CRC将来計画シンポジウム
＠東京大学・柏キャンパス
２０１０年９月１６日

川村静児（国立天文台）

Illustration: Sora

話の内容

1. DECIGOの意義、LCGTとの関係
2. 予備概念設計
3. 目標感度と得られるサイエンス
4. ロードマップ
5. 現状と今後
6. まとめ

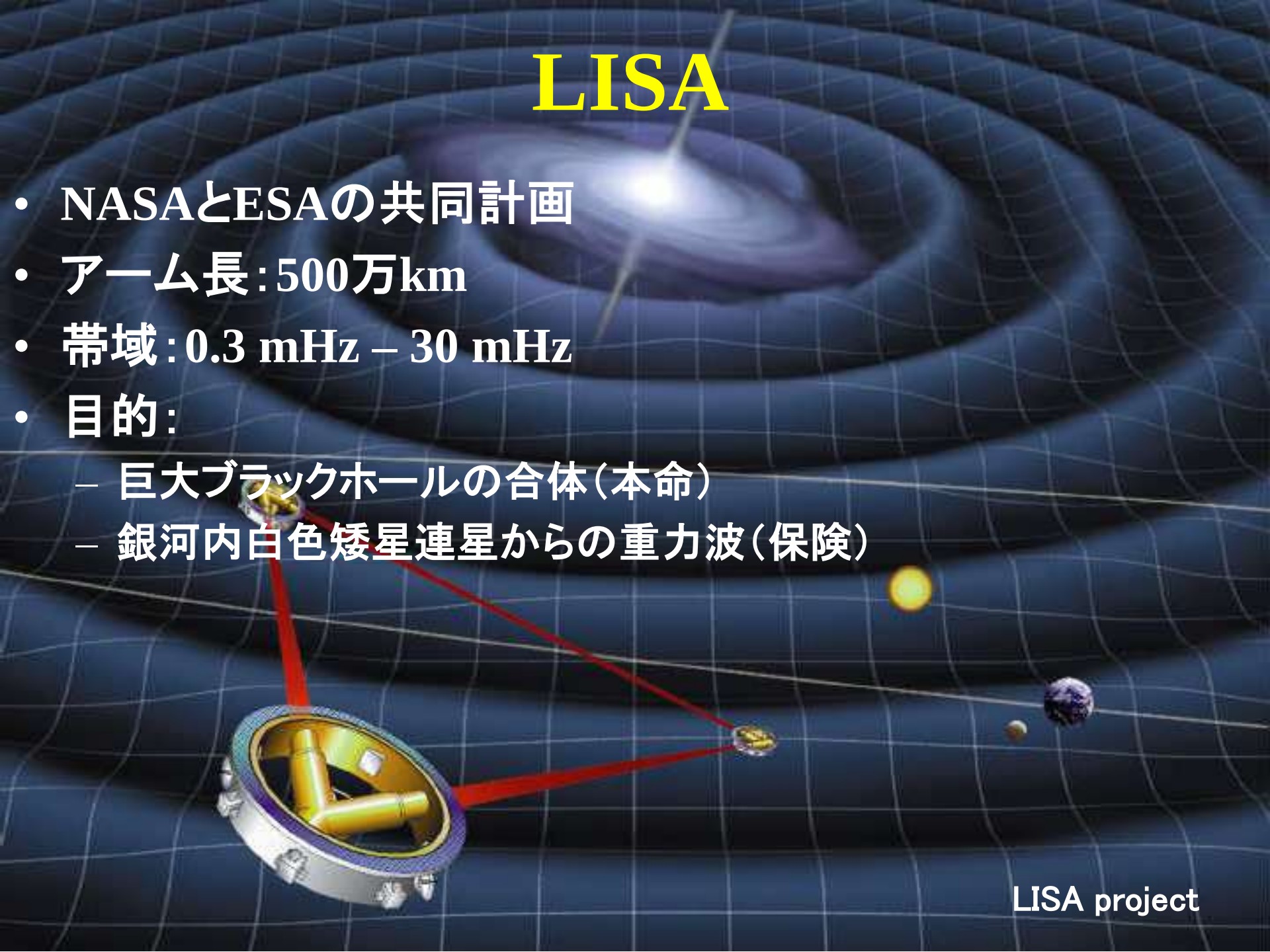
なぜスペース？

重力波検出にとって有利

- 低周波で装置の感度が上がる
  - 重力波信号が増幅
    - 光と重力波の相互作用が長く続く
    - ただし高周波では信号がキャンセル
  - 雑音が小さい
    - 地面振動や重力場揺らぎがない/小さい
      （地上検出器においては低周波で支配的）
- 低周波では期待できる重力波信号が大きい
  - 重いものはゆっくり動く（低周波）
  - 重いものは大きな重力波を出す

LISA

- NASAとESAの共同計画
- アーム長：500万km
- 帯域：0.3 mHz – 30 mHz
- 目的：
  - 巨大ブラックホールの合体（本命）
  - 銀河内白色矮星連星からの重力波（保険）

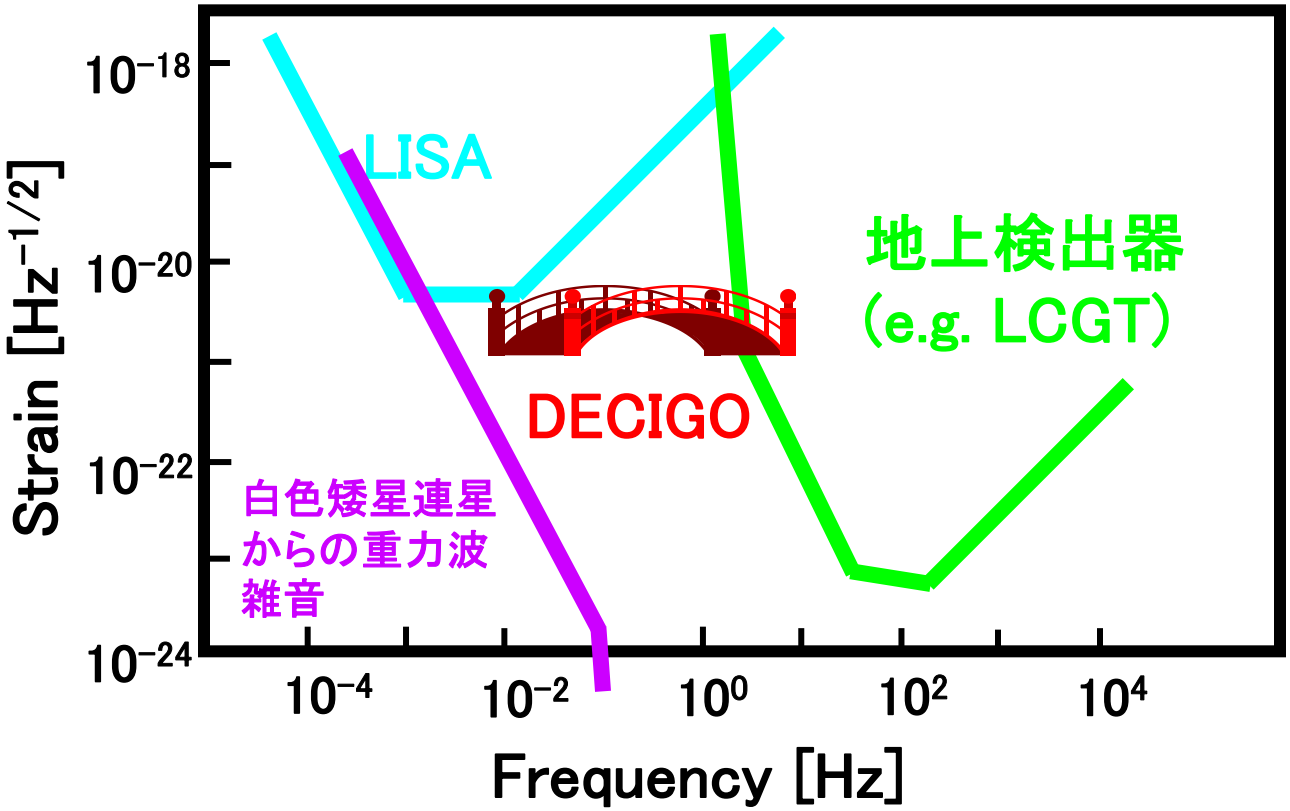


LISA project

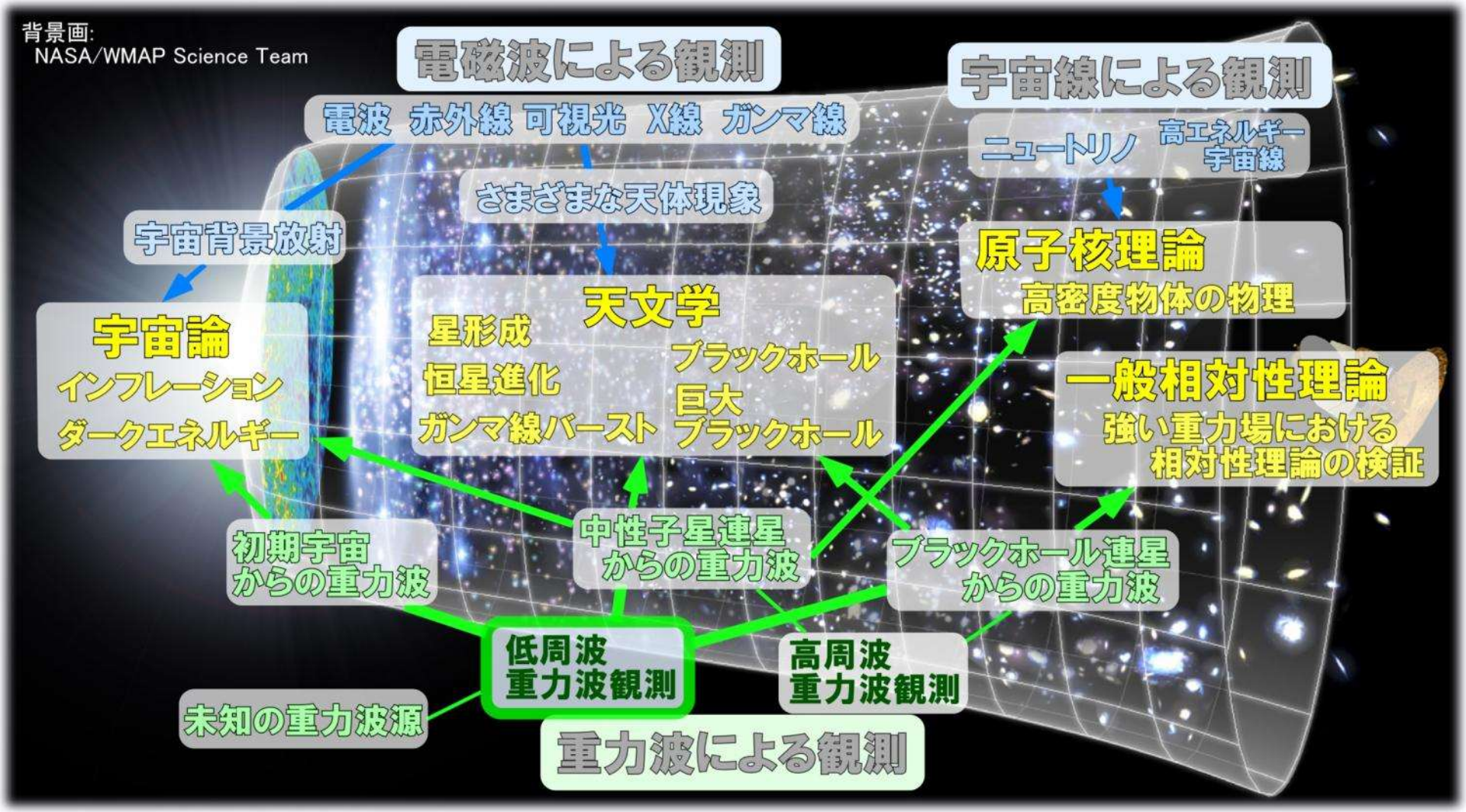
DECIGOとは？

Deci-hertz Interferometer Gravitational Wave Observatory

- LISAと地上検出器の帯域のギャップを埋める
- 超高感度の実現が可能！



DECIGOの目的:
重力波天文学の創成・発展



日本の重力波検出実験の流れ

まずは、

LCGTで重力波初検出

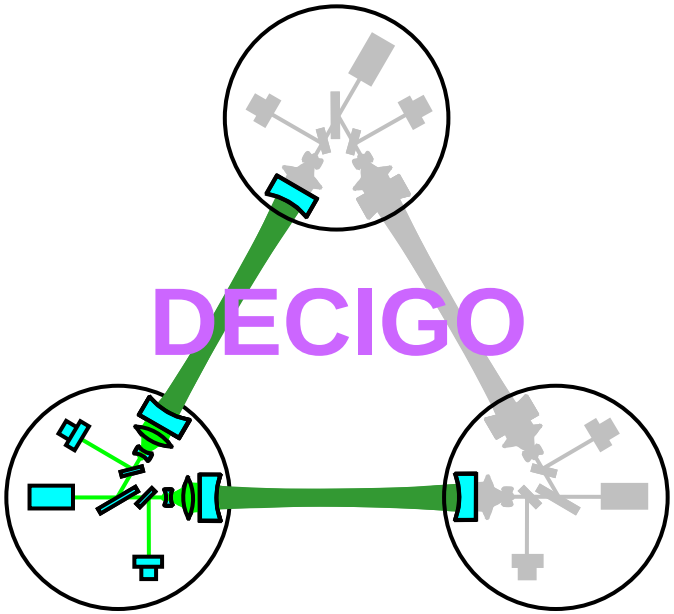
⇒重力波天文学の創成

次に、

DECIGOで重力波の頻繁な検出

⇒重力波天文学の発展

First Priority !



LCGTで重力波検出技術の熟成

その技術をDECIGO に応用

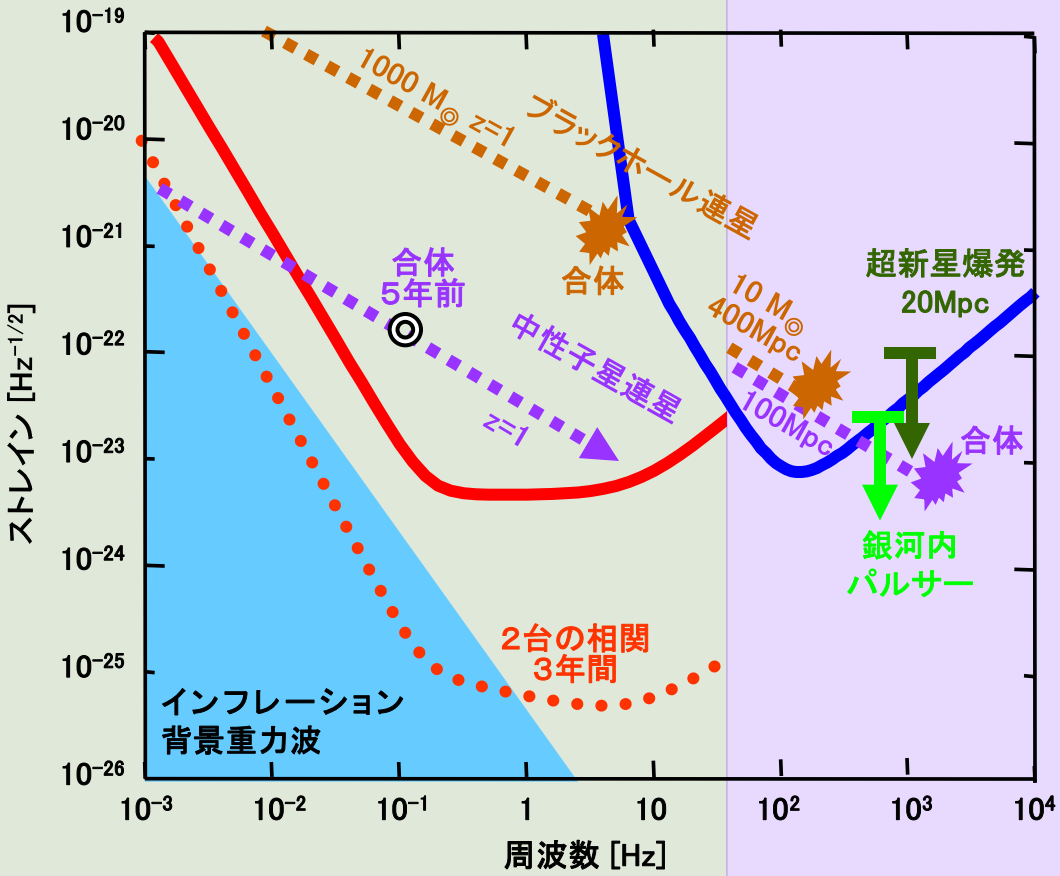
検出器の感度，重力波源，サイエンス

DECIGO

重力波源：
宇宙論的現象

サイエンス：
- インフレーション
- 巨大BH形成
- ダークエネルギー
- ダークマター
- 一般相対論の検証

検出頻度：
常時～10^5個



LCGT

重力波源：
天体現象

サイエンス：
- 重力波の初検出
- ガンマ線バーストの正体
- 超新星爆発の爆発のメカニズム

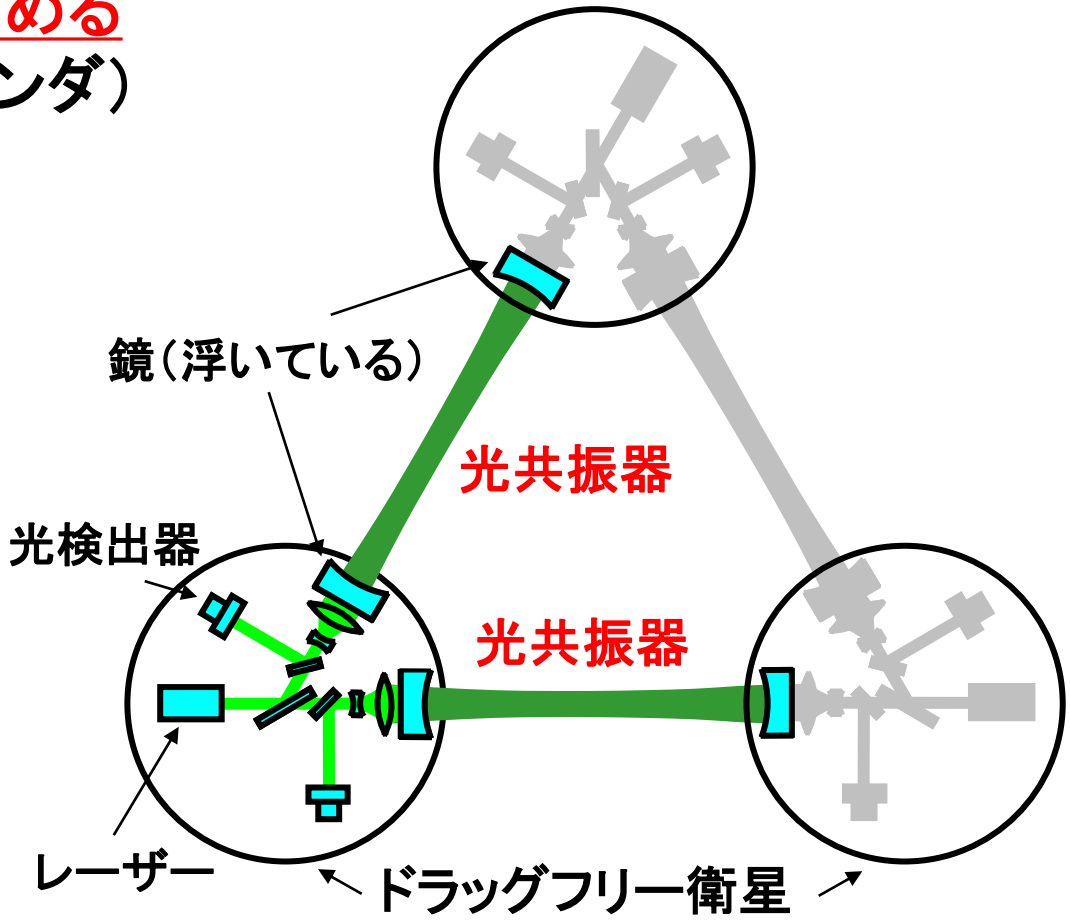
検出頻度：
年間～10個

DECIGOの予備概念設計

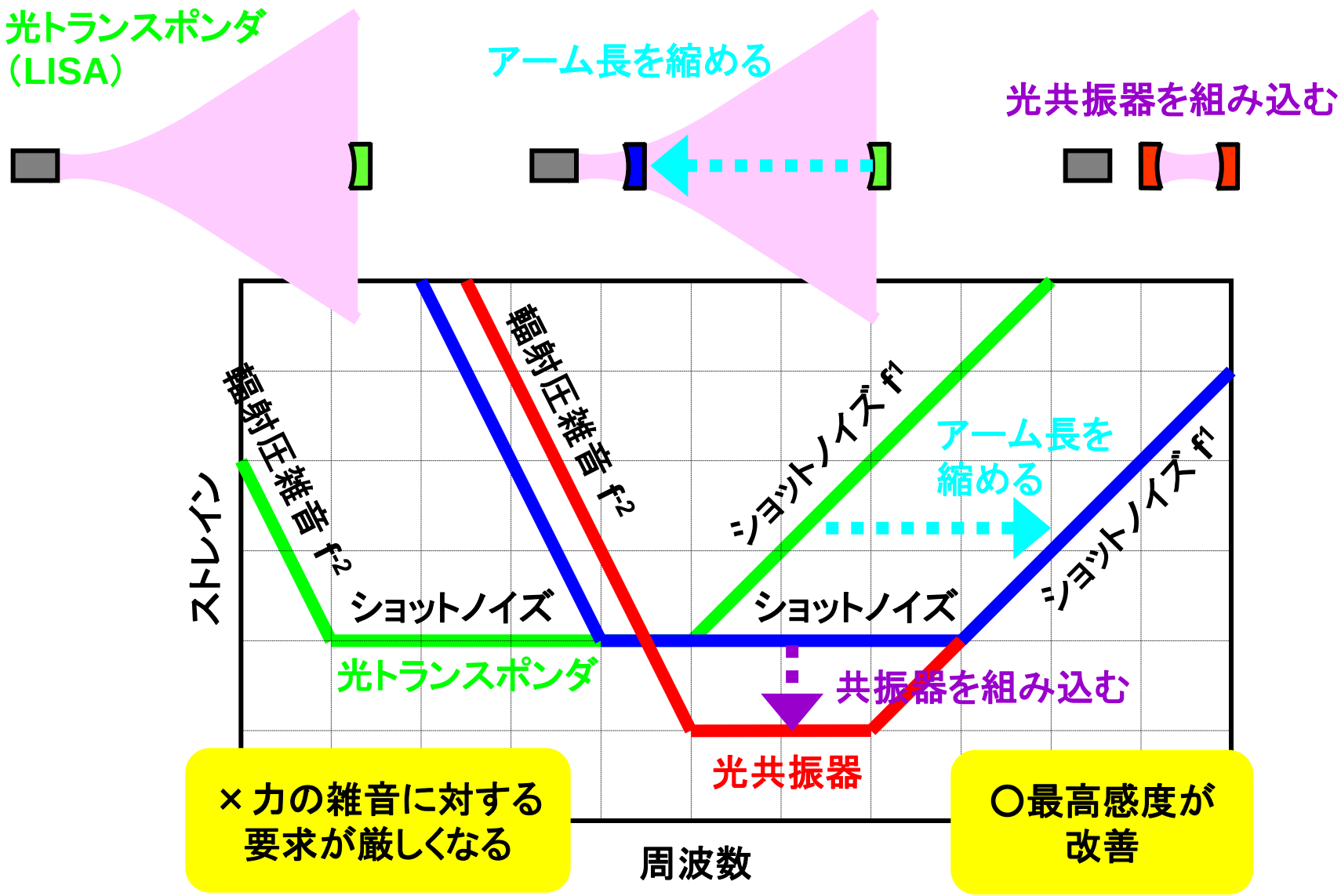
光共振器を使って感度を高める
（参考：LISAは光トランスポンダ）

アーム長：1000 km
ミラー直径：1 m
レーザー波長：532 nm
フィネス：10
レーザーパワー：10 W
ミラー質量：100 kg

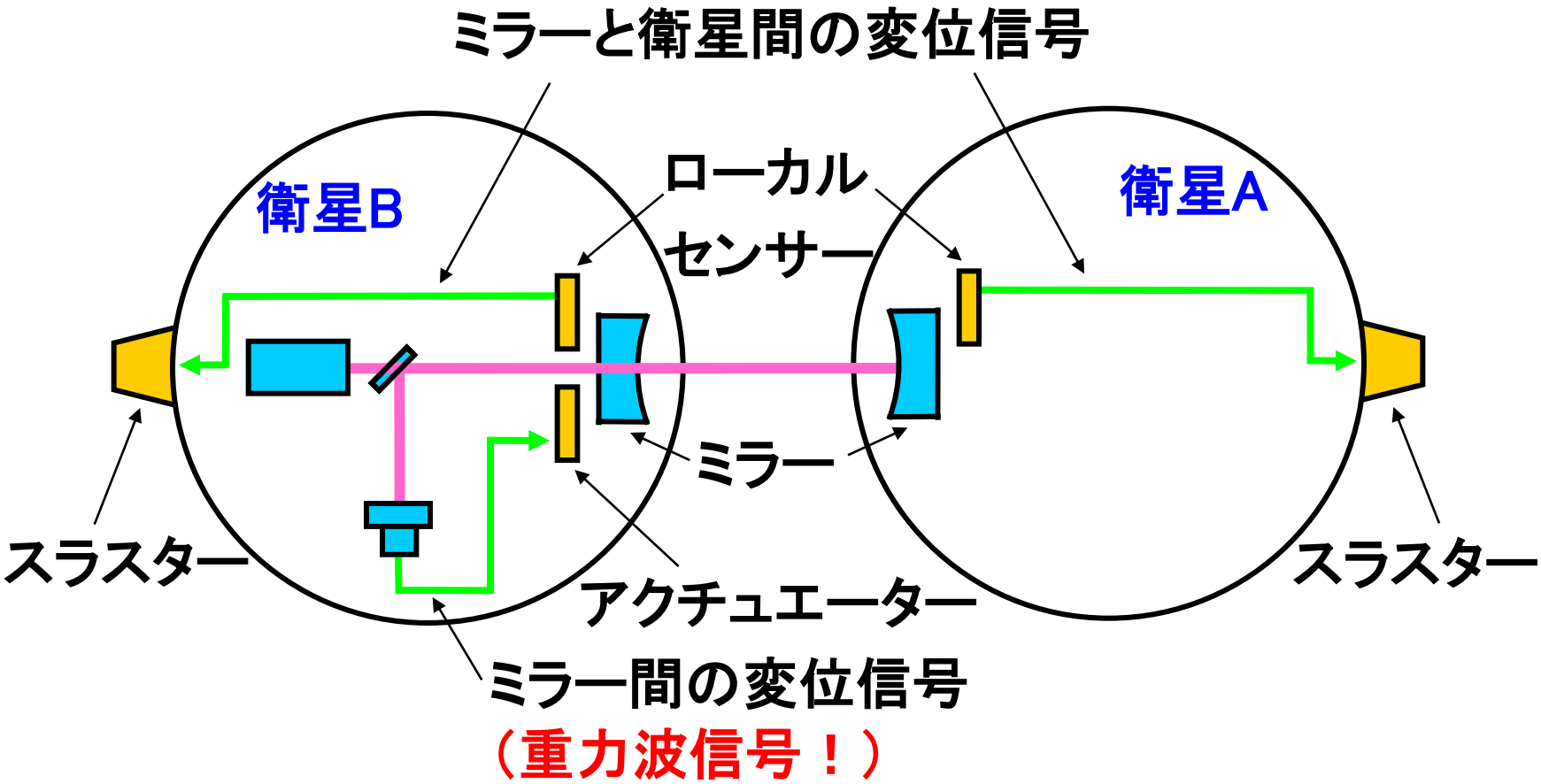
干渉計3台で1クラスター



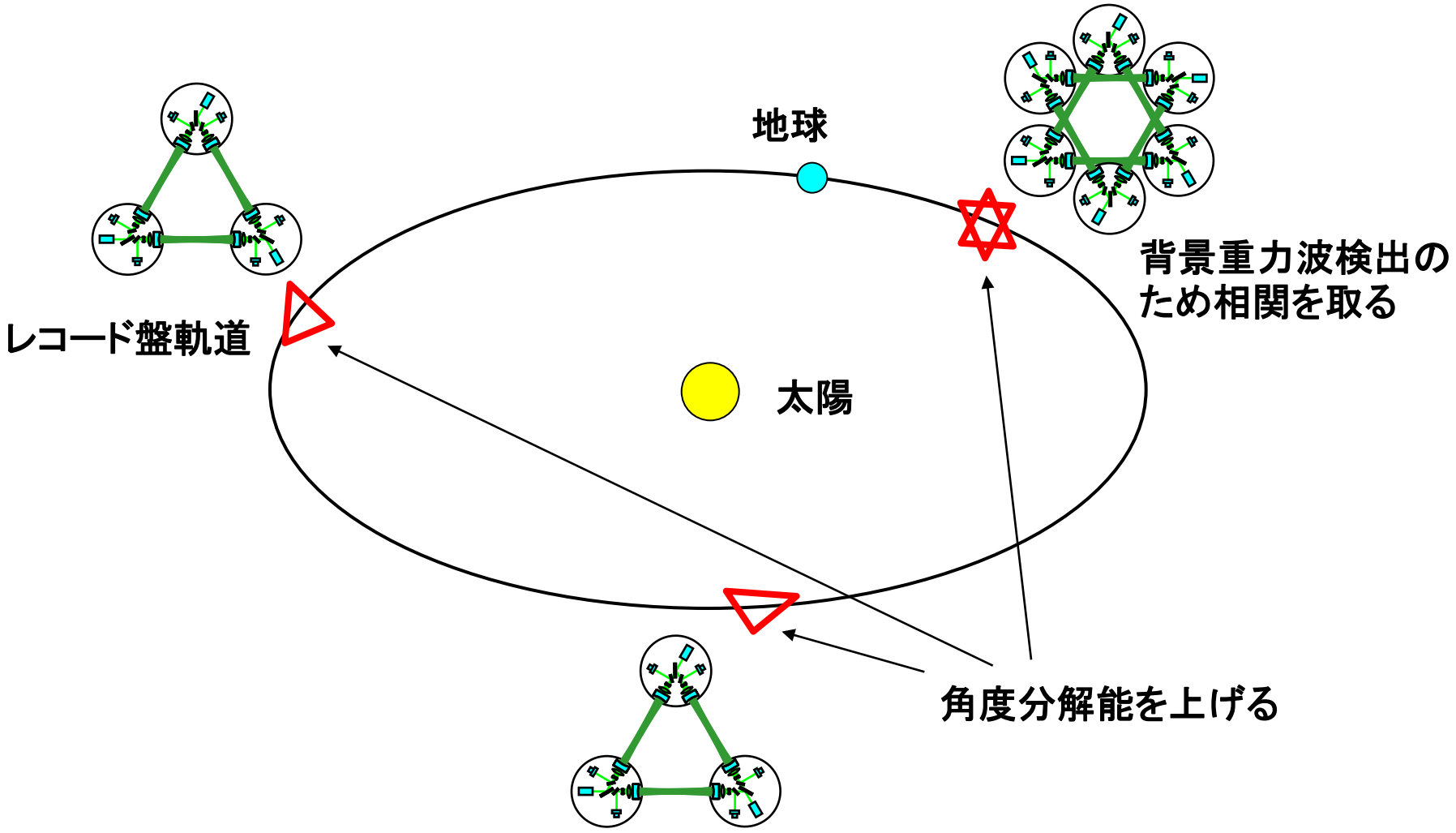
なぜ光共振器？


光トランスポンダ
（LISA）
アーム長を縮める
光共振器を組み込む
輻射圧雑音 f-2
輻射圧雑音 f-2
ショットノイズ f1
アーム長を
縮める
ショットノイズ f1
ストレイン
ショットノイズ
ショットノイズ
光トランスポンダ
共振器を組み込む
光共振器
周波数
× 力の雑音に対する
要求が厳しくなる
○最高感度が
改善

ドラッグフリー衛星と干渉計制御



軌道とコンステレーション（案）



DECIGOの目標感度と得られるサイエンス

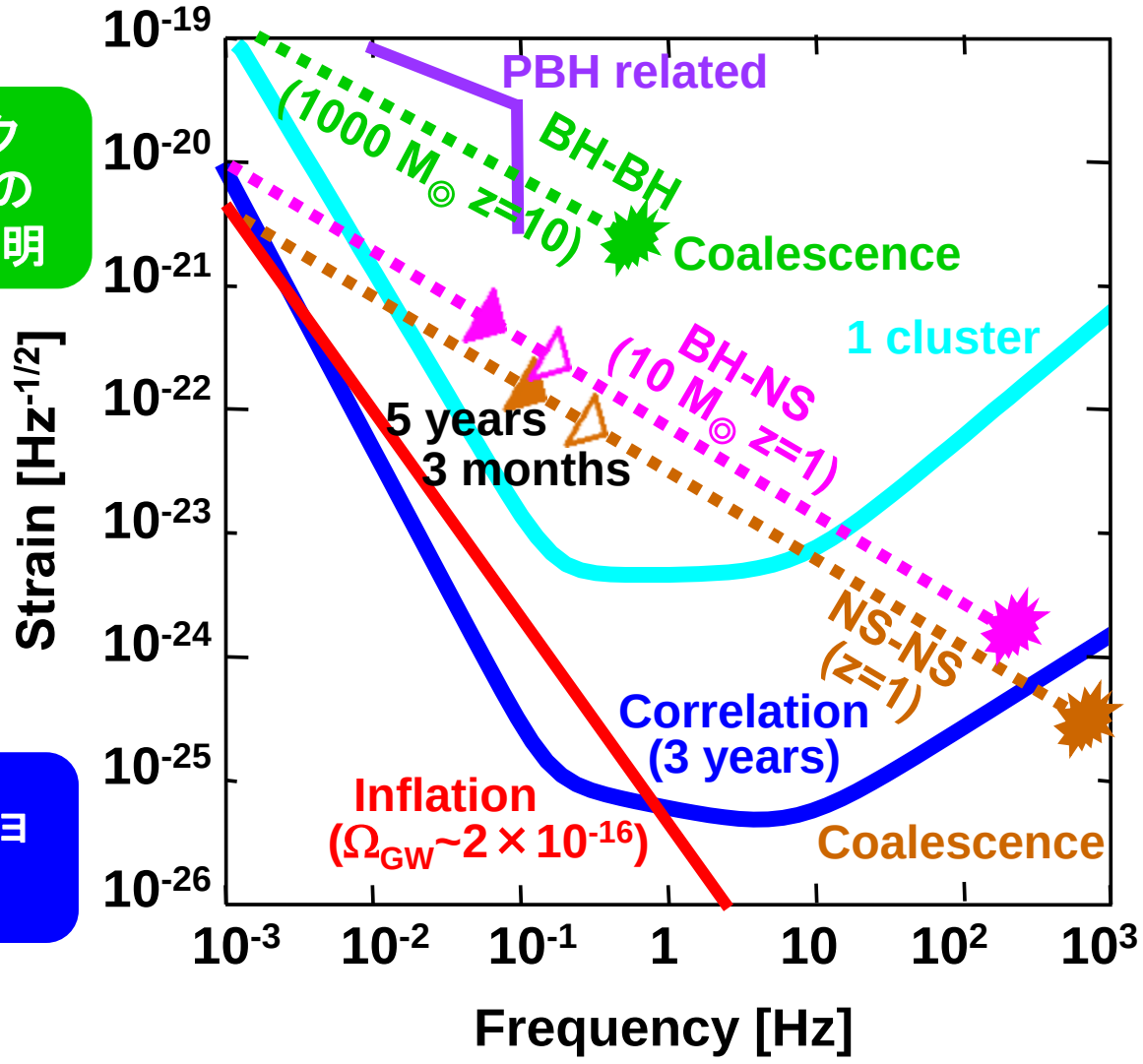
巨大ブラックホール形成のメカニズム解明

ダークマターの探索

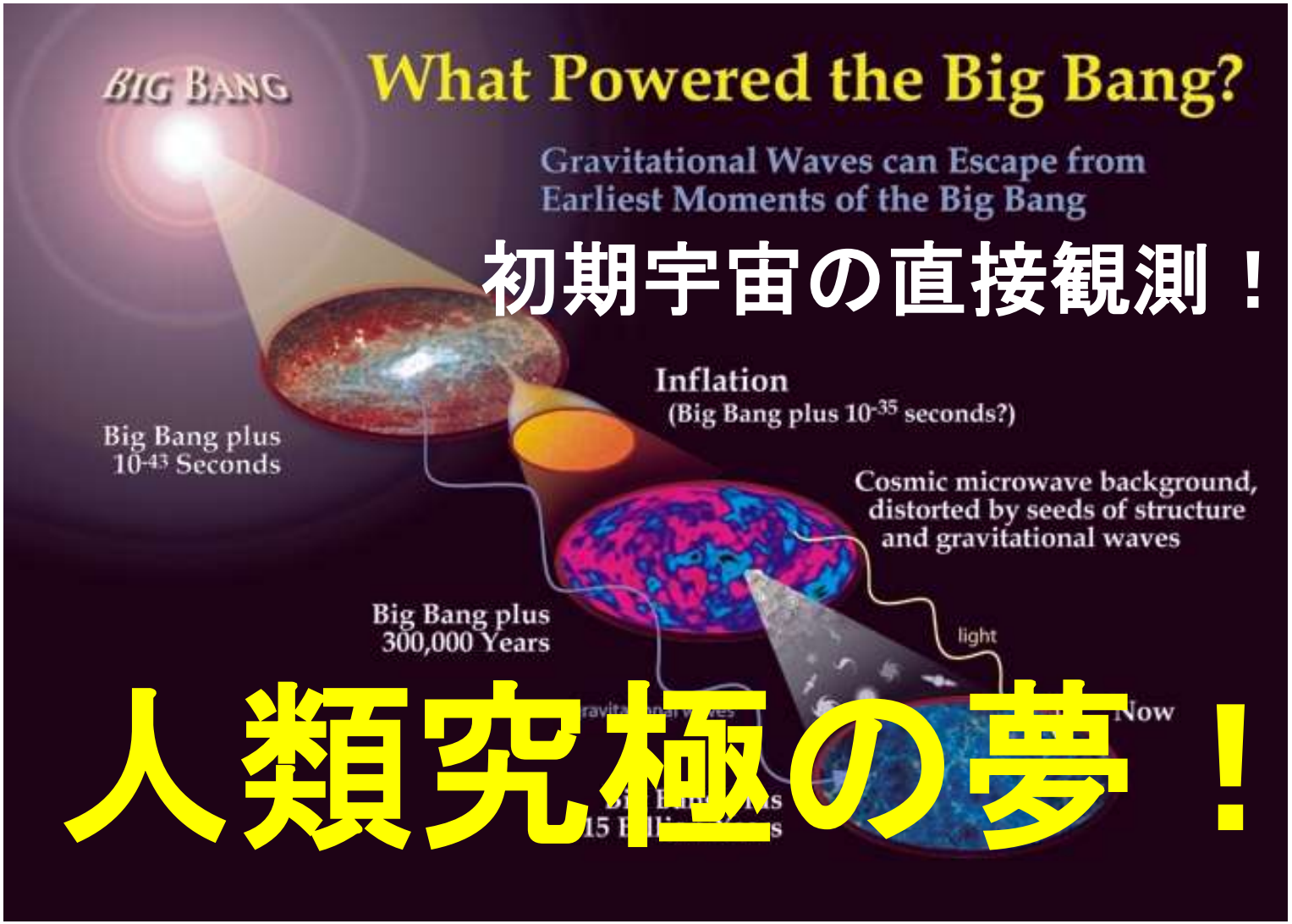
一般相対性理論の検証

インフレーションの検証

宇宙膨張加速度の計測



DECIGO最大の目的は？

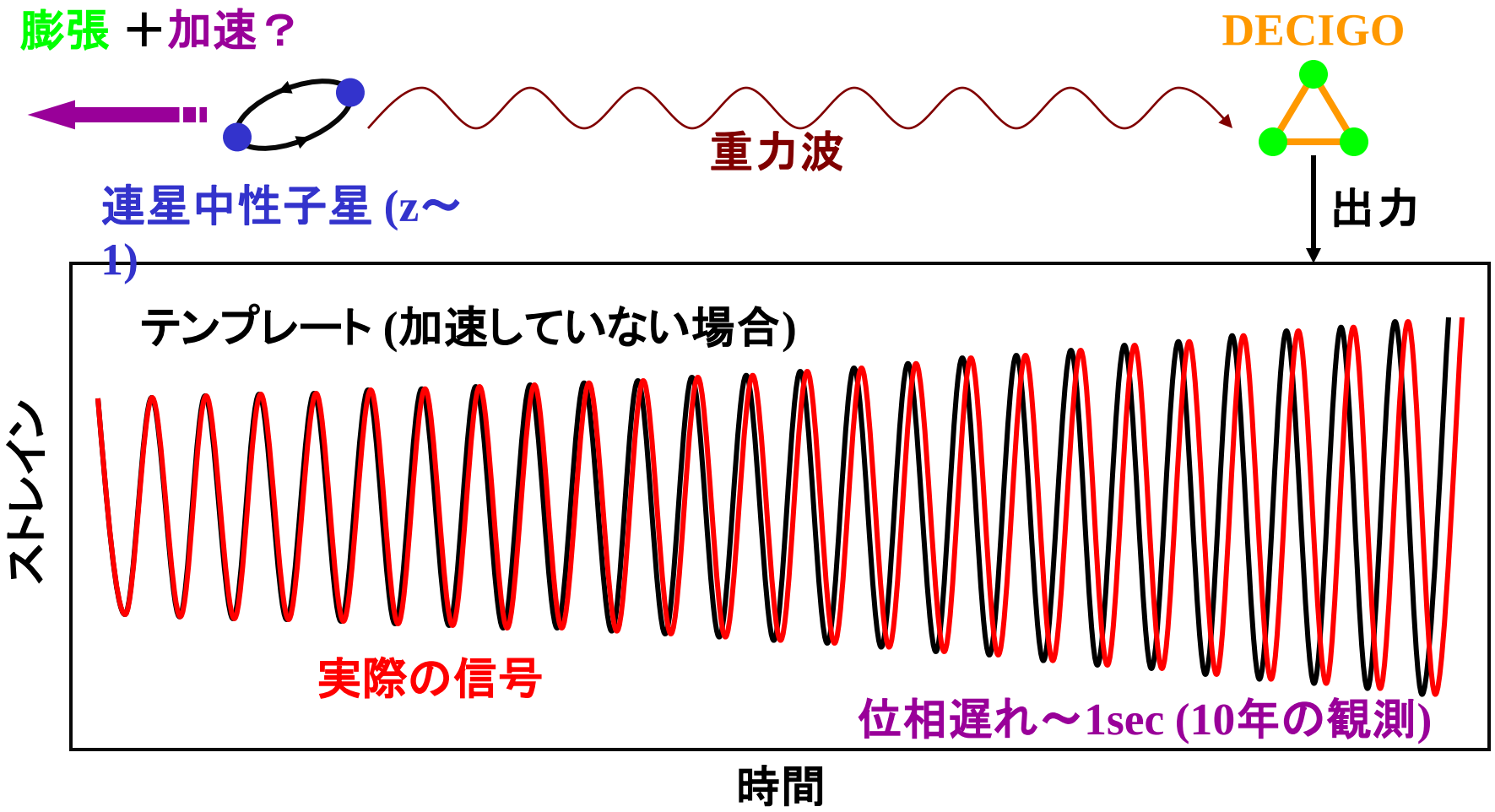


NASA

初期宇宙の直接観測

- インフレーション（宇宙誕生後10^{-35}秒後）において発生した重力波の直接観測
  - インフレーション存在の実証
  - インフレーションモデルの正否
  - パリティの破れ（右巻き、左巻きの非対称性）
  - テンソル、スカラー、ベクトルモードの分離
  - などなど
- 成功すればノーベル賞確実

宇宙の膨張加速度の直接計測



Seto, Kawamura, Nakamura, PRL 87, 221103 (2001)

膨張加速度の間接計測

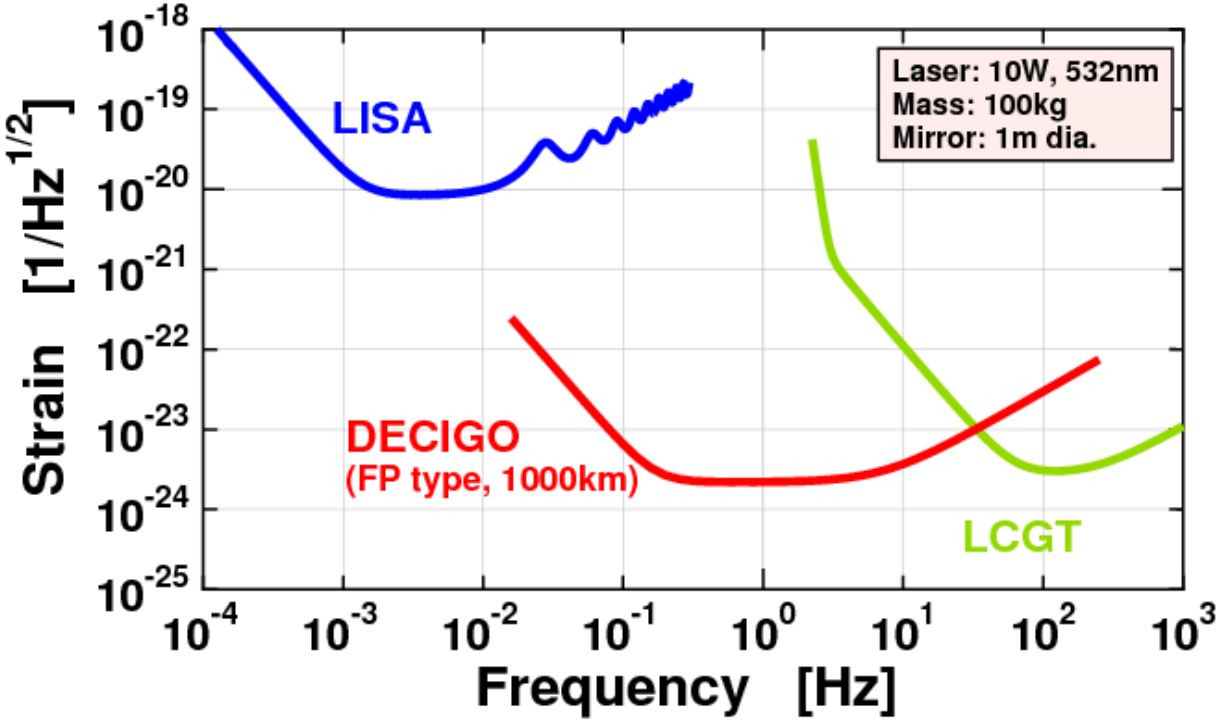
- 距離
  - 重力波信号から直接決定
  - 電磁波による計測と比べ不確定な要素がない
- 赤方偏移
  - 重力波源の方向を決定（数秒角、z=1）
  - 母銀河を同定
  - 母銀河の赤方偏移を観測

DECIGOとGRB

- 中性子星連星の合体の予測
  - z<5
  - 合体5年前
  - 10,000個/年～30個/日
  - 方向精度：数秒角
- Short GRB（SGR以外）が中性子星連星の合体ならば
  - ビーミングにより1/30が観測可能と仮定
  - 予測のあたり：1個/日

力の雑音とセンサーノイズに対するリクワイヤーメント(LISA, LCGTとの比較)

- 力の雑音: LISAより50倍厳しい
  - ストレインでほぼ同じ, 距離: 1/5000, 鏡の質量: 100
- センサーノイズ: LCGTより30倍ゆるい
  - ストレインでほぼ同じ, ストーレッジタイム: 30)



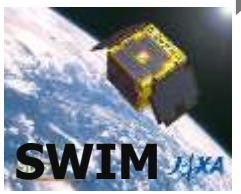
研究体制、予算規模、実現方法

- 研究体制：JAXA/ISASと国立天文台および多くの大学・研究機関との連携による
- 予算規模：1000億円以上？
- 実現方法：NASA・ESAも含めた国際協力

ロードマップ

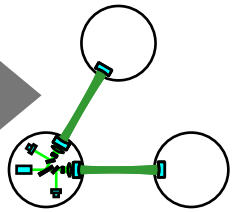
	2009	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
ミッション																					

R&D
製作



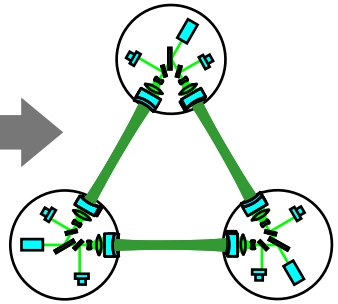
DICIGOパスファインダー
(DPF)

R&D
製作



Pre-DECIGO

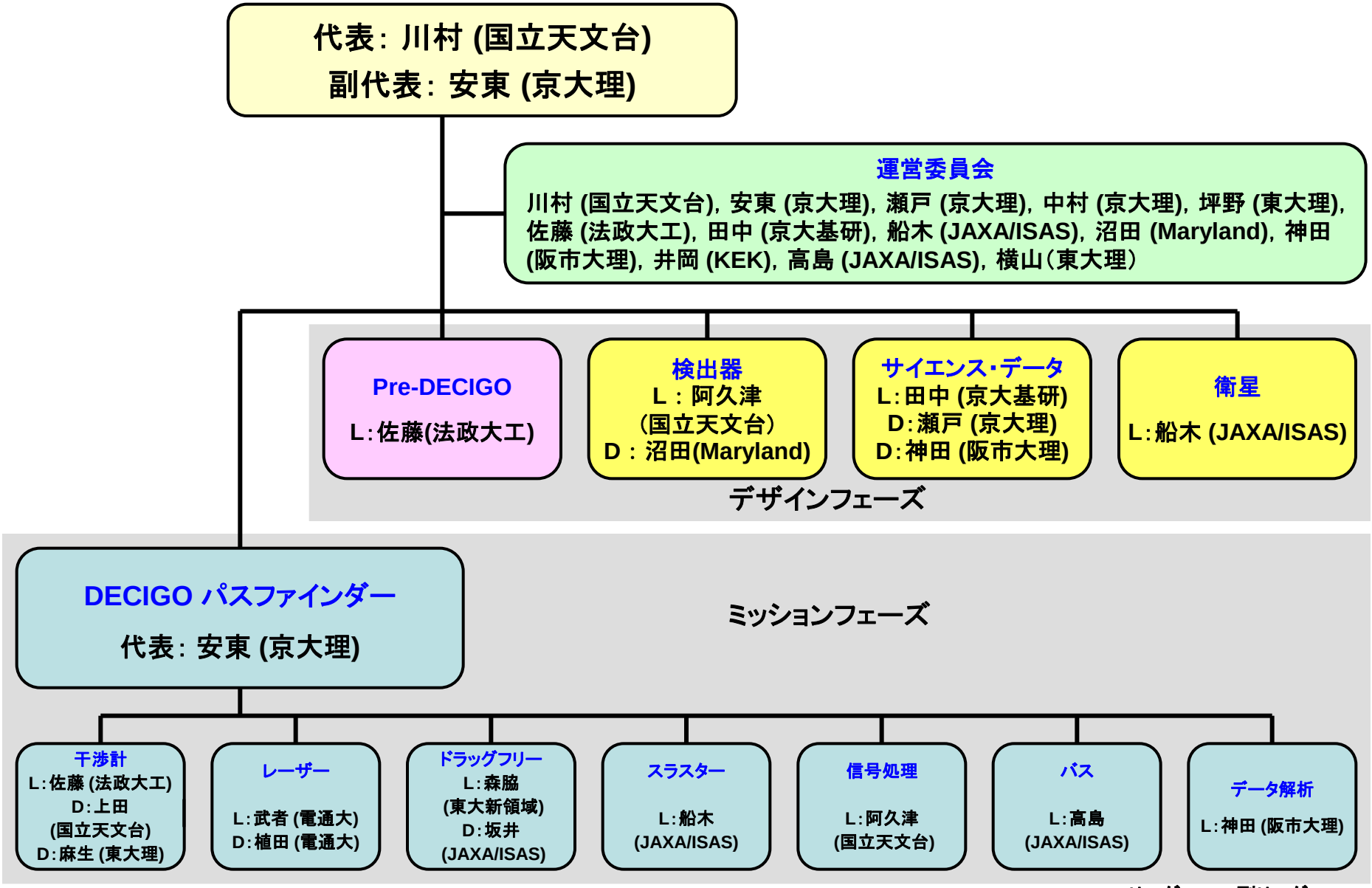
R&D
製作



DECIGO

目的	要素技術の実証試験	最小限のスペックで 重力波検出 衛星間共振器の実現	重力波天文学の発展
スコープ	衛星1台 アーム1本	衛星3台 干渉計1台	衛星3台 干渉計3台 ×4クラスター

DECIGO暫定組織

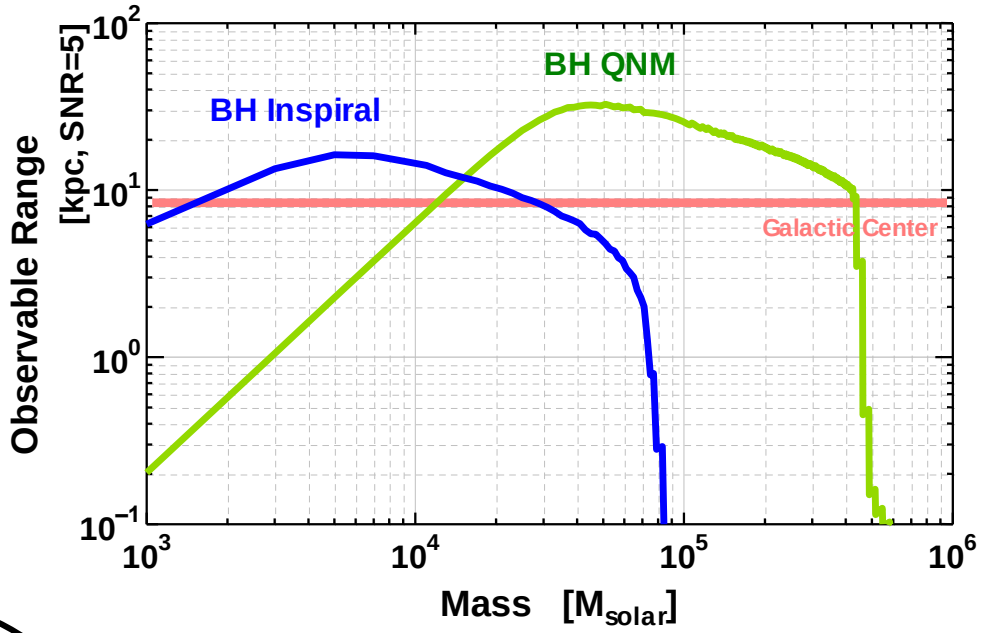


L:リーダー, D:副リーダー

DECIGOパスファインダー

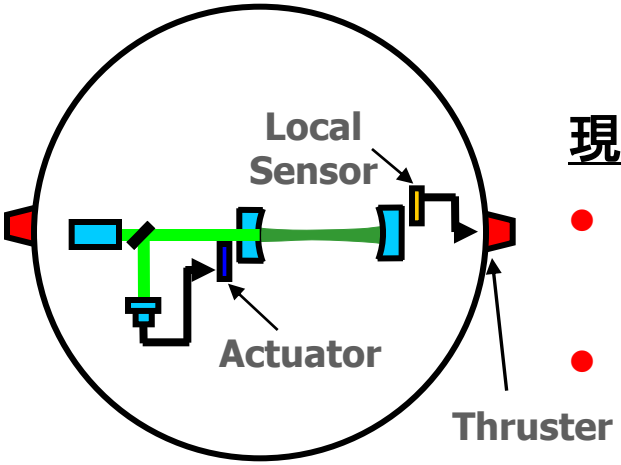
目的

- 技術実証
  - レーザー安定化システム
  - 光共振器の制御
  - 衛星のドラッグフリー制御
  - クランプ機構
- 低周波での重力波観測
  - 銀河内BH合体
- 地球重力場観測



スコープ

- 衛星1台
- 光共振器
- 地球周回



現状

- ISAS小型科学衛星2号機の最終候補の2つに残るも落選
- 3号機への採択を目指す

会議等

- DPFサイエンス検討会（2009年11月24日）
  - 東大ビッグバンセンター主催
  - DPFのサイエンス、地球重力場計測等
- 第8回DECIGOワークショップ（2010年6月14日）
  - 東大ビッグバンセンター主催
  - 衛星による観測、DECIGOのサイエンス
- 物理学会（2010年9月11−14日）
  - DECIGO関連で13講演
- 第9回DECIGOワークショップ（2010年11月25日予定）
  - 国立天文台主催
  - 周辺分野との技術の融合、DECIGOのサイエンス

研究協力等

- LISA
  - 第１回LISA-DECIGOワークショップ開催（平成20年11月）
  - サポートレター
- Stanford Univ.
  - 帯電制御その他で共同研究　⇒　MOU
- NASA Goddard
  - ファイバーレーザーの共同研究　⇒　MOU検討
- JAXA誘導制御グループ
  - フォーメーションフライトの共同研究
- 東大ビッグバンセンター
  - DECIGOがメインテーマの一つとなる
- 国立天文台・先端技術センター
  - 協力体制についての検討中

まとめ

- LCGTの次はDECIGO
- DECIGOによって重力波天文学を大きく発展させることが可能
- その最初のステップとしてDPFを打ち上げることが最重要

21世紀は
重力波の時代ぜよ！

Illustration:
Sora