

スペース重力波アンテナ DECIGO 計画

法政大学 工学研究科 修士2年
国立天文台 重力波プロジェクト推進室
田嶋 茂樹

1. イントロダクション

重力波は一般相対論によって予言されていた光速で伝播する時空のさざ波で、質量の加速度運動によって発生する。その振幅は質量の大きさに比例し手を振っても重力波は発生するが現実的に検出できる重力波の振幅を得るためには対象をブラックホールやパルサーなど大質量天体の運動や合体、超新星爆発などに必要がる。1970年代には Taylor らにより連星パルサーの重力波のエネルギー放射による公転周期減少の観測から重力波の存在は間接的には証明されている。しかし観測対象を大質量天体にしたとしてもその振幅は非常に微小で例えば地球-太陽間距離が水素原子一個分動くかどうかを測定する精度が要求される。そして直接検出は未だなされていない。

2. 重力波検出の方法

現在、重力波検出を目指して検出器の開発は世界中で進められていて、レーザー干渉計による差動変動から重力波信号を読み取る方式が最も主流である。日本では国立天文台に基線長 300m の TAMA300、富山県、神岡に建設予定の基線長 3km の LCGT、アメリカの LIGO、ヨーロッパの VIRGO など高い感度を持った検出器があり近い将来、重力波検出が実現される可能性は非常に高い。しかしこれらの検出器はすべて地上に設置されたもので感度が良くとも観測帯域は限られている。(~100Hz) そこで大きな振幅でかつ定常的な重力波が期待できる低周波での観測が可能な宇宙重力波望遠鏡計画が DECIGO(DECi-hertz Interferometer Gravitational Observatory)である。これは宇宙機で干渉計を構成する計画で地上と比べて非常に長い基線長をとることができまた 100Hz 以下の感度で支配的な地面振動がないため 1Hz 以下での観測が可能な重力波検出器である。

DECIGO計画とは



DECi-hertz Interferometer Gravitational Wave Observatory

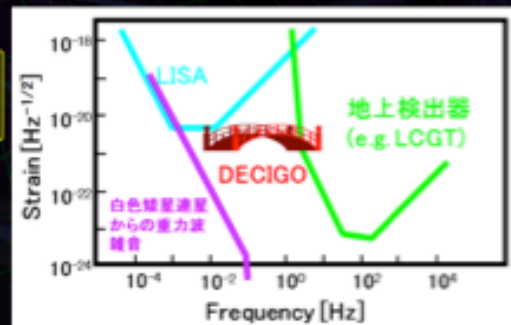
- ・衛星で干渉計を構成する宇宙重力波望遠鏡計画
- ・地面振動がなく基線長を長くとれるので低周波での観測が可能

- ・LISAと地上検出器の帯域のギャップを狙う

観測対象
中間質量BHの合体、中性子連星起源の重力波、宇宙背景重力波

その中でも特に

- ・インフレーション(宇宙誕生後 10^{-35} 秒後)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の判断



第41回天体・天文物理若手 夏の学校

地上と宇宙の重力波観測の比較

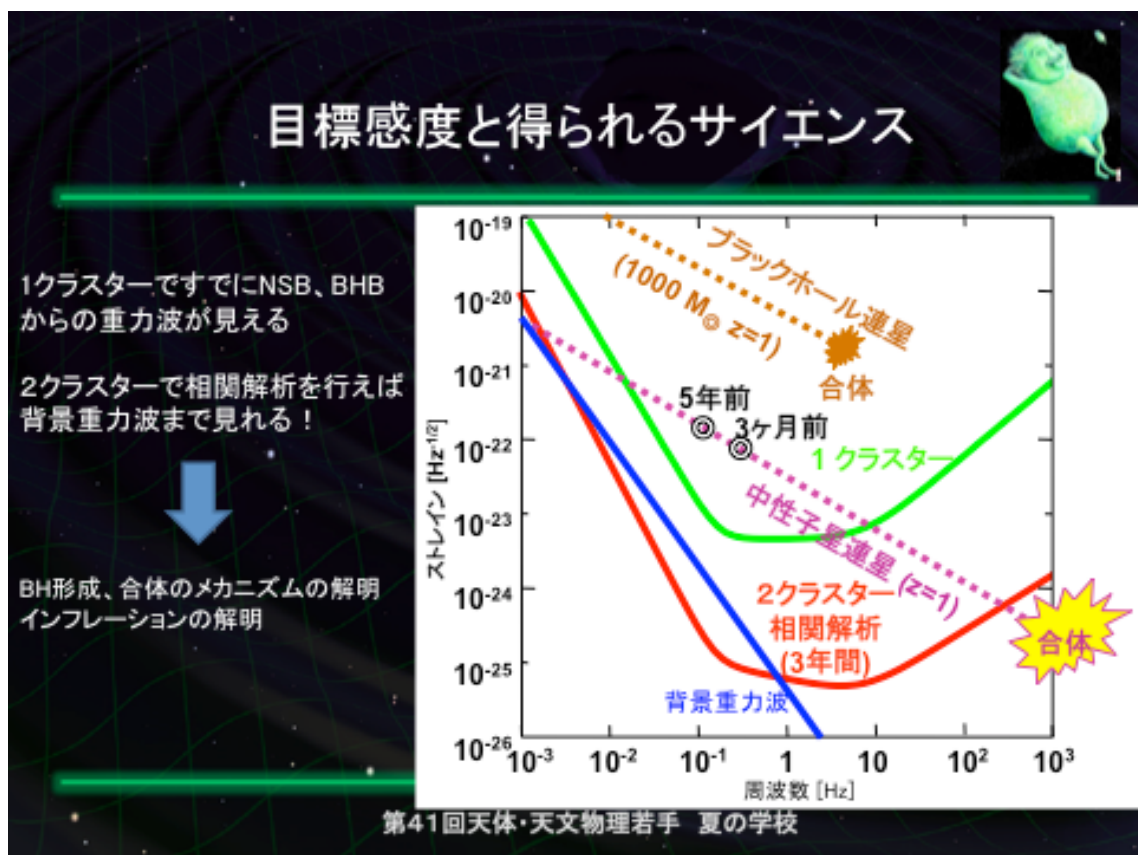


	地上	宇宙
検出器の例	LCGT, LIGO, VIRGO, GEO, TAMA, ET	DECIGO, LISA
メリット	建設がしやすい アップグレードができる	地面振動がない、 基線長の制限がない
デメリット	外乱が大きい。長基線がとれない(せいぜい10km)	莫大なコスト、アクセスできない
観測帯域	~100Hz	~0.1Hz

第41回天体・天文物理若手 夏の学校

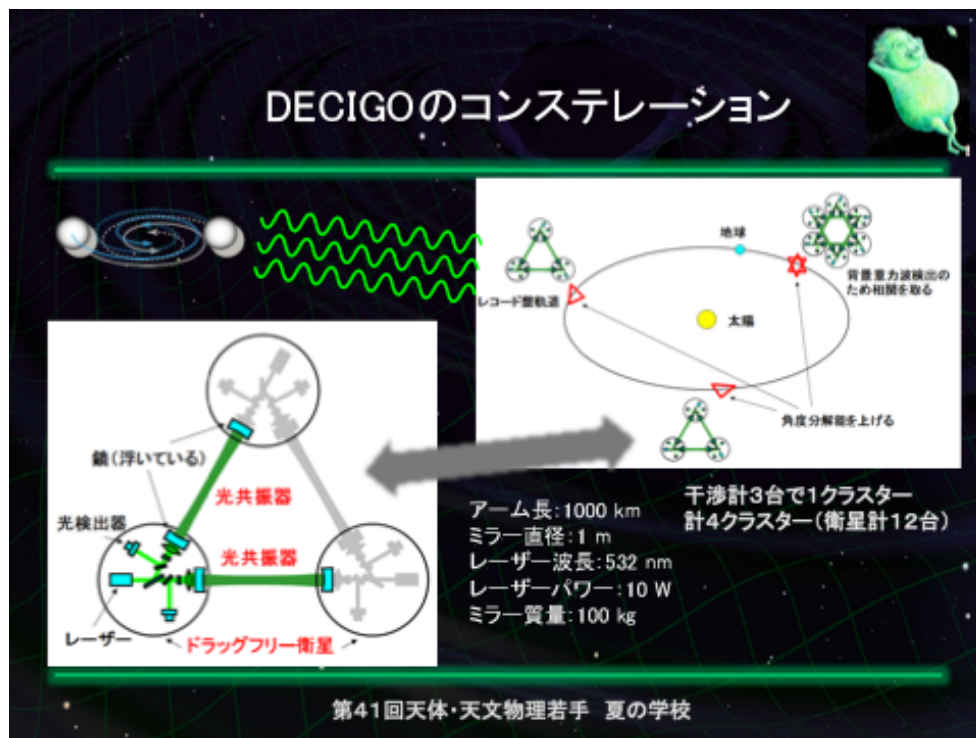
3.DECIGO の目的

DECIGO は太陽周回軌道の上に設置した宇宙機によって構成される正三角形の基線長 1000km の重力波検出器で 2027 年を打ち上げ目標として国立天文台、京都大学を中心に研究、開発が進められている。観測帯域は 0.1Hz 付近で地上の検出器に比べて非常に低周波である。この帯域の観測によりインフレーションの確認、ダークエネルギーの解明、巨大ブラックホール形成のメカニズムの解明などが期待され LCGT や Adv.LIGO , Adv.VIRGO で創成されるであろう重力波天文学をさらに発展させるためには DECIGO は非常に重要なプロジェクトである。



4. DECIGO の構成

DECIGO は太陽周回軌道を三つの衛星が光共振器でその距離を高精度で維持しながらフォーメーションフライトをする。三つの衛星での正三角形を1クラスターとすると背景重力波の相関をとるために上下逆さまにして重ねた2クラスター、角度分解能をあげるためにもう二つのクラスター、計4クラスターの衛星を打ち上げる必要がある。しかし光の共振状態を保つために鏡を衛星のスラスターで制御を行うのは現実的には難しい。そこでドラッグフリー衛星を利用し衛星と共振器の鏡は別々にコントロールする。



5. DECIGO のロードマップ

DECIGO は4クラスター（衛星12台）を一斉に打ち上げるのではなくまずは1台の衛星 DECIGO-Pathfinder(DPF)を打ち上げ宇宙で干渉計を実現するための必要な技術検証を行う。その後、さらに衛星を打ち上げ PreDECIGO（1クラスター）で衛星間の干渉計を実現したら最終的な DECIGO へとシフトし重力波の観測を行う。

6. DECIGO-Pathfinder

DPF は DECIGO のための技術試験衛星で 1 機の衛星に基線長 30cm の Fabry-Perot 共振器を搭載した 350kg 級の小型衛星で高度 500km の地球周回軌道をとる予定である。DECIGO の要素技術の宇宙実証は以下の通りである。光共振器、レーザー光源の安定化、ドラッグフリー衛星、データ取得。

DECIGO Pathfinder(DPF)

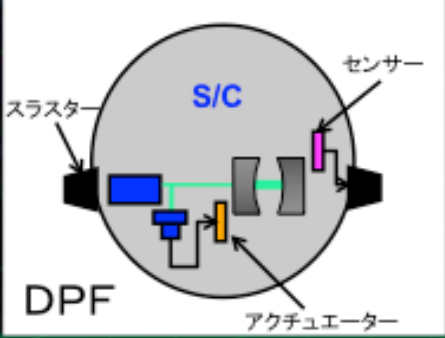
DECIGOのための技術試験衛星

DECIGO: 基線長1000kmのフォーメンションフライト
DPF: 1機の衛星に基線長30cmの干渉計を搭載
(350kg級小型衛星、高度500kmの地球周回軌道)

↓

DECIGOの要素技術の宇宙実験
光共振器、レーザー光源の安定化
ドラッグフリー制御、データ取得

DPFに関する詳しい内容は
[ポスター観測機器28b\(梅藤\)参照](#)



第41回天体・天文物理若手 夏の学校

7. 宇宙重力波検出器の実績(SWIM)

SWIM は東京大学のプロジェクトで世界で最初の宇宙空間で観測をしたねじれ型重力波検出器である。2009 年 1 月に打ち上げ、2010 年 9 月に運用停止している。このプロジェクトは地上の同様の重力波検出方式のねじれ型重力波検出器(Torsion-Bar Antenna) 2 台（東京、京都）との同時観測を目指していて実際、東京、SWIM での同時観測に成功した。

8. まとめ

8. 1 DECIGO の重要性

- DECIGO は LCGT に次ぐ非常に重要な重力波望遠鏡計画である。
- 宇宙機で構成される望遠鏡なので地上の検出器とは違う重力波をとらえることができる
- LCGT によって創生される重力波天文学をさらに発展させるために DECIGO による観測は必要不可欠

8. 2 DECIGO の現状

- まだ打ち上げ予定はないものの国立天文台・京大などを中心に研究は進められている
- まずは DPF を JAXA の小型衛星シリーズとしての実現を目指し、現在は衛星に搭載する機器の製作・試験を行っている