

W17a

地上の大型重力波検出器については、  
このあとJ会場の  
LCGT特別セッションにて。

# スペース重力波アンテナ DECIGO計画 (20)

阿久津智忠（国立天文台）

ほか、DECIGO/DPFワーキンググループ

# DECIGO/DPFメンバー

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, 青柳巧介, 我妻一博, 阿久津智忠, 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, 石徹白晃治, 石原秀樹, 和泉究, 市來淨與, 伊東宏之, 伊藤洋介, 井上開輝, 上田暁俊, 植田憲一, 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, 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, 毅山涉, 苔山圭以子, 古在由秀, 小瀧康史, 固武慶, 小林史歩, 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, 正田亜八香, 真貝寿明, 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, 高橋忠幸, 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, 西山和孝, 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, 武者満, 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

Slide by Ando

# もくじ

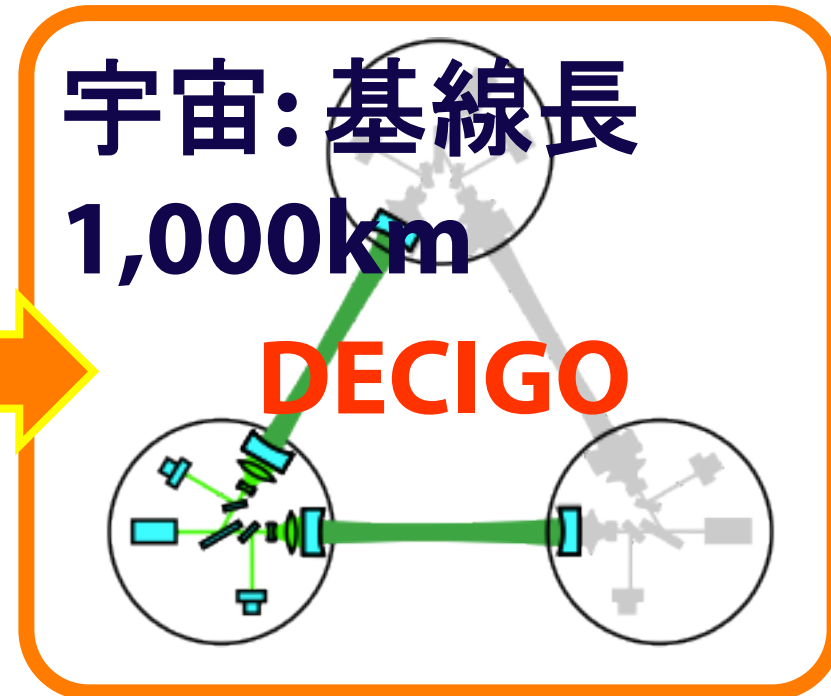
---

- 概要
- DECIGO計画の紹介
- DECIGO計画の現状
- まとめ

# 概要 LCGTとDECIGO



地上の大型検出器  
→高周波の重力波  
目標: 重力波の検出、天文学



宇宙の検出器  
→低周波の重力波  
目標: 重力波天文学の展開



# DECIGOの狙う重力波源

S. Kawamura+,  
Classical and Quantum Gravity, **28**, 094011 (2011)  
(Modified)

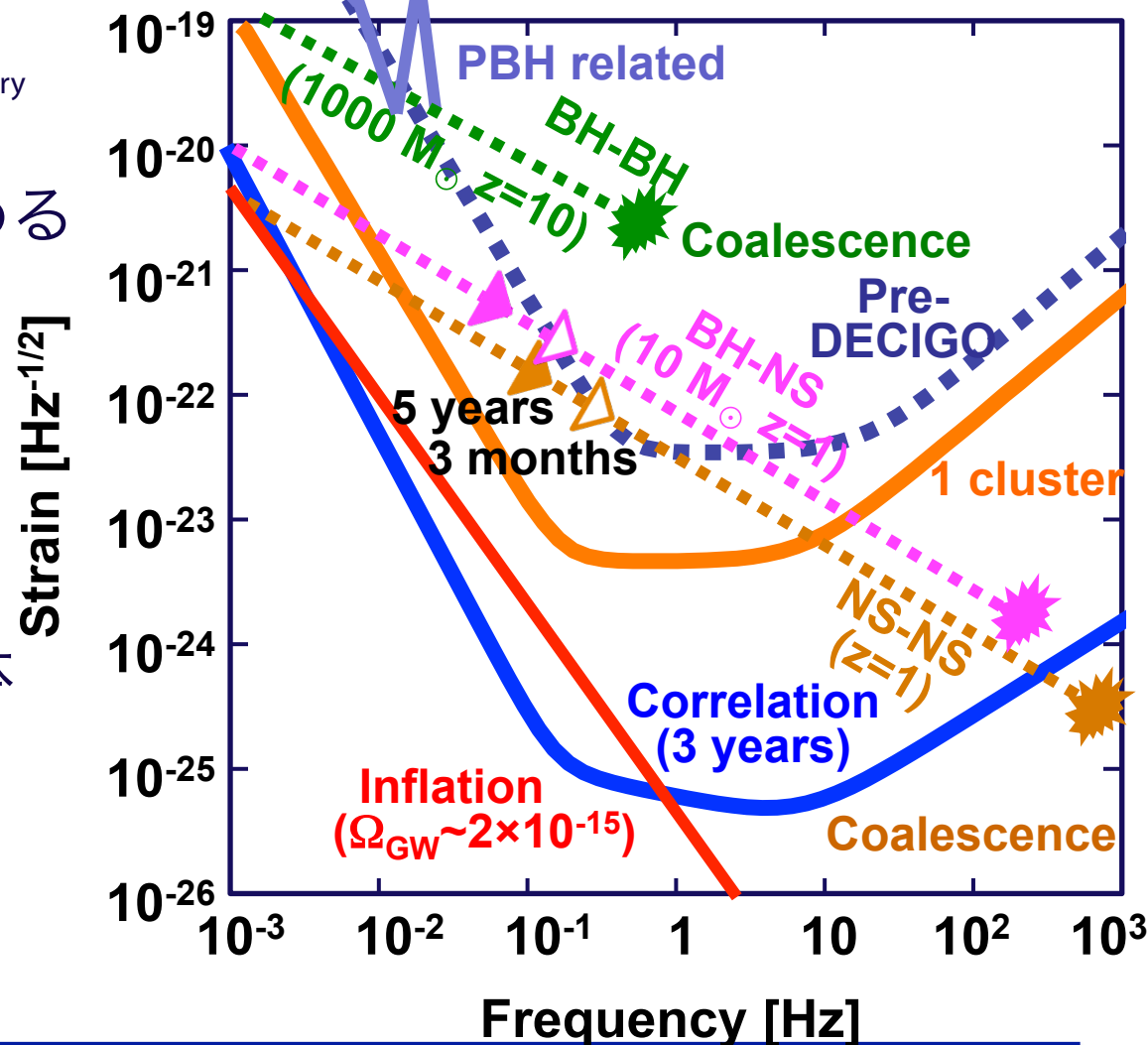
**DECIGO** DECI-hertz interferometer  
Gravitational wave Observatory

- 宇宙重力波望遠鏡
- LISAとLCGTのgapを埋める  
(0.01~10Hz)

ターゲット重力波源

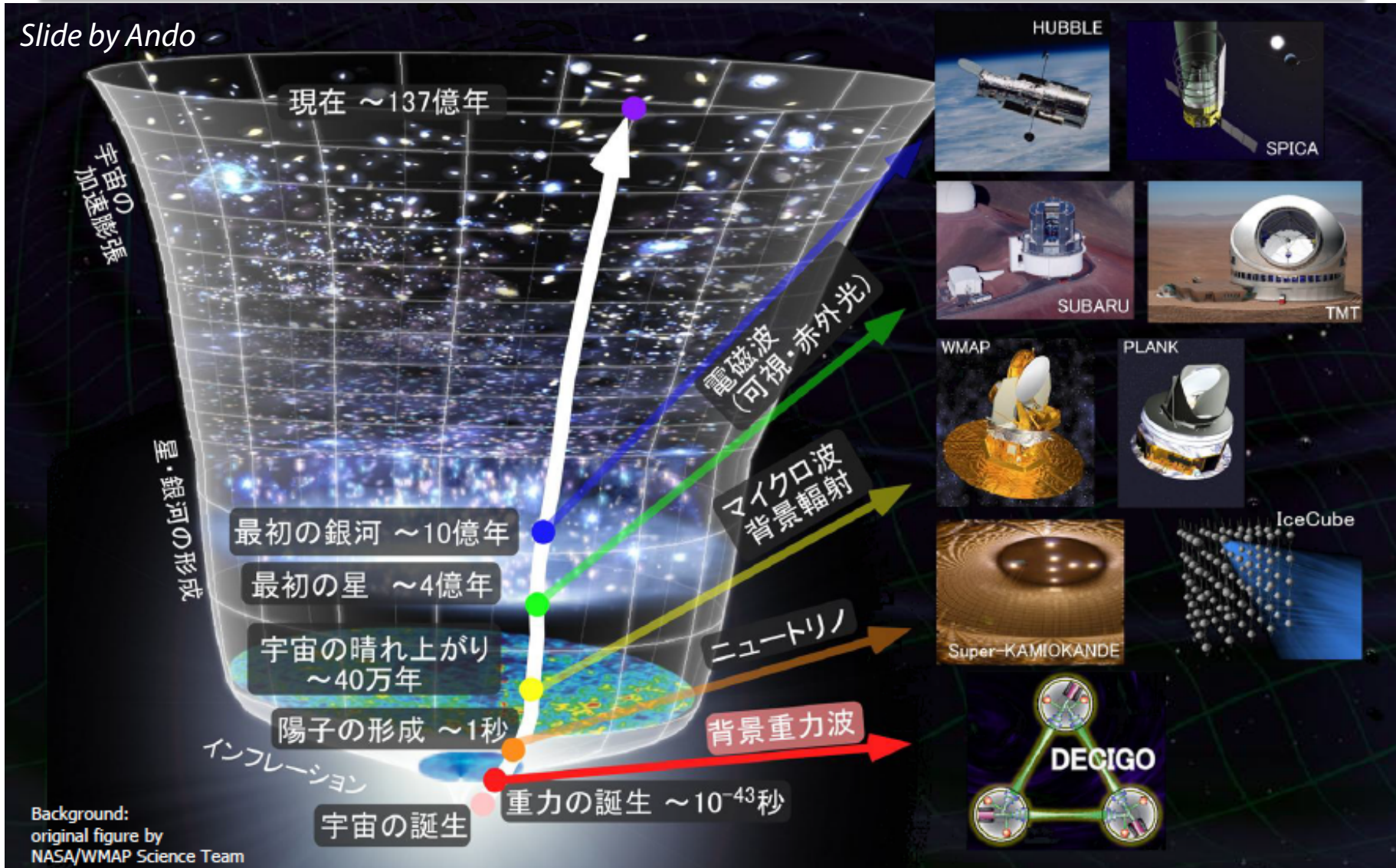
- 背景重力波
- 中性子星連星
- 中間質量BHの連星, 合体  
などなど

→ほかでは得られない  
豊富なサイエンス



# 初期宇宙の観測

Slide by Ando



# DECIGOのサイエンス

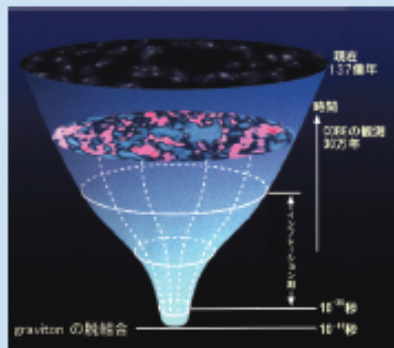
Slide by Nishizawa

## インフレーション理論の検証

背景重力波の観測



- インフレーションの直接的証拠
- インフレーションモデルへの制限

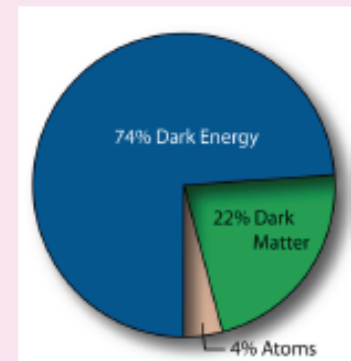


## ダークエネルギー探査

複数のNS・BH連星  
(標準音源)



- 宇宙膨張率の精密測定
- 非一様宇宙モデルの検証

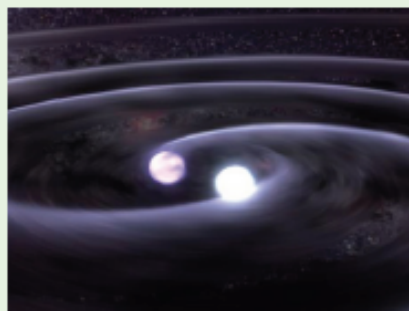


## 重力理論の精密な検証

- 重力波波形
- 重力波偏極モード
- 重力子の質量
- 余剰次元の大きさ



修正重力理論  
への制限

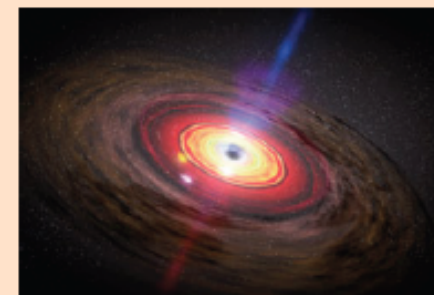


## 巨大BHの形成過程の解明

巨大BHからの  
重力波の観測



- BHの質量・赤方偏移分布
- 降着円盤に関する知見



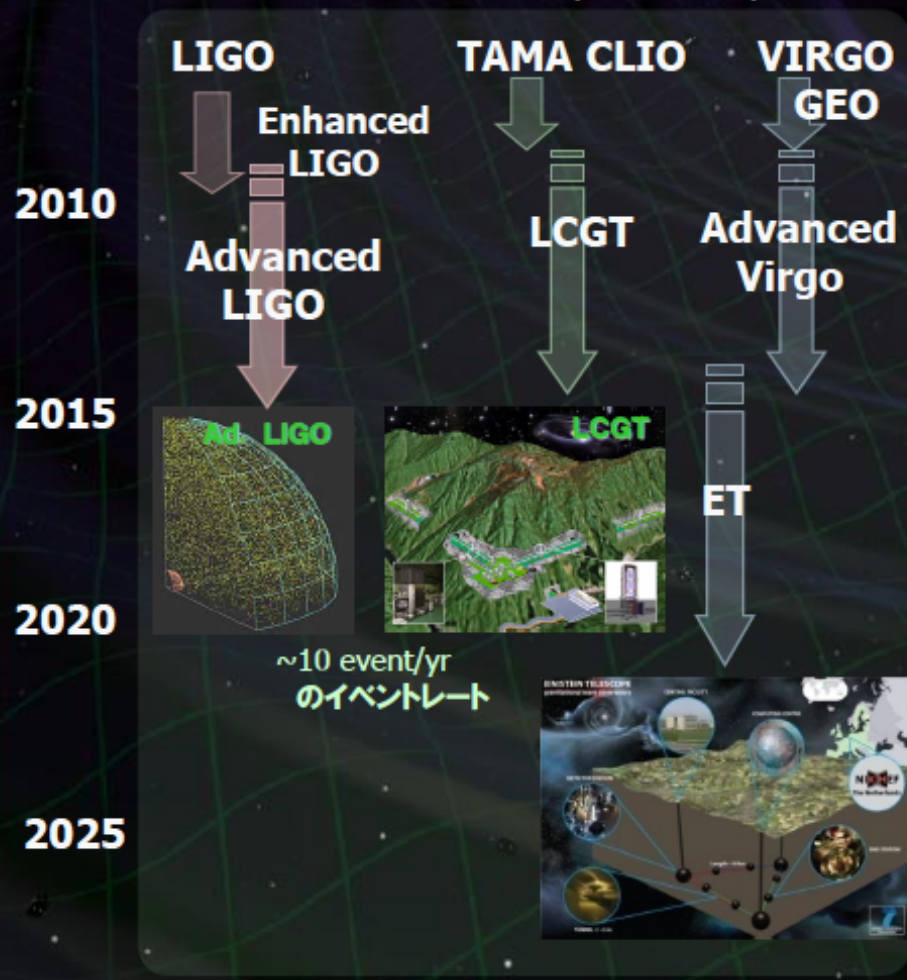


# 重力波天文学の roadmap

Slide by Ando

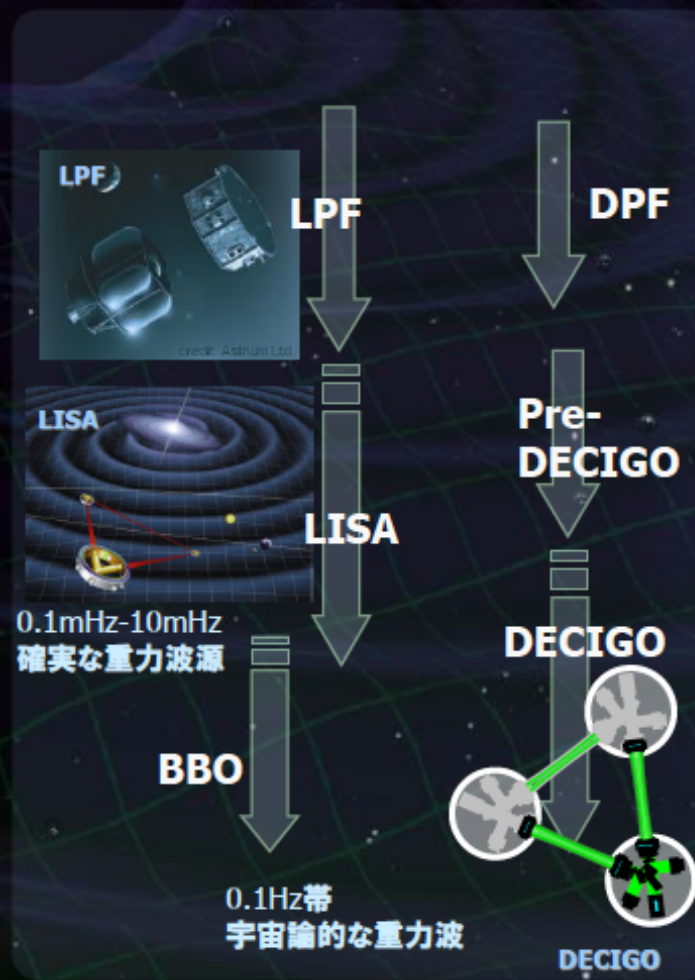
## 地上望遠鏡

より遠くを観測 (10Hz-1kHz)



## 宇宙望遠鏡

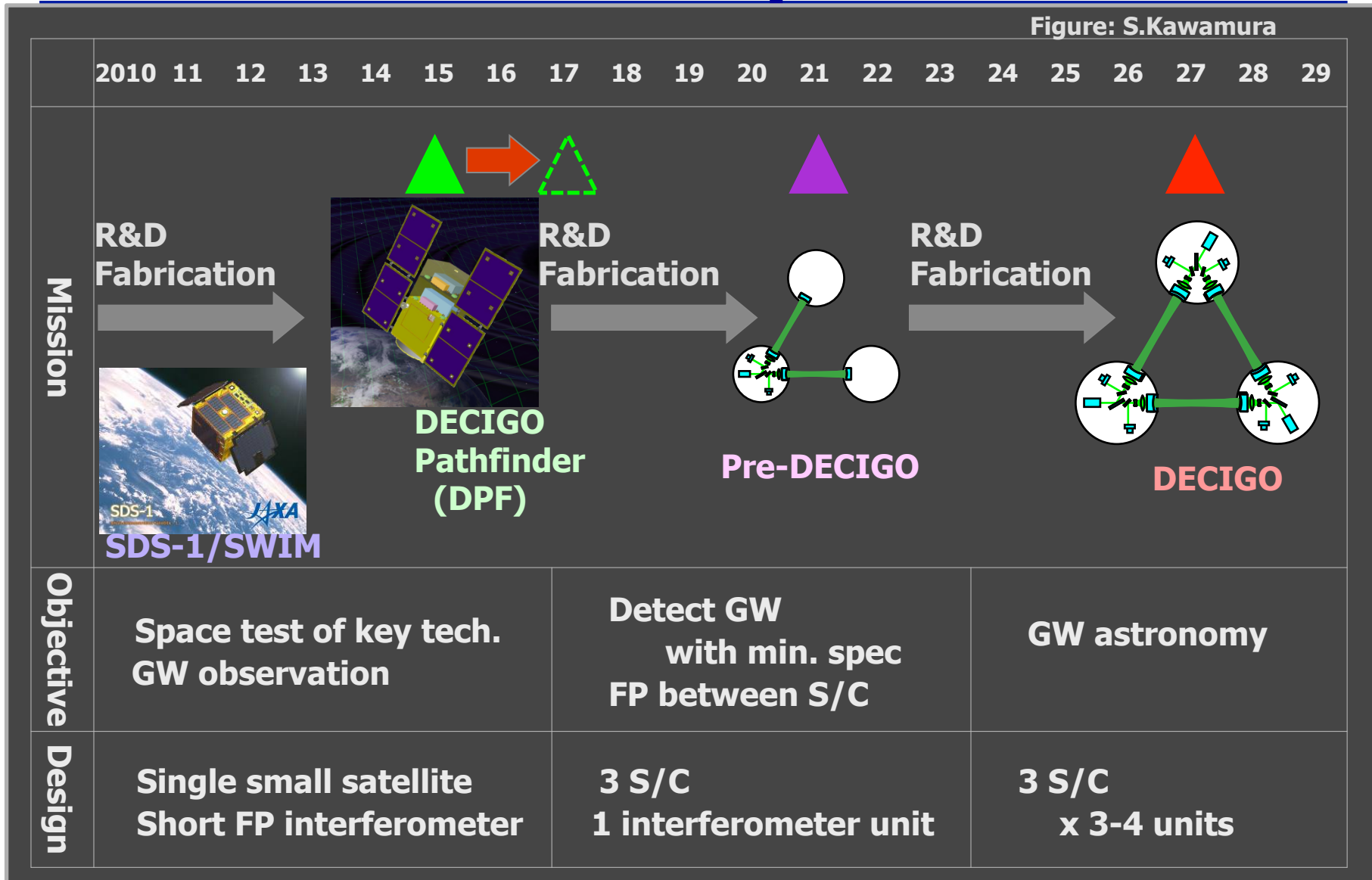
低周波数帯の観測





# DECIGO の roadmap

Figure: S.Kawamura



# 現状について

---

- DECIGOのデザイン (Conceptual)
- SWIM $\mu$ v
- DECIGO Pathfinder
- サポート・研究協力

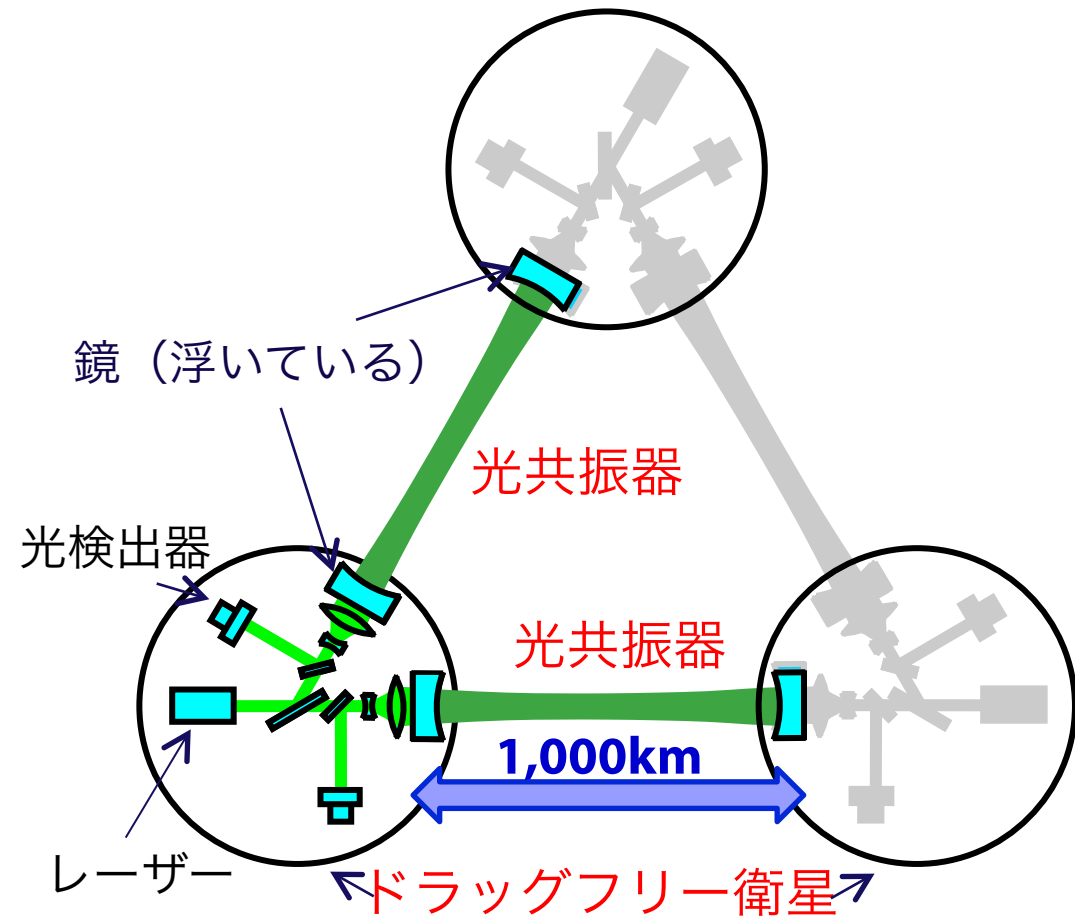
# DECIGO (pre-conceptual)

## Pre-Conceptual design

- アーム長1,000km
- ミラー直径 1m
- ミラー質量 100kg
- レーザー波長 532nm
- レーザーパワー 10W

## 高感度化のために

- 光共振器  
→実効的にarm長さを伸ばす
- ドラッグフリー飛行  
→防振



# DECIGO の デザイン

Conceptual designの設定作業中  
→各Parameterの微調整

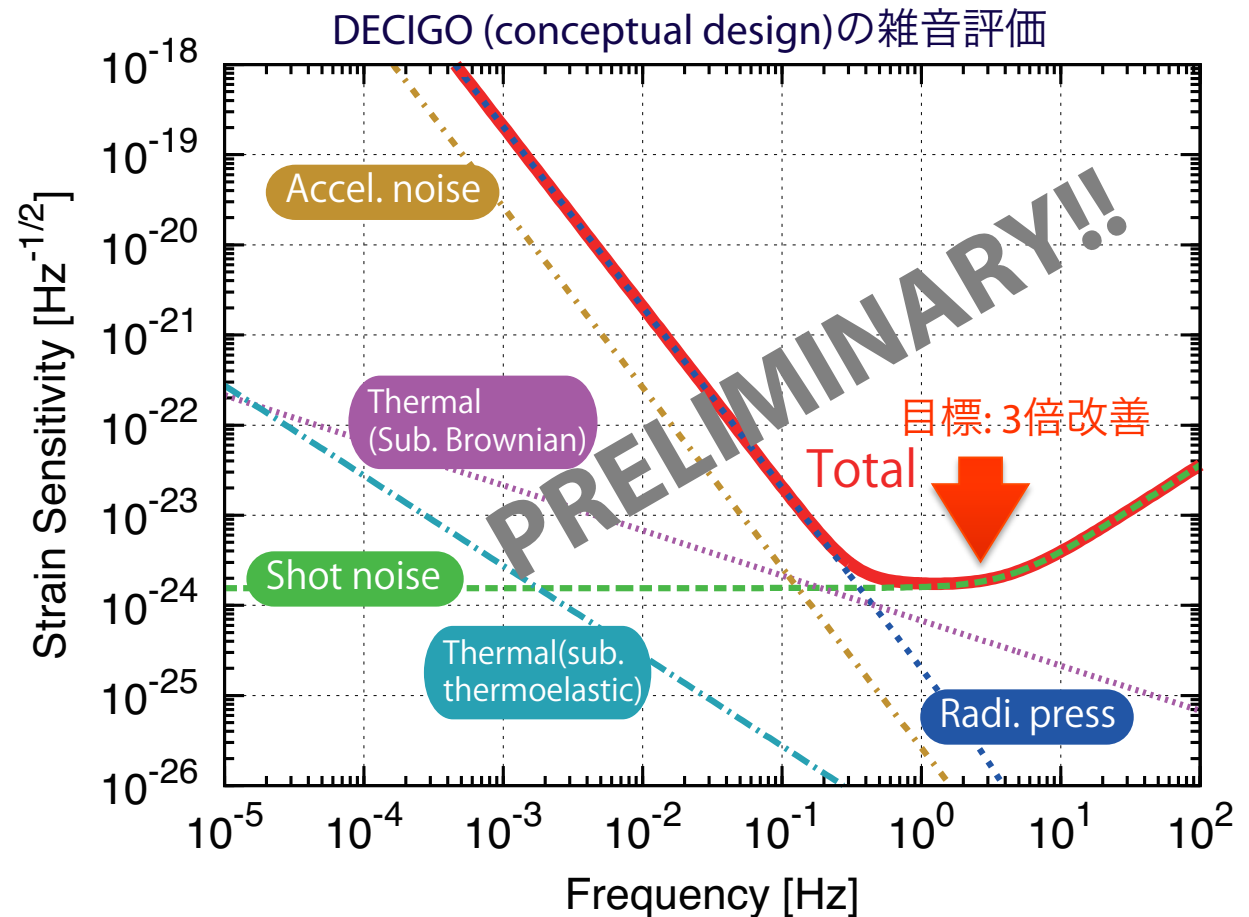
Arm長さ

1,000km→1,500km?

Laserパワー

10W→30W?

・・・など





# SWIM $\mu$ v

## 超小型宇宙重力波検出器

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

TAM: Torsion Antenna Module with free-falling test mass  
(Size : 80mm cube, Weight : ~500g)

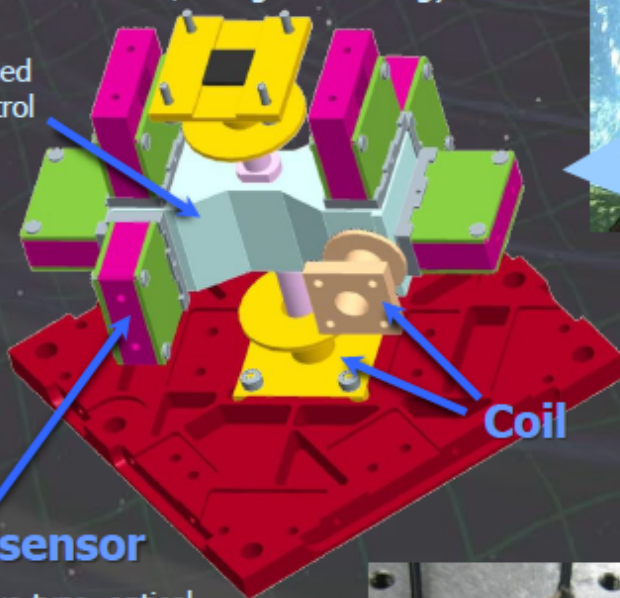
### Test mass

~47g Aluminum, Surface polished  
Small magnets for position control

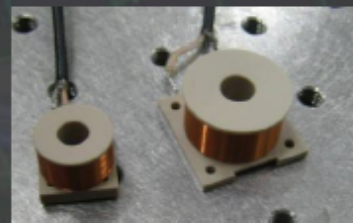


### Photo sensor

Reflective-type optical  
displacement sensor  
Separation to mass ~1mm  
Sensitivity ~  $10^{-9}$  m/Hz<sup>1/2</sup>  
6 PSs to monitor mass motion



Coil



Slide by Ando, Kokuyama

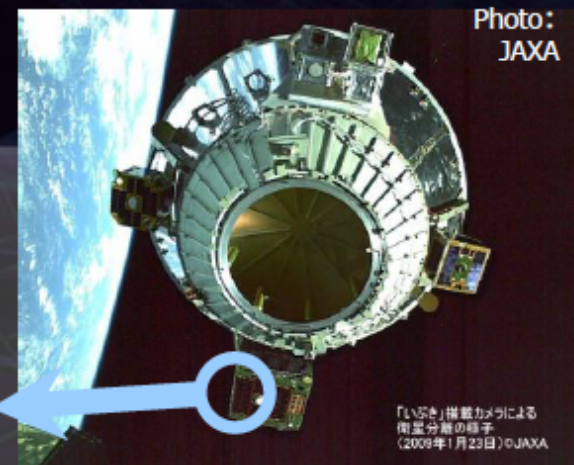
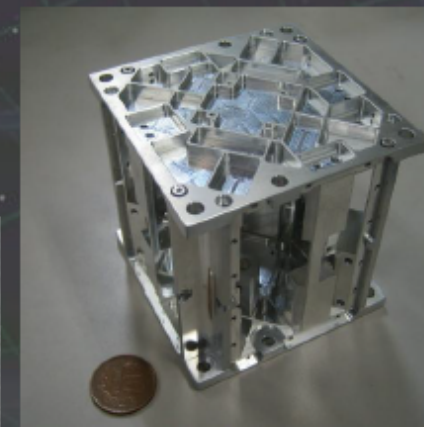


Photo:  
JAXA

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



# SWIM $\mu\nu$ の観測運転

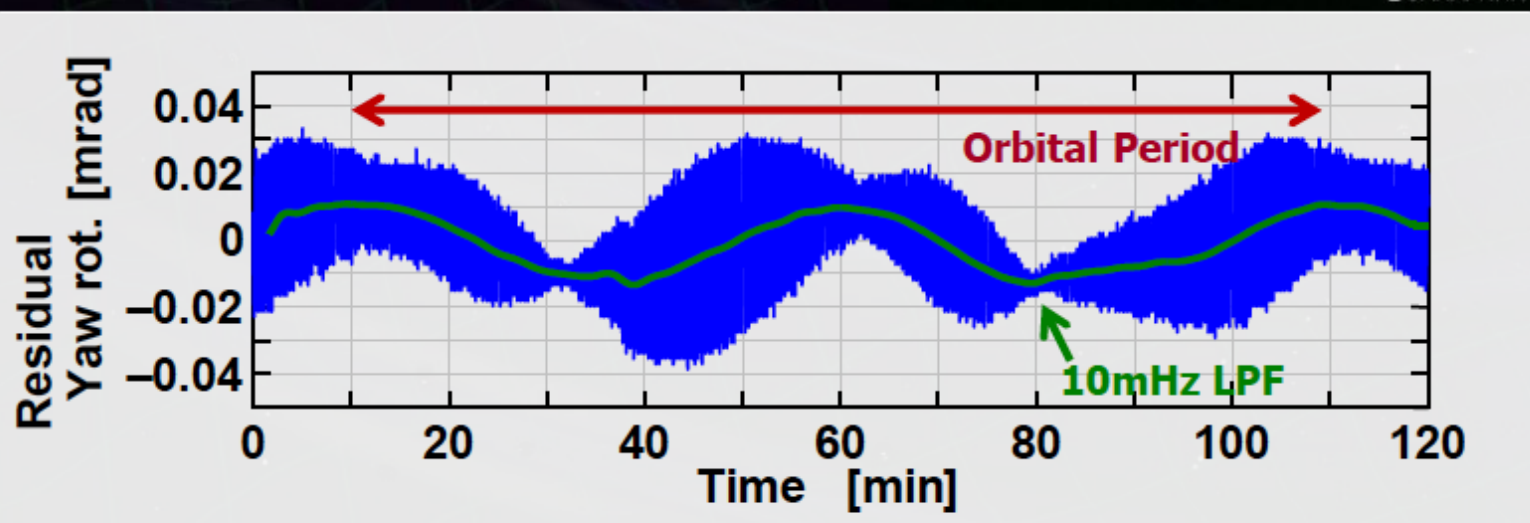
Slide by Ando, Kokuyama

## 長時間データ取得

Jun 17, 2010 ~120 min.

July 15, 2010 ~240 min.

地上重力波検出器との同時観測運転  
銀河中心方向に感度を持つよう姿勢決定



観測運用は「平成22年度 飛翔体による宇宙科学観測支援経費」の支援を受けて実施されました。

# DECIGO Pathfinder (DPF)

## DPF Payload

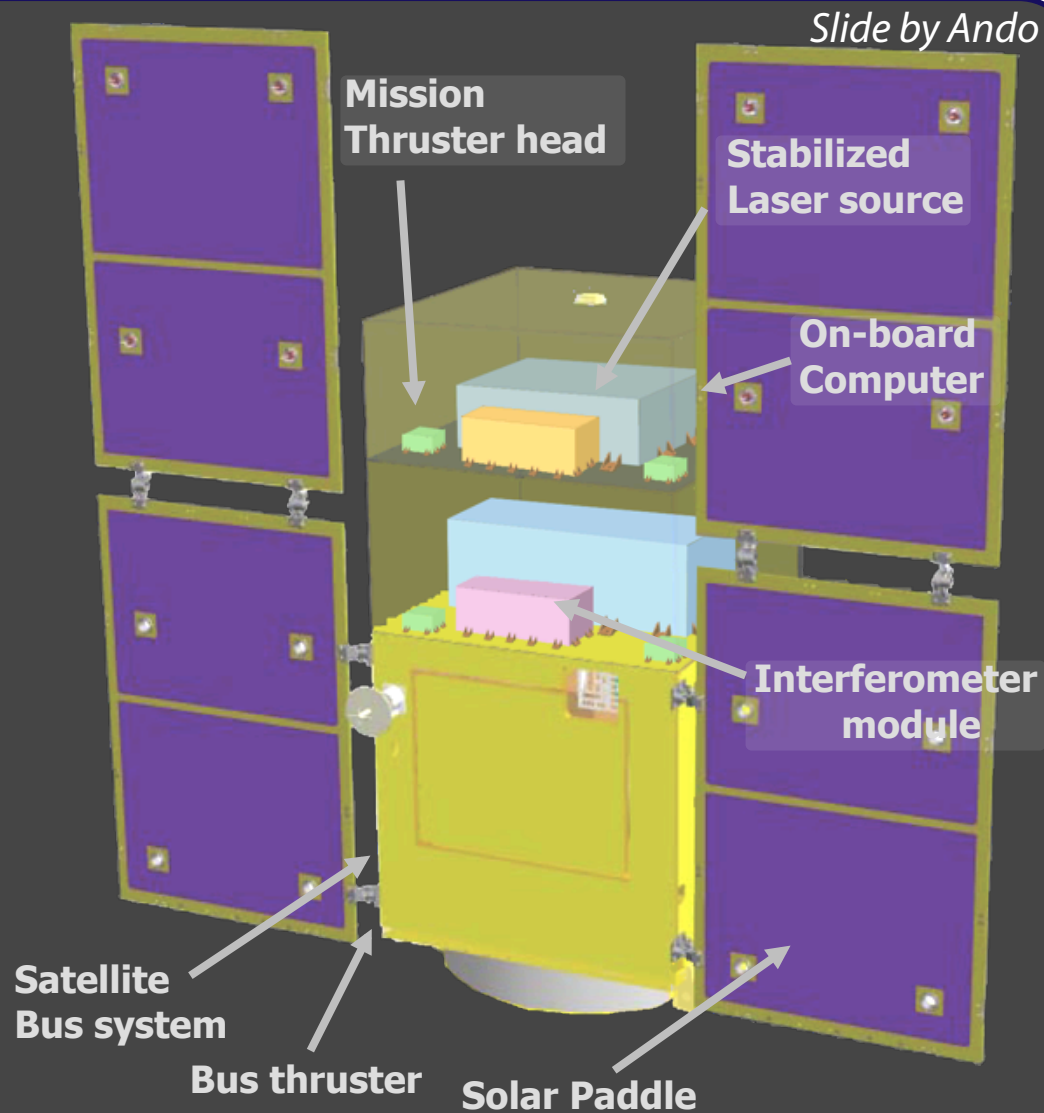
Size : 950mm cube  
Weight : 150kg  
Power : 130W  
Data Rate: 800kbps  
Mission thruster x8

Power Supply  
SpW Comm.

## Satellite Bus

(`Standard bus' system)

Size :  
950x950x1100mm  
Weight : 200kg  
SAP : 960W  
Battery: 50AH  
Downlink : 2Mbps  
DR: 1GByte  
3N Thrusters x 4

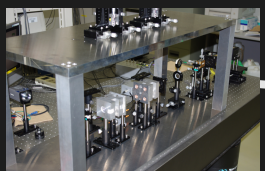




# DECIGOの根幹技術の実証

## DPFで実証される技術

FP干渉計の  
動作実証



$6 \times 10^{-16}$  m/Hz<sup>1/2</sup>  
の変位感度

$10^{-15}$  N/Hz<sup>1/2</sup>  
の外力雑音

$4 \times 10^{-18}$  m/Hz<sup>1/2</sup>  
の変位感度

$10^{-17}$  N/Hz<sup>1/2</sup>  
の外力雑音

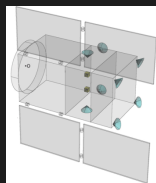
安定化レーザー  
光源の動作実証



$0.5$  Hz/Hz<sup>1/2</sup>  
の周波数安定度

$0.5$  Hz/Hz<sup>1/2</sup>  
の周波数安定度

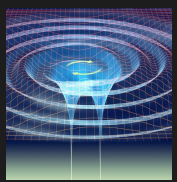
ドラッグフリー  
制御の実現



衛星変動安定度  
 $10^{-9}$  m/Hz<sup>1/2</sup>

スラスタ雑音  
 $10^{-7}$  N/Hz<sup>1/2</sup>

重力波の観測



0.1 Hz帯の連続  
観測とデータ解析

## DECIGOで必要とされる主要技術

基線長1000kmのFP干渉計  
宇宙における干渉計制御  
試験マスに対する外乱抑圧  
大型光学系の製作・制御

安定化レーザー光源による精密計測  
光源の周波数・強度安定化  
長基線長を利用した安定化制御

フォーメーションフライト  
安定な軌道の実現  
宇宙機間の距離制御  
ドラッグフリー制御  
低雑音スラスタ

観測運用  
時系列連続データの処理  
データの解析  
理論予測・他の観測との比較



# 小型科学衛星3号機にむけて

Slide by Ando

## JAXAの小型科学衛星シリーズの候補

標準衛星バス + 次期固体ロケットを利用して  
最低 3機の小型科学衛星 を打ち上げる計画

1号機 SPRINT-A/EXCEED (~2012年)

UV望遠鏡による惑星観測

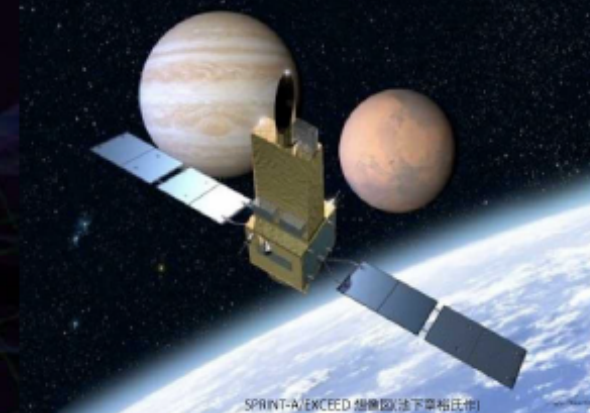
2号機 SPRINT-B/ERG (~2014/15年)

地球周辺の磁気圏観測



DPF: 小型科学衛星3号機 を目指す  
宇宙分野における新しいサイエンスの  
可能性として評価を受けている

打ち上げ目標 : 2016/17年度



小型科学衛星1号機 SPRINT-A/EXCEED



Next-generation Solid rocket booster  
(M-V Follow-on, Fig. by JAXA)

# サポート・協力体制

- **LISAとの協力関係**  
LISA/LPFの技術情報や経験の提供, LISA-DECIGO workshop (2008.11)
- **スタンフォード大グループとの協力**  
DPFの帯電制御, DPFドラッグフリーへの協力
- **NASA/GSFCとの協力**  
光源の開発  
GRACEとの共同観測検討
- **JAXA研究開発本部・誘導制御グループとの協力**  
→ DECIGOのフォーメーションフライト, DPFのドラッグフリー制御への協力
- **東京大学ビッグバンセンター (RESCEU)**  
DECIGOを主要プロジェクトとしてサポート (2009.4-)
- **地球重力場観測グループ (京大理, 東大地震研, 地球研, NAOJ)**  
DPFでの観測, データ解析, 得られる科学的成果の検討
- **国立天文台 先端技術センター (ATC)**  
中核機関としての DECIGO/DPFサポート 議論開始

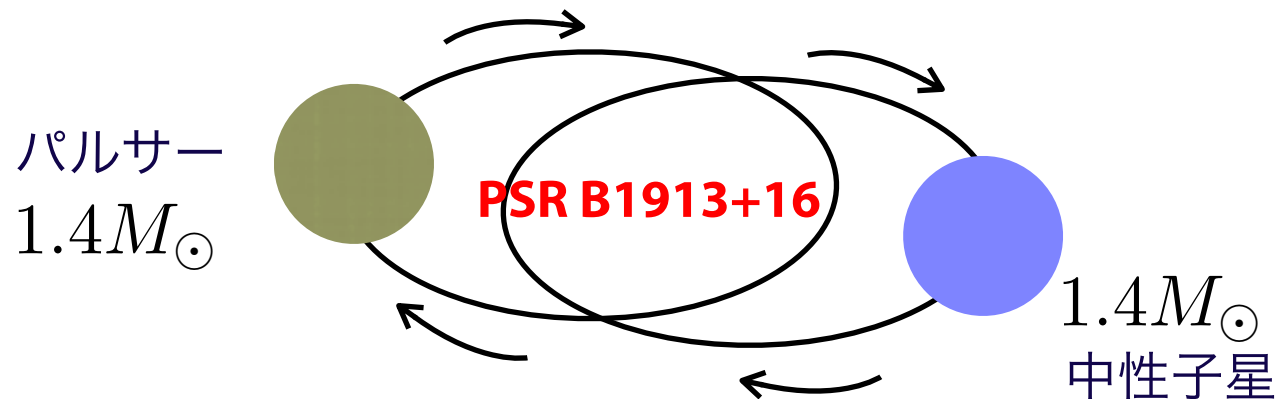
Slide by Ando

# まとめ

- DECIGO
  - ◆ 豊富なサイエンス（初期宇宙の観測、ダークエネルギー探査、重力理論の検証etc）
- DECIGO Pathfinder
  - ◆ DECIGOにむけた重要なmilestone
  - ◆ JAXA小型科学衛星3号機にむけたミッション提案活動
- SWIM
  - ◆ 世界初の宇宙重力波検出器
  - ◆ データ解析中

# 重力波とは

- 一般相対論で予言される波動現象
  - ◆ 潮汐的な時空の歪みが伝わっていく
  - ◆ 質量の加速度運動から放出される
  - ◆ 存在の間接的な証明
    - PSR B1913+16の公転周期が減少中
    - 重力波によるエネルギーロスで説明がつく
  - ◆ 直接観測は未だになされていない

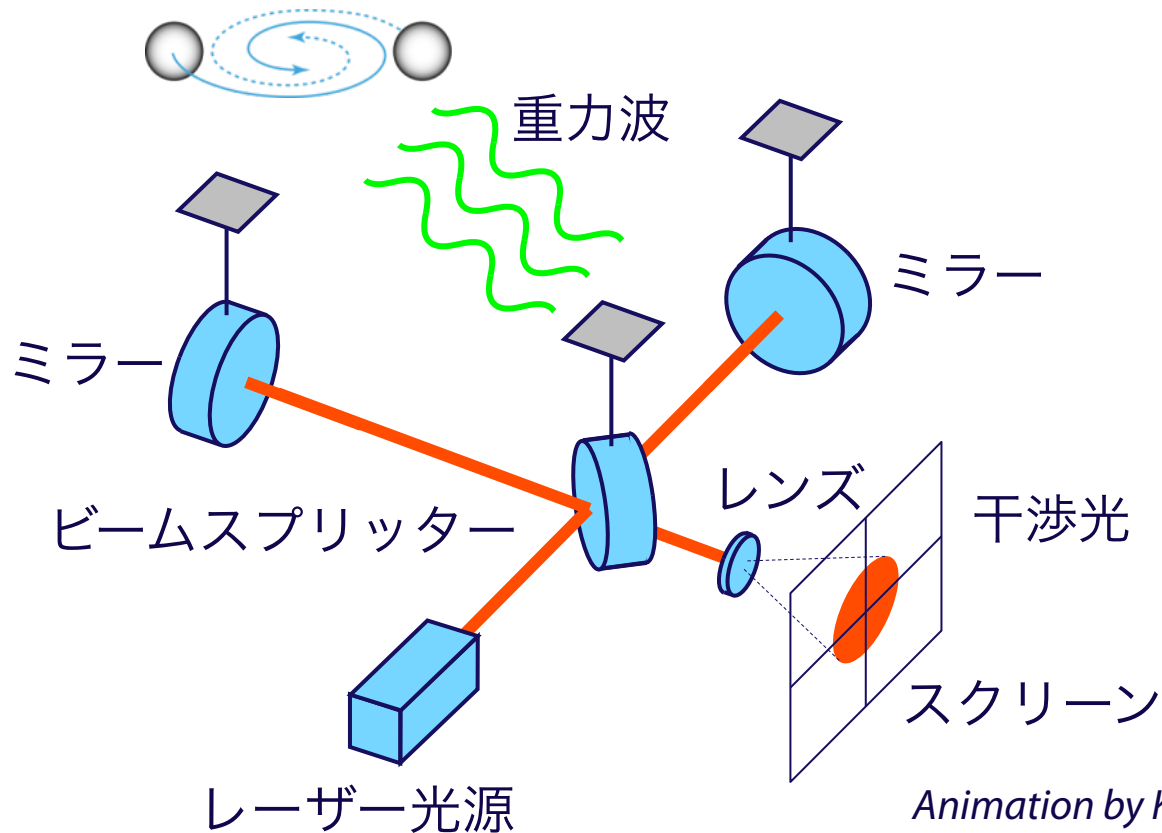




# 重力波の検出

- 最近の大型検出器はレーザー干渉計測
- 基線長が長いほど、感度が高い

潮汐的な現象なので離れているほうが影響が大きくなる



# そのほか現状

## • LISAの状況変化

- 欧米の宇宙重力波望遠鏡 LISA (Laser Interferometer Space Antenna)が、ESA/NASA共同プロジェクトから ESA主導プロジェクトに変更。
  - NGO (New Gravitational-wave Observatory) として計画見直し作業中。  
基線長 1/5 (100万km), 主宇宙機 1機 – 副宇宙機 2機 構成に変更など。

## • DECIGOグループの体制

- 川村さんが代表を退く。 → 安東が代表代理となっています。
- DPFの体制などは、大きな変更はなし。

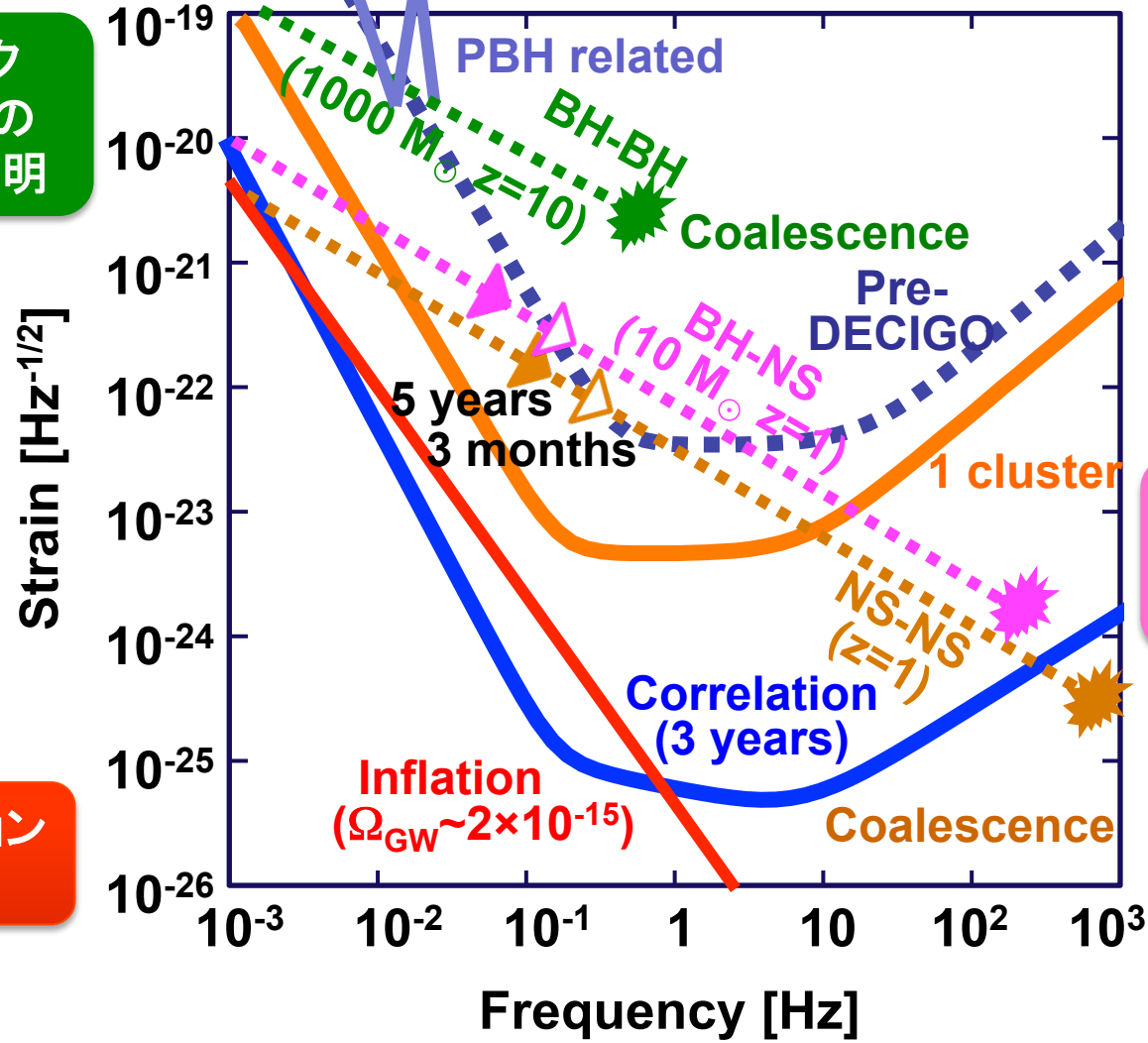
Slide by Ando

# 期待されるサイエンス

S. Kawamura+, *Classical and Quantum Gravity*, **28**, 094011 (2011)

巨大ブラック  
ホール形成の  
メカニズム解明

原始ブラック  
ホール  
ダークマター



インフレーション  
の検証

Brans-Dicke  
parameterの  
決定

宇宙膨張の  
加速度計測  
⇒ダークエネルギー  
の制限