

# スペース重力波アンテナ DECIGO計画 III

物理学会 @宮崎ワールドコンベンションセンター  
2003年9月12日

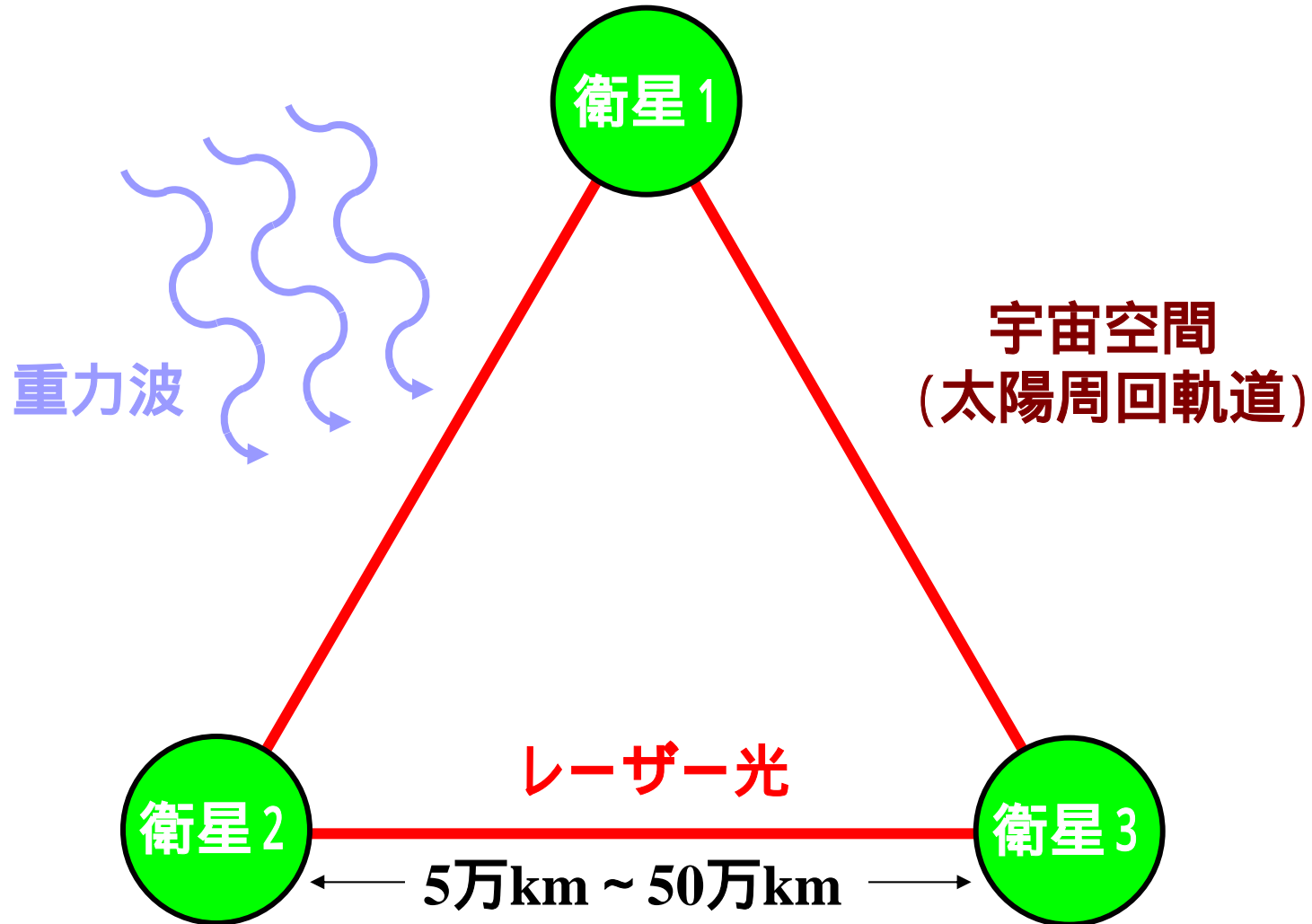
川村静児, 中村卓史<sup>A</sup>, 坪野公夫<sup>B</sup>, 瀬戸直樹<sup>C</sup>, 高野忠<sup>D</sup>, 安東正樹<sup>B</sup>, 井岡邦仁<sup>C</sup>, 植田憲一<sup>E</sup>,  
神田展行<sup>F</sup>, 阪上雅昭<sup>G</sup>, 佐々木節<sup>C</sup>, 佐藤孝<sup>H</sup>, 柴田大<sup>I</sup>, 田中貴浩<sup>J</sup>, 千葉剛<sup>A</sup>, 中尾憲一<sup>F</sup>, 長  
野重夫, 沼田健司<sup>B</sup>, 細川瑞彦<sup>K</sup>, 横山順一<sup>C</sup>, 吉野泰造<sup>K</sup>, 他

DECIGOワーキンググループ<sup>A, B, C, D, E, J, L, M, N, O, P, Q, R, S, T, U, V, W, X, Y, Z</sup>

国立天文台, 京大理<sup>A</sup>, 東大理<sup>B</sup>, 阪大理<sup>C</sup>, 宇宙研<sup>D</sup>, 電通大<sup>E</sup>, 阪市大理<sup>F</sup>, 京大総合<sup>G</sup>, 新潟  
大工<sup>H</sup>, 東大教養<sup>I</sup>, 京大基研<sup>J</sup>, 通総研<sup>K</sup>, お茶大理<sup>L</sup>, 近大理<sup>M</sup>, 産総研<sup>N</sup>, 東海大理<sup>O</sup>, 東大宇  
宙線研<sup>P</sup>, 東北大理<sup>Q</sup>, 新潟大理<sup>R</sup>, 新潟大自然<sup>S</sup>, 弘前大理<sup>T</sup>, 広島大理<sup>U</sup>, 理研<sup>V</sup>, 早大理工<sup>W</sup>,  
Caltech<sup>X</sup>, Penn. State Univ.<sup>Y</sup>, Washington Univ.<sup>Z</sup>

# DECIGO

(Deci-hertz Interferometer Gravitational Wave Observatory)



# スペース重力波アンテナの特徴

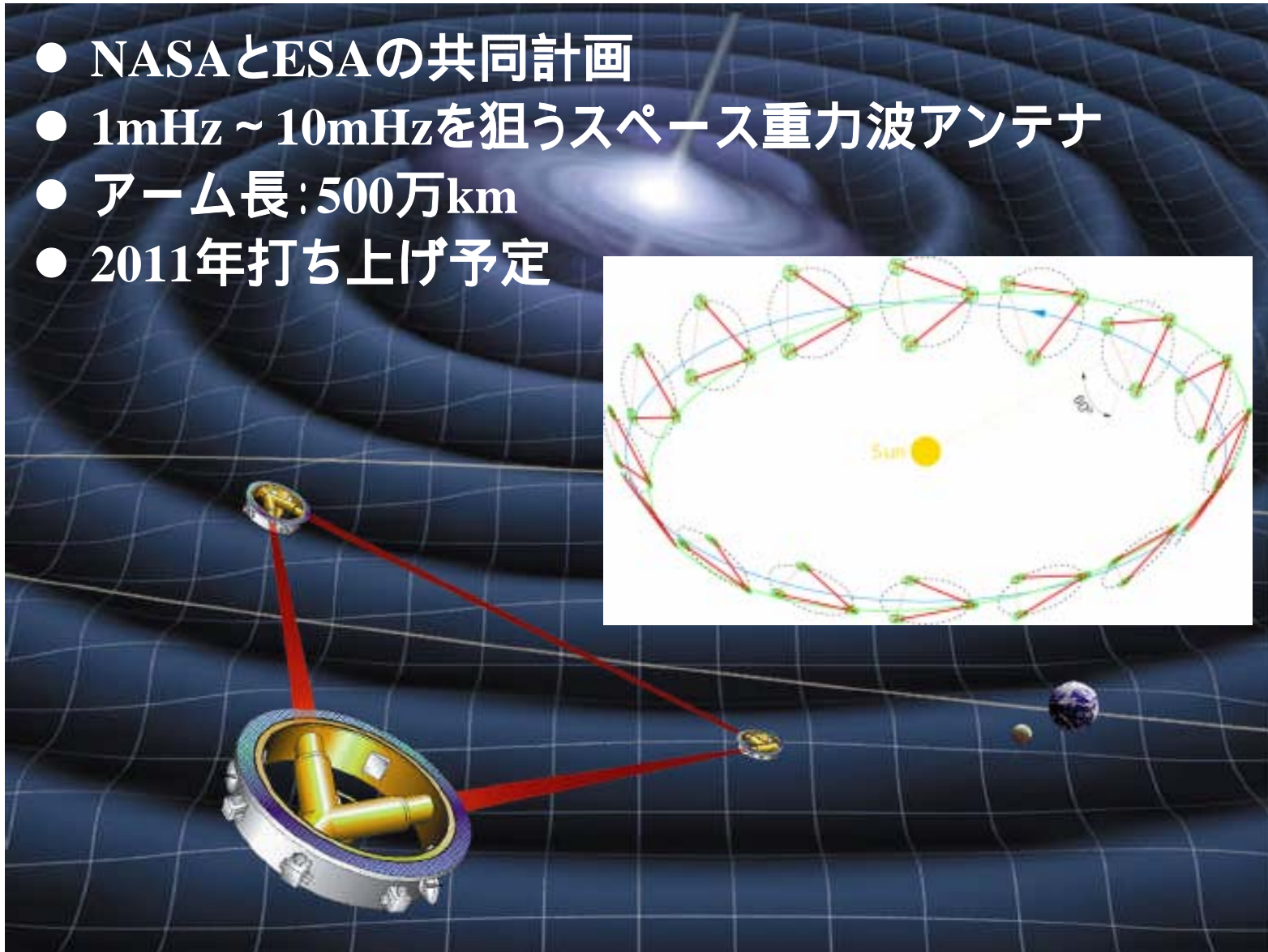
- 信号が低周波で増える
  - アーム長を長くできる
  - 高周波では信号のキャンセルが起こる
- 低周波ノイズが減る
  - 地面振動や重力場の揺らぎノイズが小さい



低周波で感度がよくなる

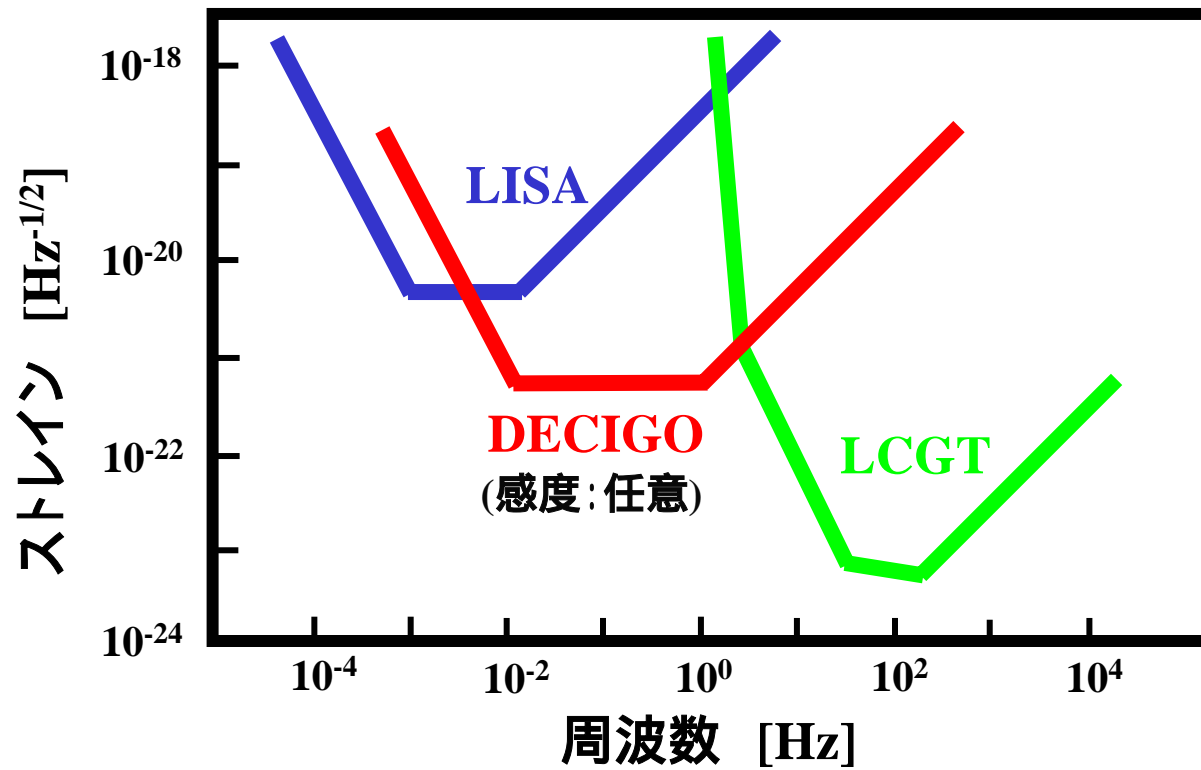
# LISA (Laser Interferometer Space Antenna)

- NASAとESAの共同計画
- 1mHz ~ 10mHzを狙うスペース重力波アンテナ
- アーム長: 500万km
- 2011年打ち上げ予定



# DECIGOの特徴

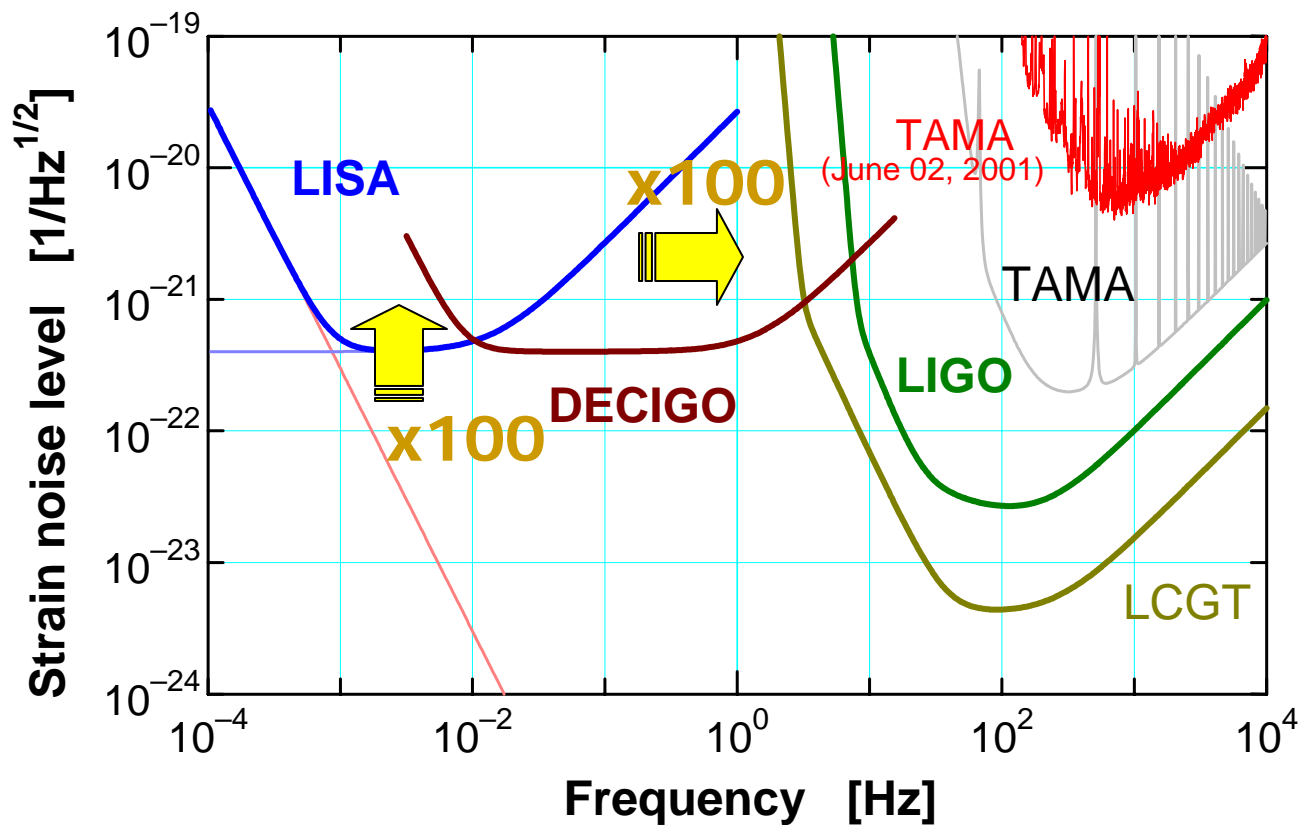
- LISAと地上干渉計との狭間の周波数帯をねらう
- 白色矮星連星からの重力波雑音がない



# DECIGO (1)

- LISAの技術の応用 -

- **DECIGO** → 基線長がLISAの**1/100**であるとする...  
(基線長 :  $5 \times 10^7$  m)

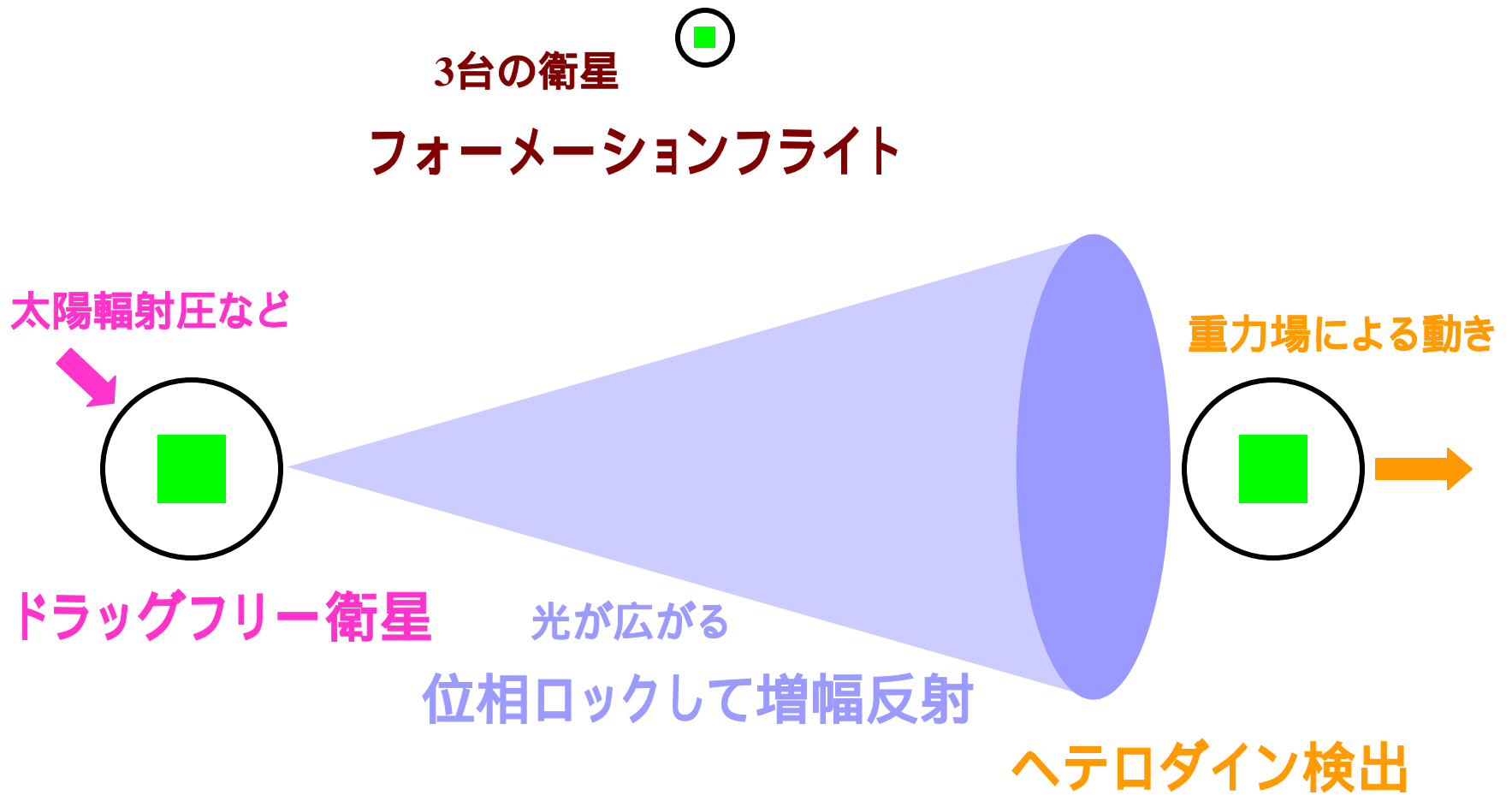


# 周波数ギャップを埋めることの 重要性

**新しい窓は新しい物理を生む！**

- **LISAの帯域から出て行った連星からの重力波の検出**
- **地上干渉計の帯域に入る前の連星からの重力波の検出**
- **宇宙初期からの重力波**
- **全く新しい重力波源**
- **全く新しい物理**

# DECIGOに必要な技術





# R&Dの立ち上げ

- 精密衛星測位による地球環境監視技術の開発  
(科学技術振興調整費)のサブテーマの一つとして通総研・新潟大・天文台で衛星間測距のシミュレータを製作中

次の講演(長野)

- LISAの技術開発の一環としてドラッグフリー技術に伴う低周波での雑音の確認実験をNASA(Goddard)・東大・天文台との間で共同研究を行なうことを検討中

# スペース重力波アンテナW G 第2回ミーティング

2003年5月12日 @国立天文台

- DECIGOの現状(川村)
- Reducing the Binary Confusion Noise(端山)
- Gravitational Waves from Sub-lunar Mass Primordial Black Hole Binaries(井上)
- 中間質量ブラックホールからの重力波(真貝)
- Quintessential inflation における再加熱過程と重力波(田代)
- Supermassive Star と重力波(西條)
- Gamma-ray bursts with gravitational wave memory(井岡)
- 衛星間レーザー干渉計の地上シミュレータ開発(長野)
- 力の雑音検出実験(沼田)
- DECIGOの熱雑音について(山本)
- 周波数雑音キャンセル法のレビュー(藤本)
- kmスペース重力波アンテナの可能性(安東)
- 今後の進め方についてのディスカッション(川村)

## **Follow-on to LISA**

### **B B O : The Big Bang Observer**

- **Objectives: to detect directly gravitational waves predicted by standard slow-roll inflation models at 0.1 - 10Hz**
- **Notice of Intent to propose: submitted to NASA**
- **日本からも正式に研究に参加  
川村 co-investigator**

# POST LISA (DECIGO, BBO)のターゲット 0.1-10Hz領域

→ 安東氏の提案

地上型干渉計をスペースに作ることが可能？  
基線長：数km-数100km

# 直接干渉型DECIGO (4)

## - 利点のまとめ -

---

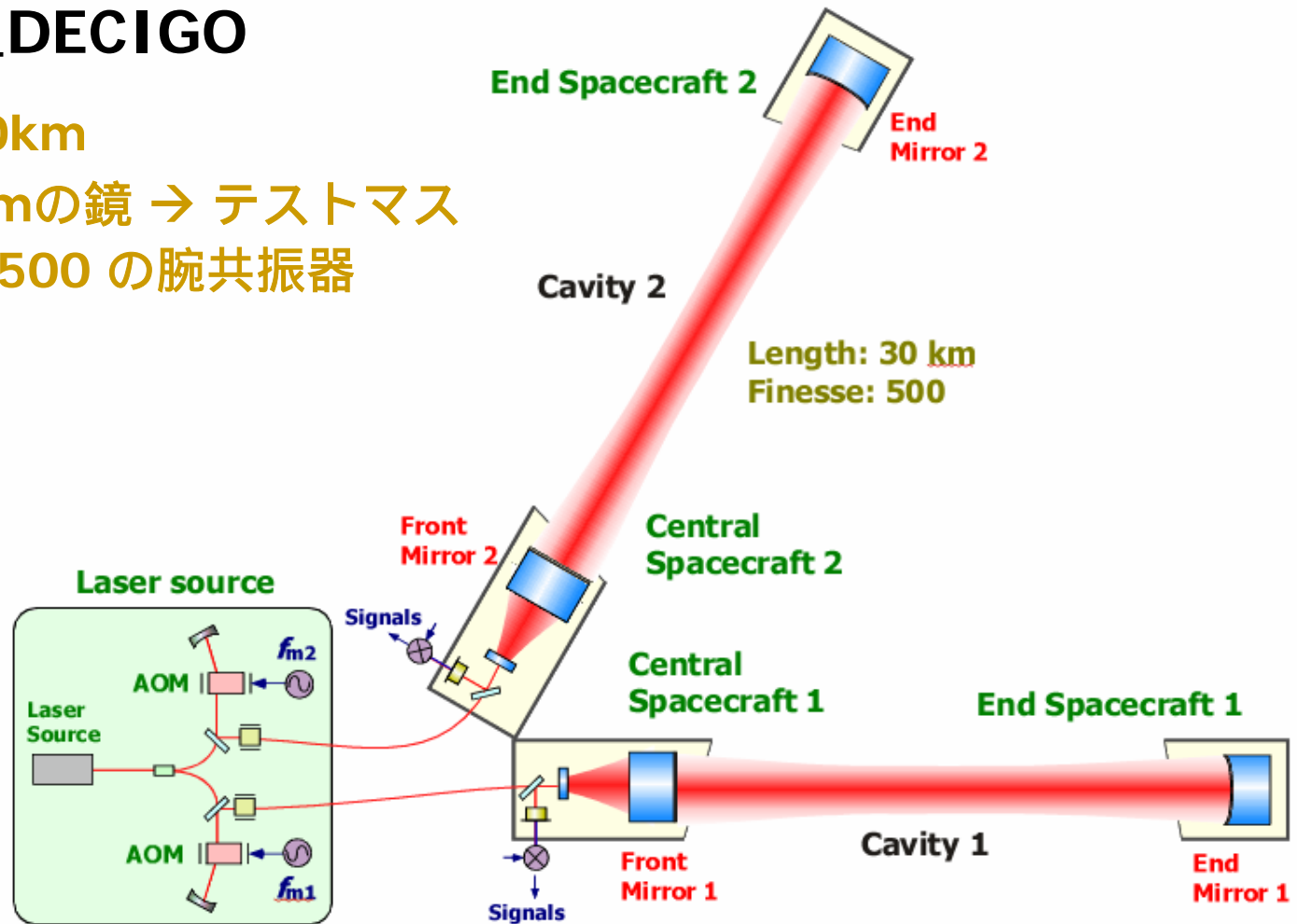
- 直接反射型の利点
    - LISAと比較して光を有効に利用できる
      - ➡ 散射雑音レベルの向上
    - 光路上に余分な要素が無い (テレスコープ, 位相同期系)
      - 鏡(テストマス)間の距離を直接計測
        - ➡ 重力波の検出原理により近い計測法
        - ドラッグフリー制御系への要求緩和
  - 検出器の簡素化
    - 単一光源
    - 位相同期、精密なドラッグフリー制御が不要
    - 短基線長 → ミッション実現時間の短縮
-

# 直接干渉型DECIGO (1)

- 概要 -

## ● 直接干渉型DECIGO

- 基線長 30km
- 直径 30cmの鏡 → テストマス
- フィネス 500 の腕共振器

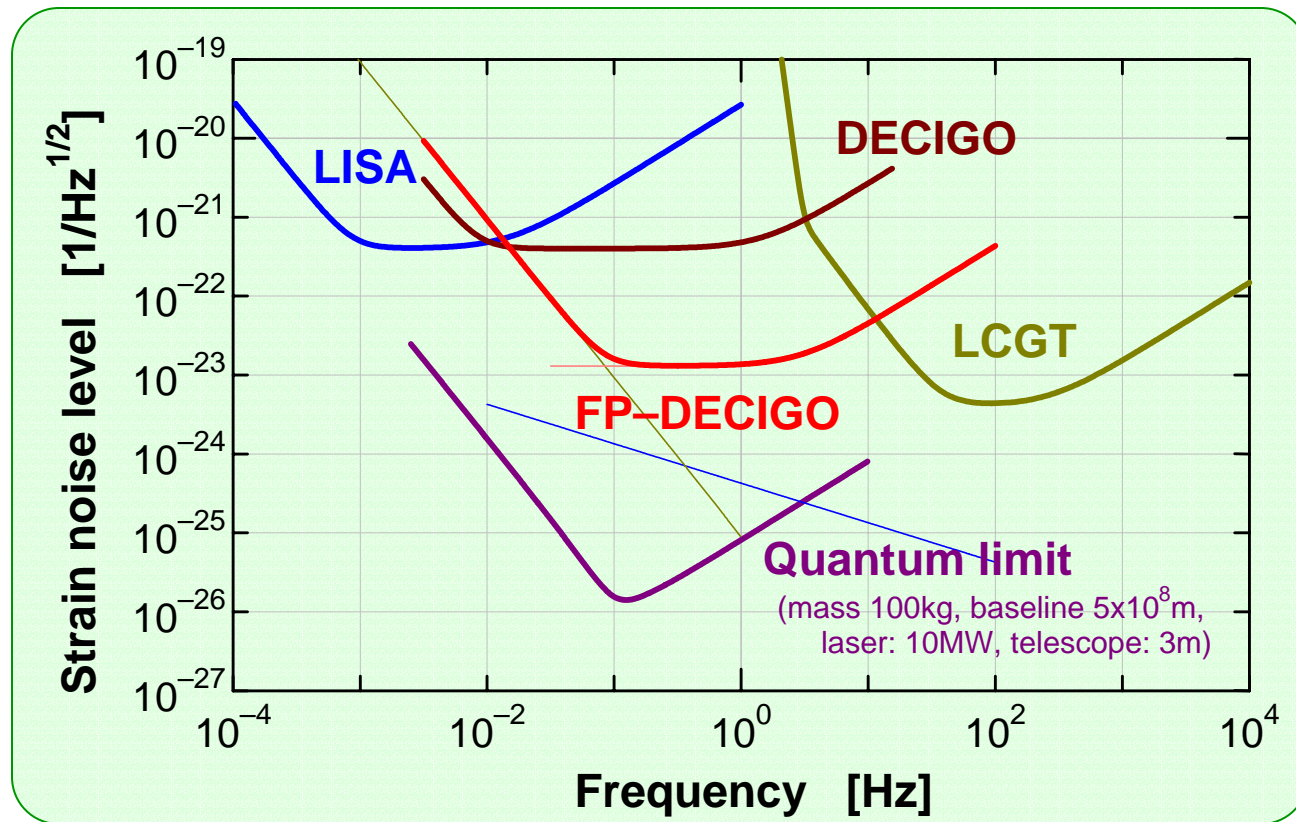


# 直接干渉型DECIGO (6)

## - 感度スペクトル -

- 予想感度

- 基線長 500km, フィネス 50 (鏡の直径 : 1m)



# 直接干渉型DECIGO (7)

## - 課題 -

---

- 直接反射型のデメリット
    - 変位雑音の影響を受けやすい
      - 外来雑音 (重力場・磁場変動) の影響
      - S/C内の重力場・磁場の影響
      - 輻射圧雑音, 熱雑音
    - 光路長などの精密制御が必要
      - 光の波長より十分良い精度の制御が必要
      - アライメント制御も必要
    - 大型の鏡が必要
      - 形状誤差, 研磨精度
-



# 直接干渉型DECIGO (8)

## - 課題に対する考察 -

---

- 致命的な問題は無いと考えられる
    - **変位雑音**
      - S/Cによるシールド, S/Cとテストマス間距離が大きく取れる
      - 近くにあることによる同相雑音除去
      - **輻射圧雑音** → 鏡の大質量化, 制御による抑圧
      - **熱雑音** → 問題なし
    - **光路長制御**
      - 光源にフィードバックする事により追隨
      - 絶対基線長計測によって補正  
(ドップラーシフトの抑圧は不可欠)
    - **鏡の製作**
      - 形状誤差, 研磨精度は、  
          **望遠鏡でも同様の要求**
-

# 直接干渉型DECIGO (9)

- 軌道の安定性 -

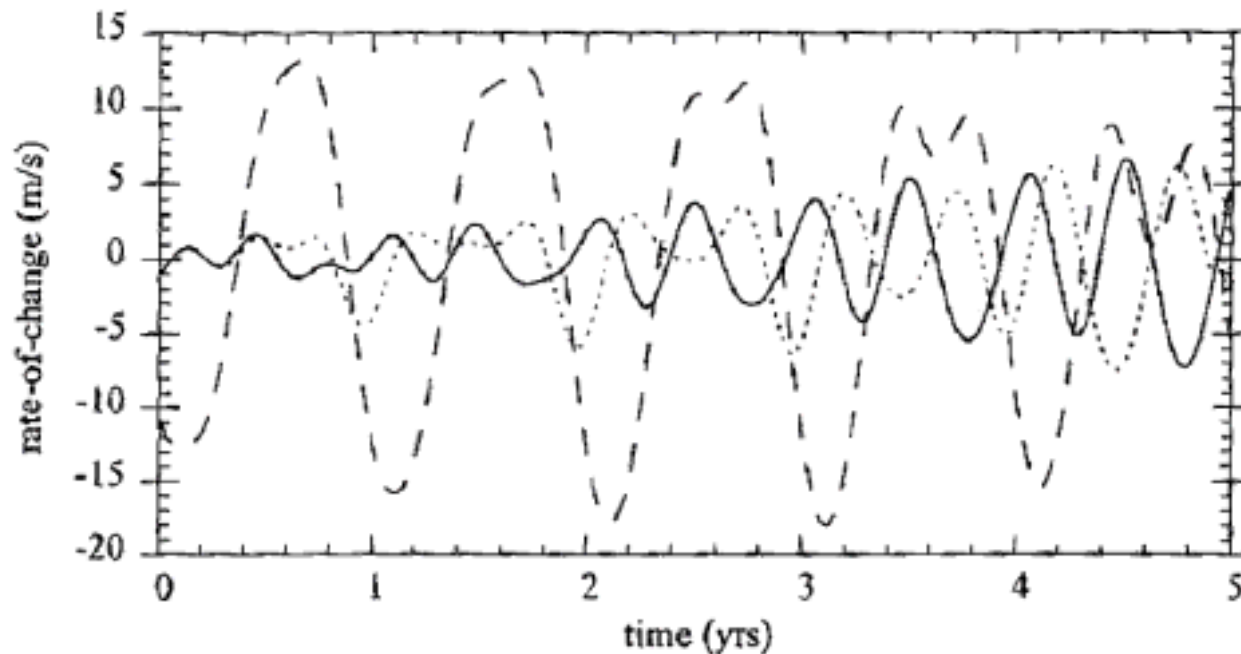
- LISAでは無い技術 - 光路長制御

- LISAのS/C間距離・速度の変化 (一年間)は、最大で

- 光路長変化 :  $D e^2 \rightarrow 3 \times 10^4 \text{ km}$

- 相対速度変化 :  $v = (2\pi/T)d^2/(3D) \rightarrow 5 \text{ m/s}$

(ドップラーシフト : 10MHz)



# 直接干渉型DECIGO (10)

- 実現可能性 -

---

● 直接干渉のための光路長制御は可能か？

● 短基線長型DECIGOに換算すると...

(基線長 500km, LISAの $10^{-4}$ )

● 光路長変化 : 30cm

● 相対速度変化 :  $5 \times 10^{-8}$  m/s

(ドップラーシフト : 0.1Hz)

⇒ 何とかなるのではないか？

---

# まとめ

- DECIGOで地上重力波アンテナとLISAとの間の周波数ギャップを埋める
- R&Dとして計測系シミュレータの製作が進行中、また力の雑音計測実験を検討中
- DECIGOと同じコンセプトを持つ計画が日本以外でも立ち上がりつつある

# まとめの追加—500km FP 干渉計—

- LISAよりも現実的な提案( ? )  
独自性もある
- 問題点の詳しいstudy必要  
熱雑音、length制御、アライメント制御、
- 大型ミラー(直径1m)の技術  
大曲率の実現 適合制御  
シミュレーション必要
- 予備実験  
宇宙ステーション等利用  
他のformation flightと技術共有