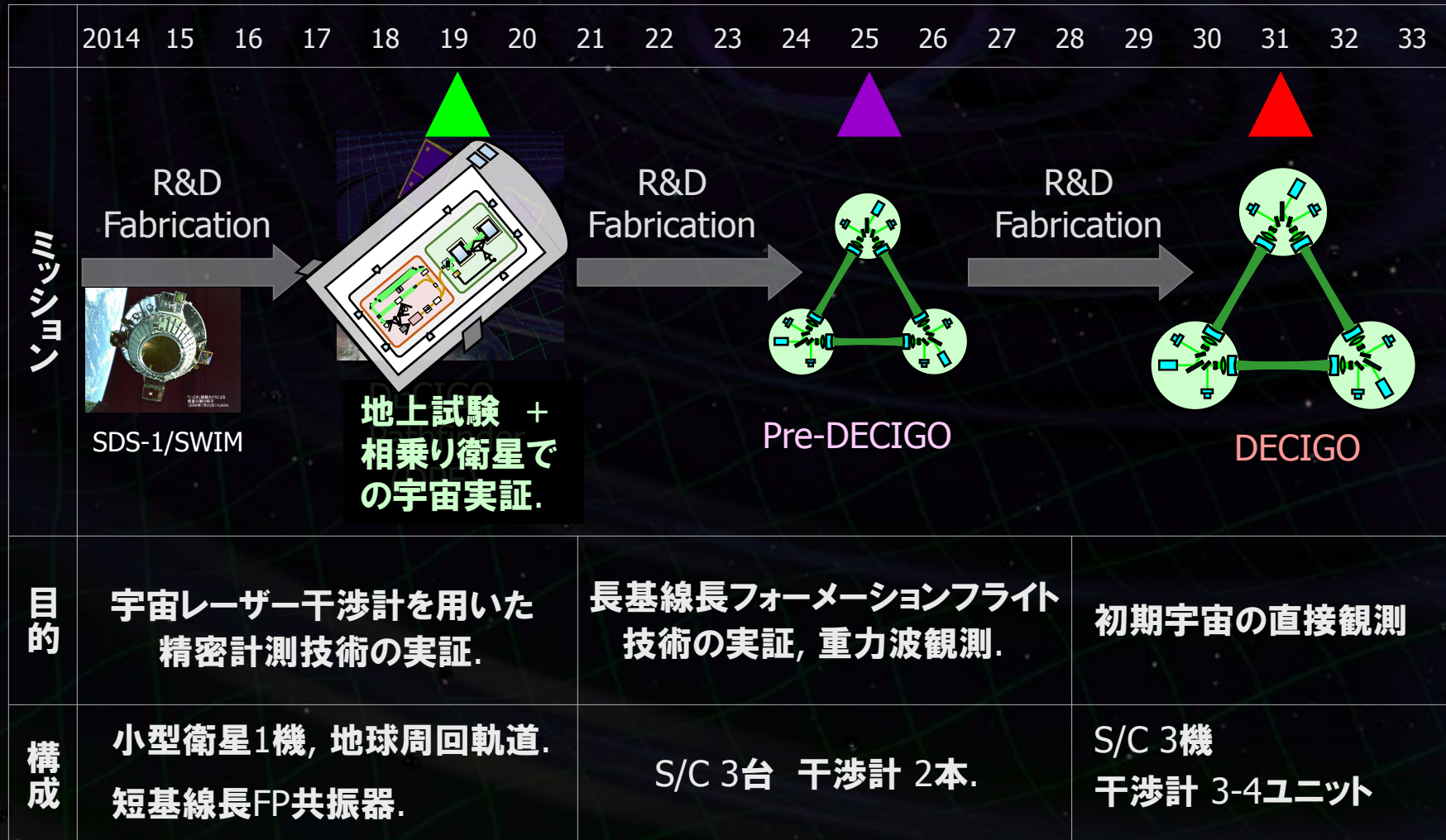
目標: 重力波天文学の展開

異なった科学目標・観測周波数



DECIGO実現へのロードマップ

Figure: S.Kawamura

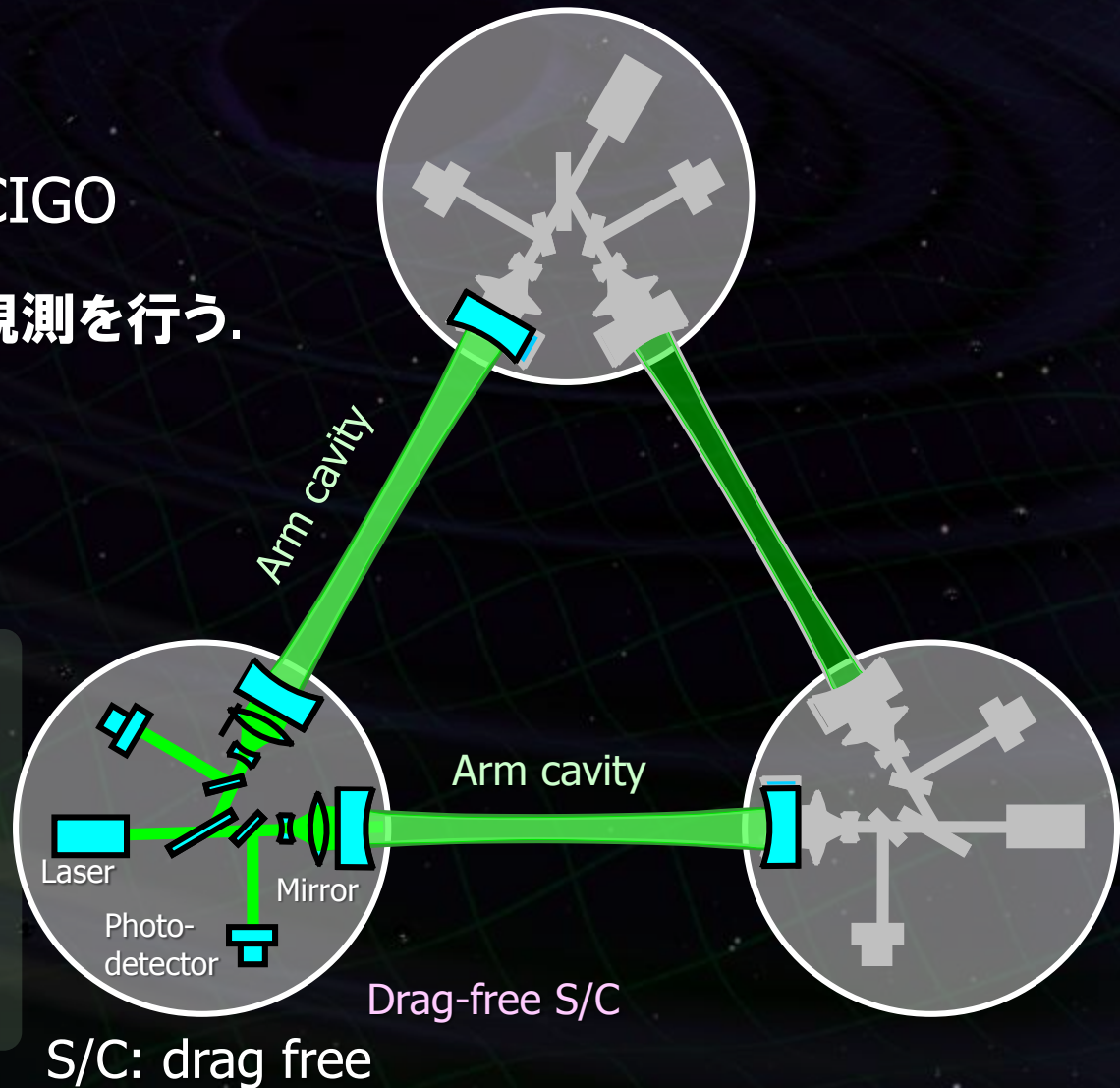


DECIGOの科学的意義

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

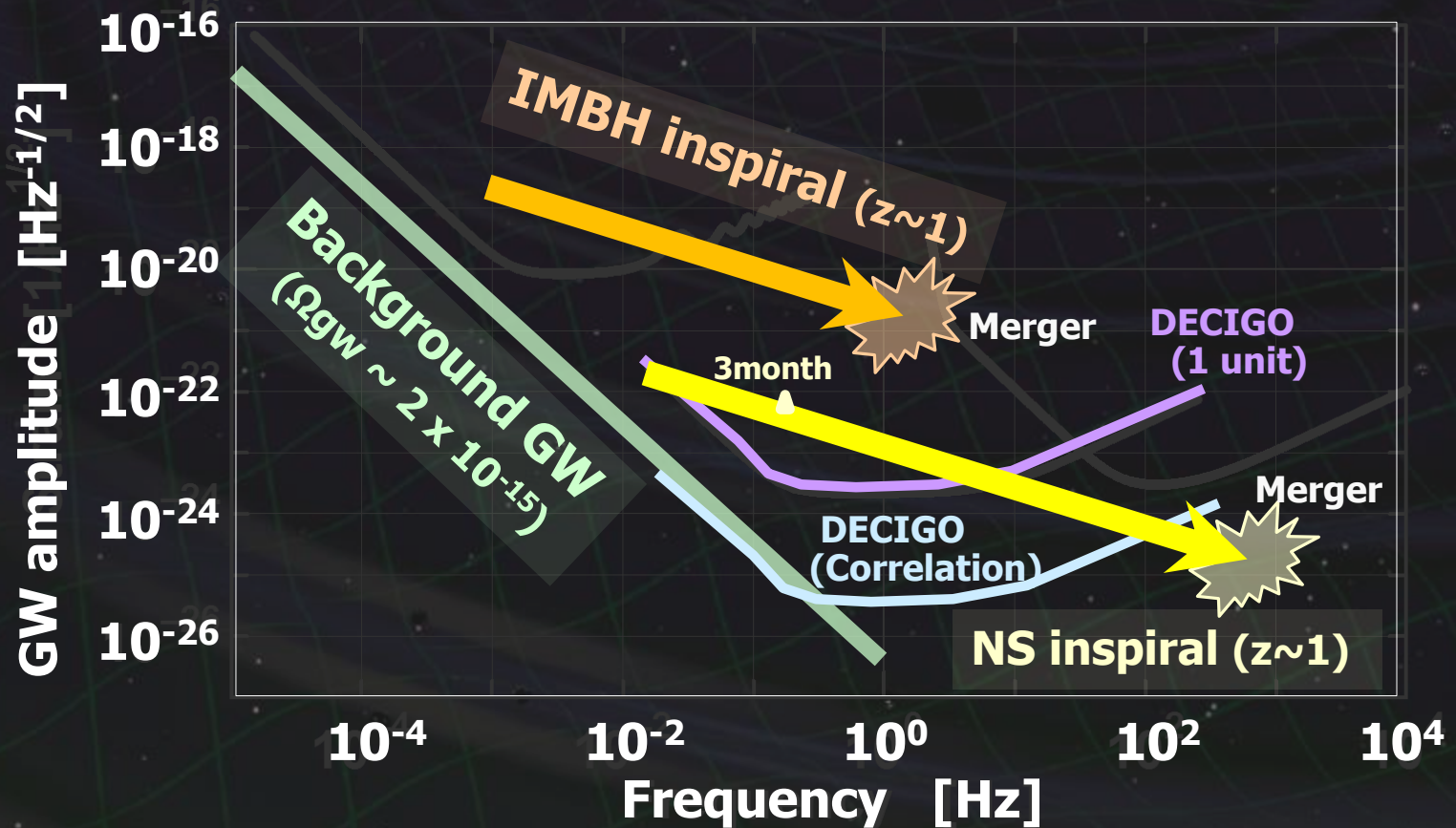


DECIGOの観測対象

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



宇宙重力波望遠鏡 DECIGO



DECIGO (DECI-hertz interferometer
Gravitational wave Observatory)

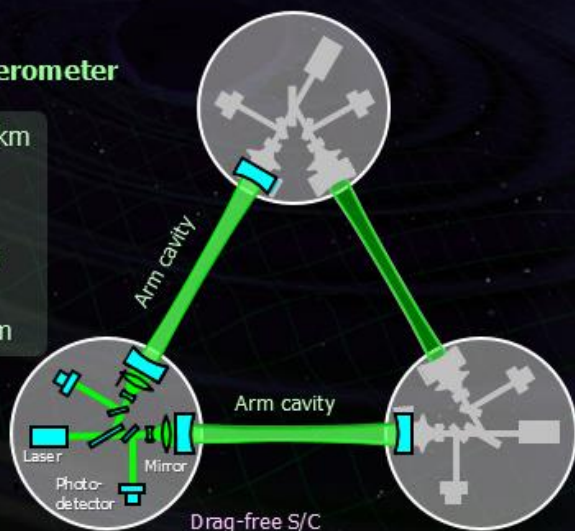
宇宙のはじまりを直接観測する。

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

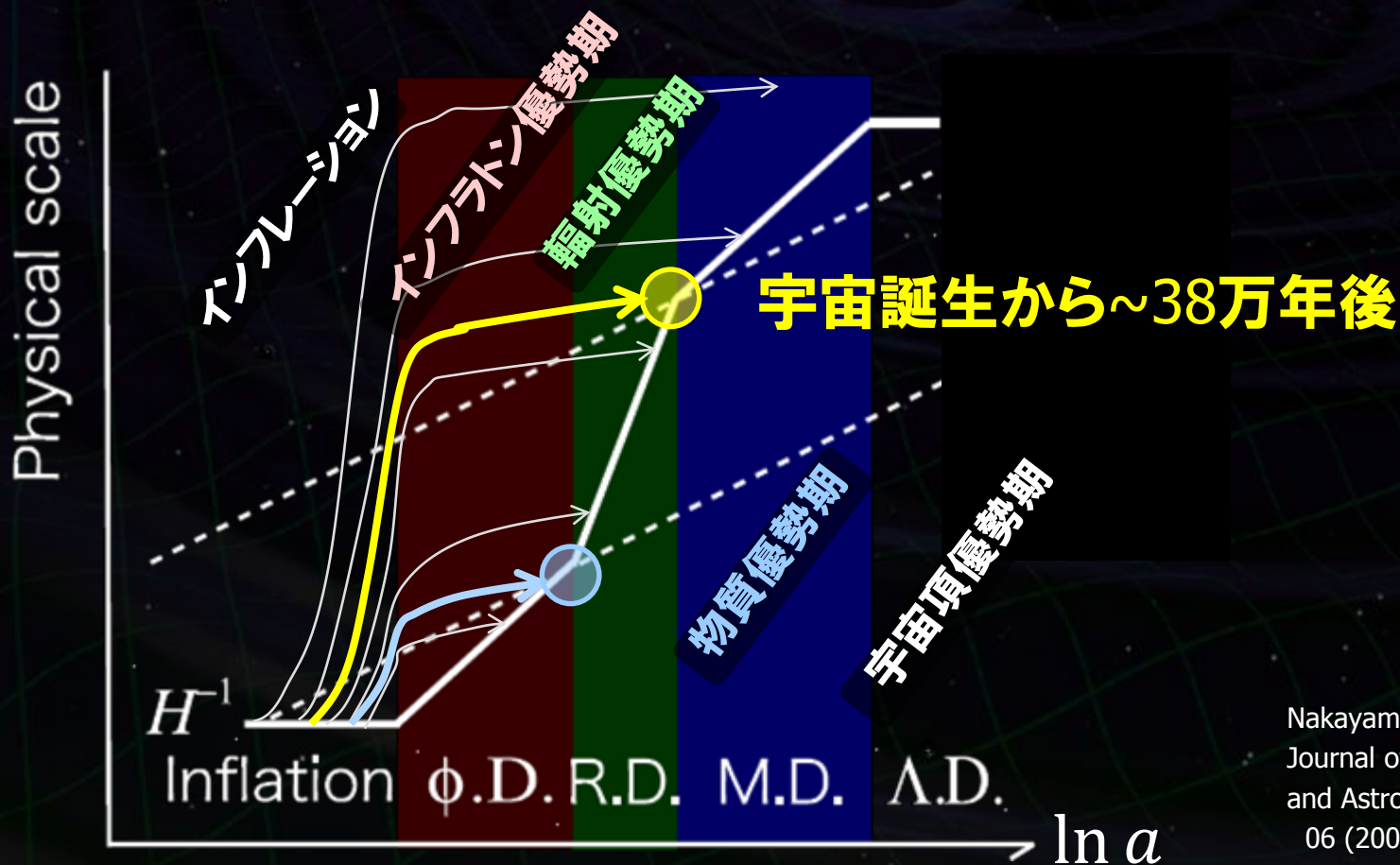
初期宇宙の観測



Background:
original figure by
NASA/WMAP Science Team

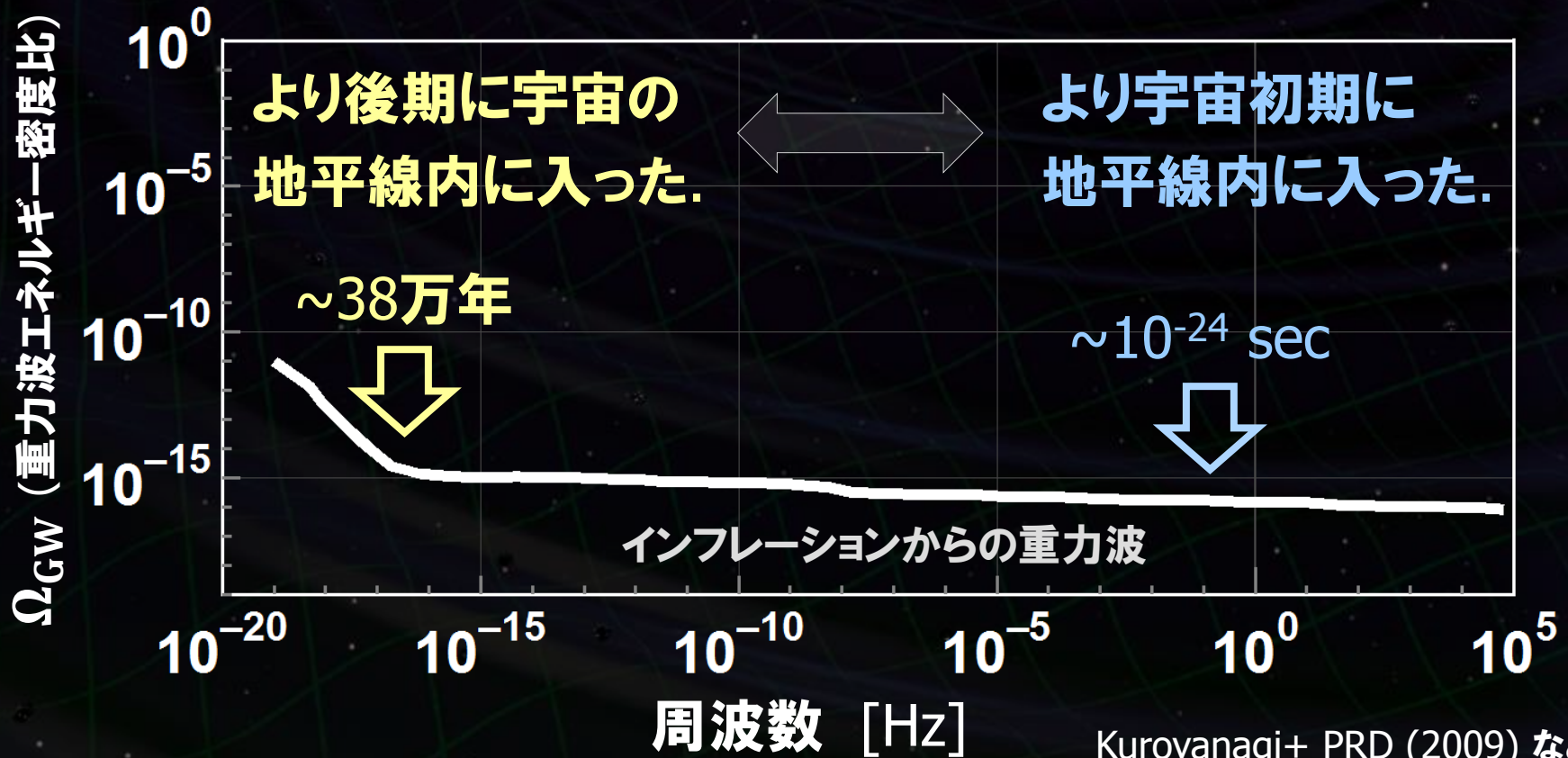
インフレーションからの重力波

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.

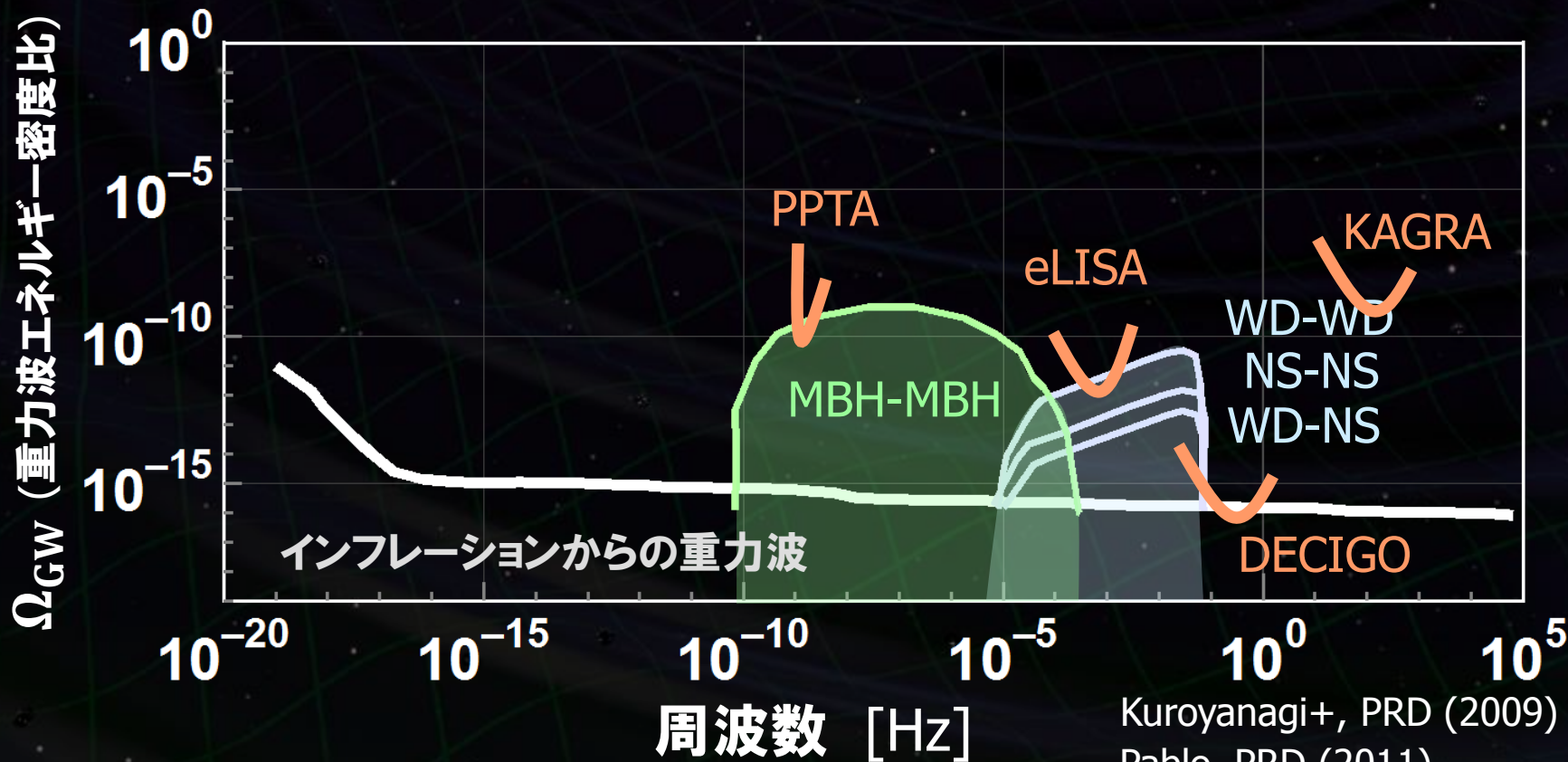


フォアグラウンド重力波

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.



Kuroyanagi+, PRD (2009)
Pablo, PRD (2011)

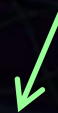
- さまざまな周波数帯で原始重力波観測を観測することで宇宙の進化の情報を得ることが可能.
- インフレーションからの重力波観測には低周波数が有利.
- 0.1Hz以下の周波数帯では, フォアグラウンド重力波が存在.



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.

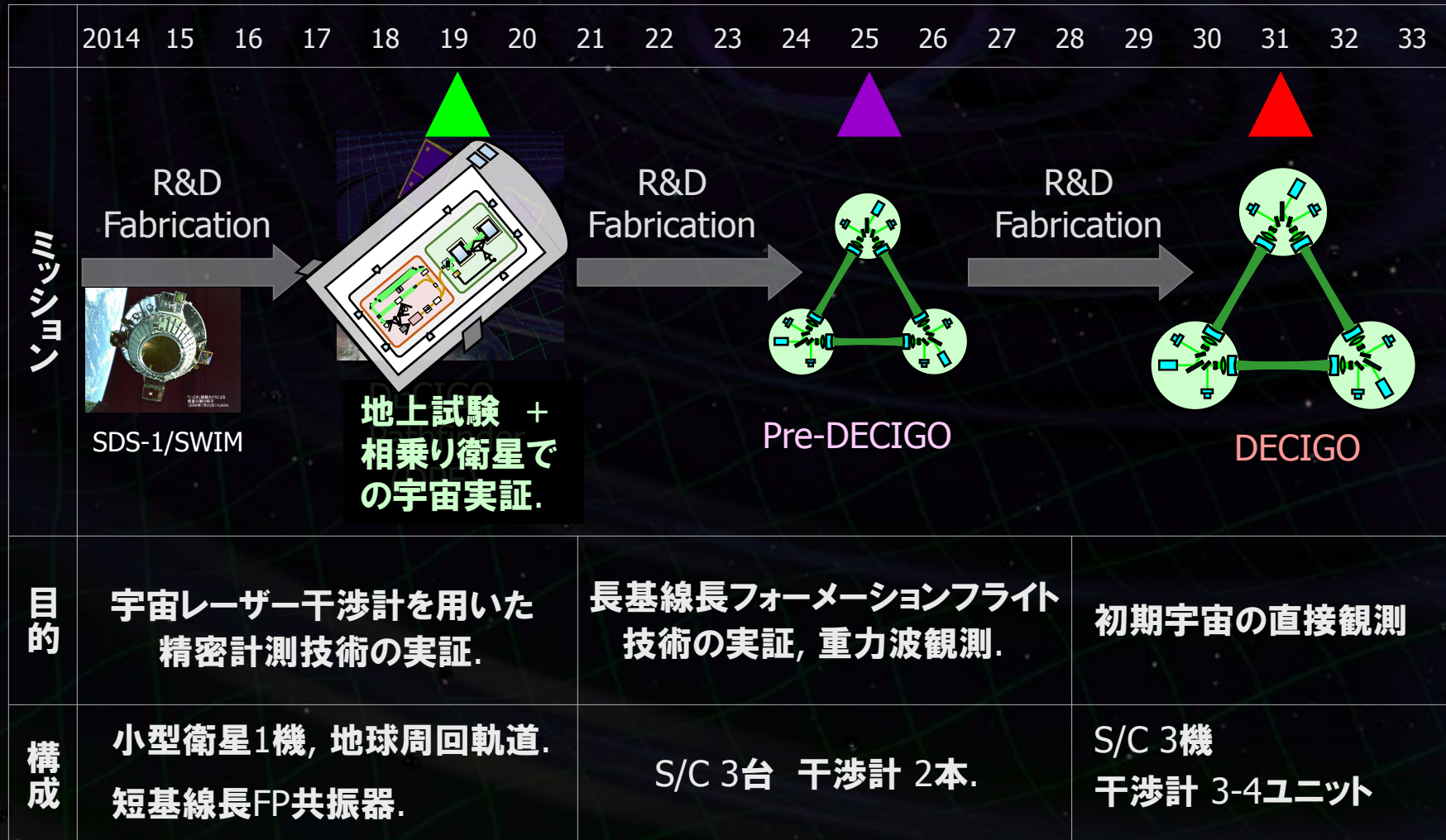
観測周波数と宇宙の時代が対応.
高周波数 → より初期宇宙の情報.
- Reheating温度(物質の種の形成)
- 宇宙の熱進化史

⇒ 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.

DECIGOへ向けた戦略

DECIGO実現へのロードマップ

Figure: S.Kawamura



- **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.

• 科学的目的

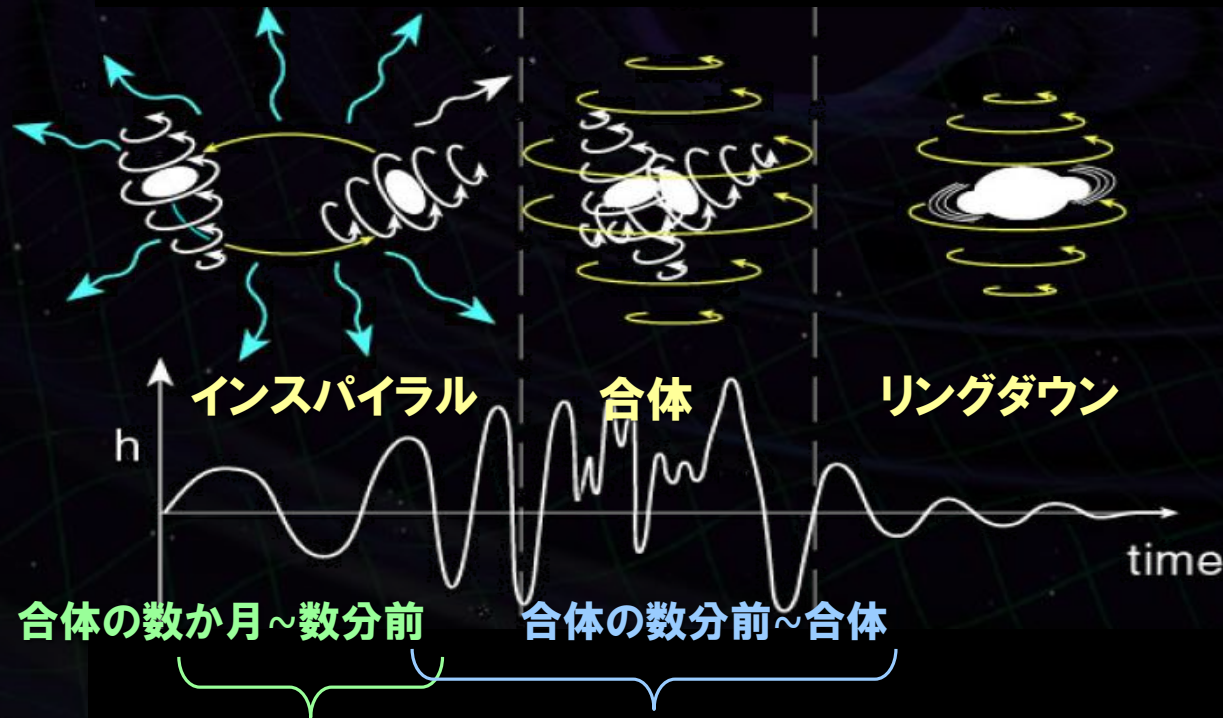
強重力・高密度天体からの重力波の観測による、
時空構造・銀河形成・高エネルギー天体现象の解明。

• 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]
↑ 高エネルギー天体现象, 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

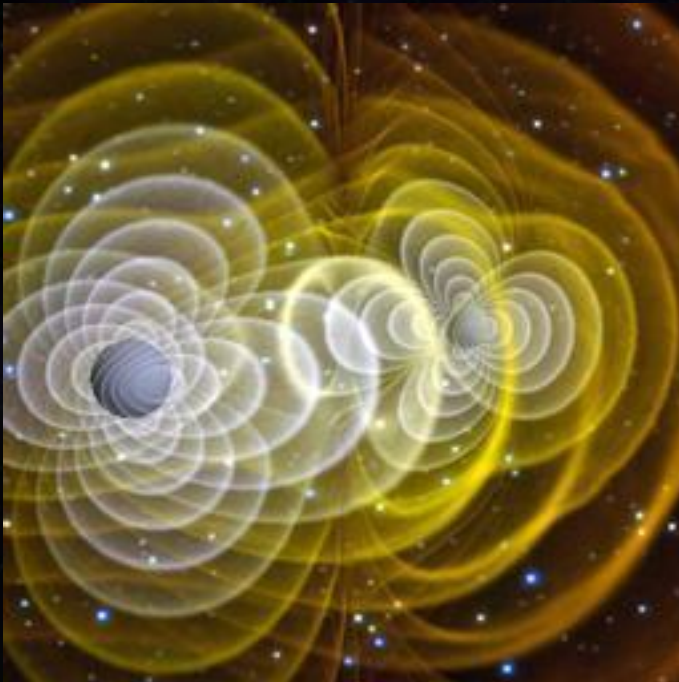
Pre-DECIGOでは, ~ 100 個/年 の連星中性子星イベントを観測.



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

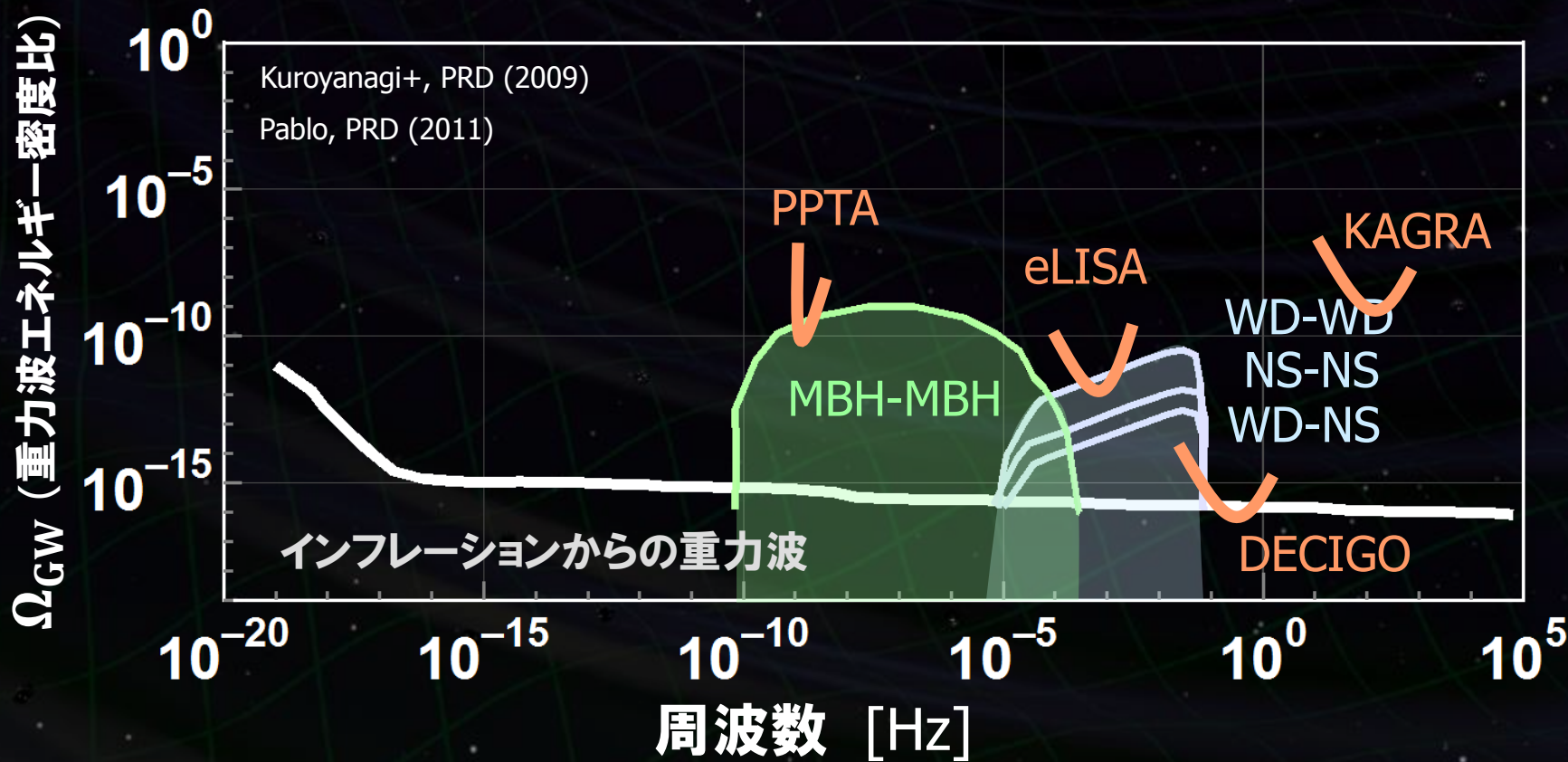
- Pre-DECIGO の観測によって,
決定的な証拠が得られる可能性.
- 他の手段ではできない独自の観測.

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**

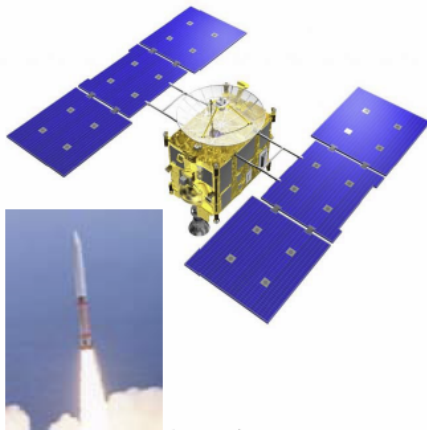
→ ~100個の系でパラメータ推定を行い理解を進める.



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。

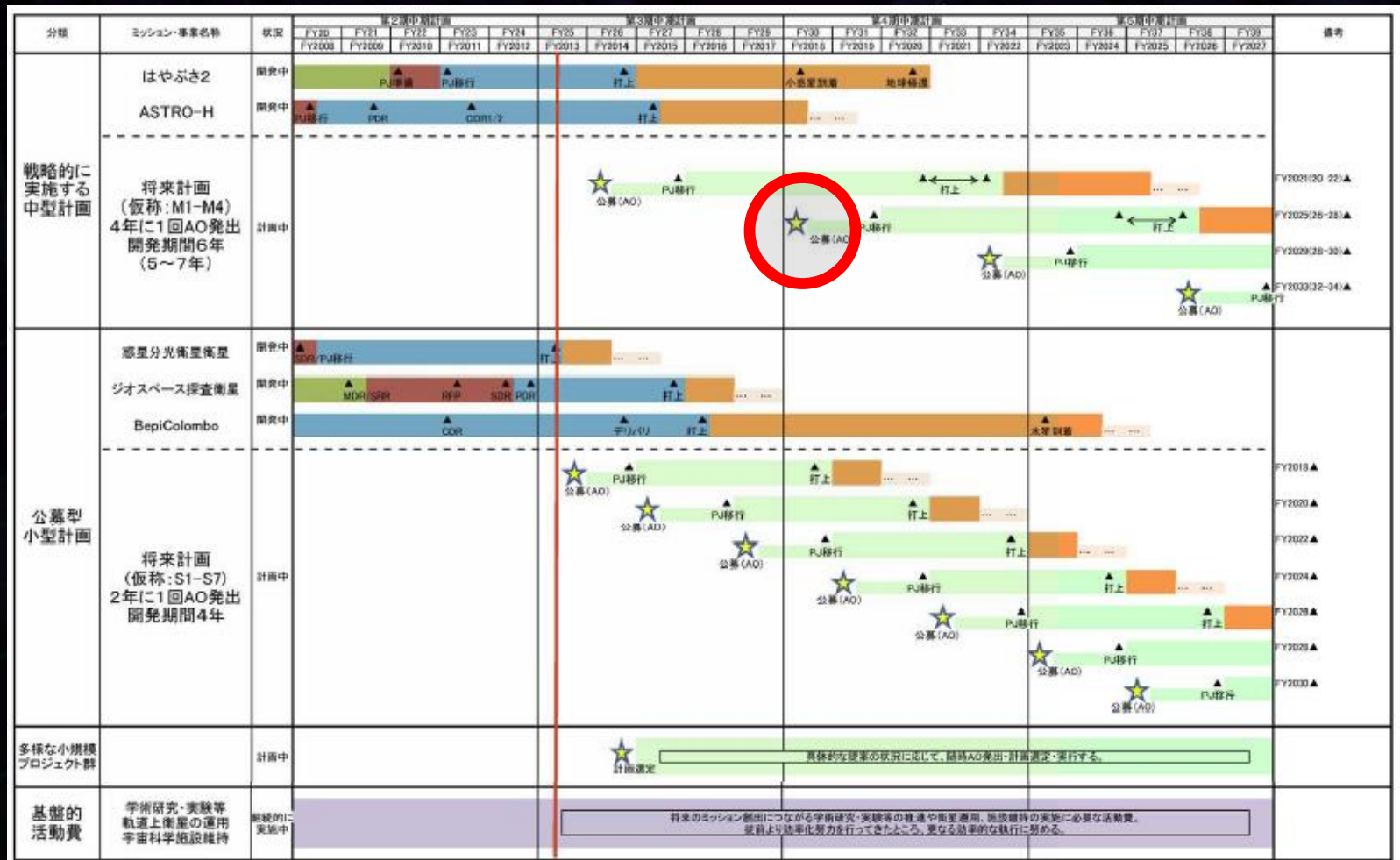
多様な小規模プロジェクト群(10億/年程度)
海外ミッションへのジュニアパートナーとしての参加、海外
も含めた衛星・小型ロケット・気球など飛翔機会への参
加、小型飛翔機会の創出、ISSを利用した科学研究など、
多様な機会を最大に活用し成果創出を最大化する。

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)



• 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。
- 今年度中にある程度 取りまとめることが目標。
- メーカーへの検討依頼は今年度は見送りになる見込み。

• 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。
- レーザー光源：BBMの開発進行中。
- 干渉計：DPF開発からの再定義検討中。
- 微小力測定：ねじれ振り子装置の開発を開始。
- ドラッグフリー・スラスト：地上実証機の開発進行中。
- 相乗りミッション：メーカーとの検討会合。

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

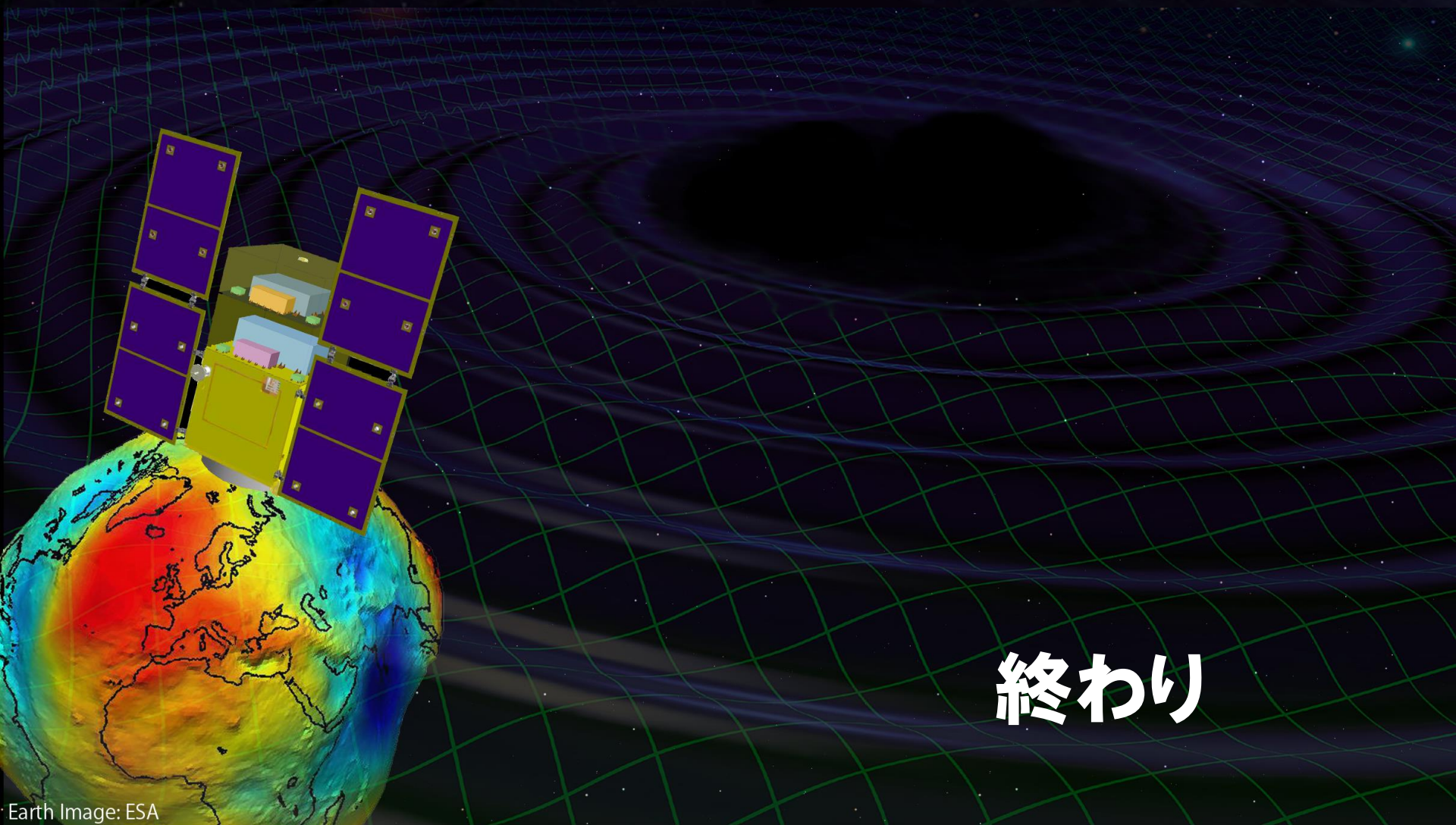
CRC実行委員会
CRC将来計画検討小委員会
CRC宇宙ミッション計画各代表者

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

- DECIGOは非常に大きな科学的価値をもつ計画である。
- その実現に向けた戦略
 - DPFで実証する予定であった技術は、他の手段で実証。
 - * 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。
 - JAXA中型ミッションとしてPre-DECIGO (仮) の実現を目指す。
 - * 最短で2018年ミッション提案 → 2026-27年実現。
 - その後にDECIGOの実現を目指す。
- JAXAミッション採択のためにはコミュニティの支援が必須。
ご協力とサポートをお願いします。



終わり

Earth Image: ESA

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)

はじめに : LISA Pathfinderの打ち上げ



- 2015年12月3日 LISA Pathfinderの打ち上げ成功。
→ 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