

DECIGO Pathfinder(DPF) の開発について

お茶の水女子大学 修士1年 権藤里奈

1 Introduction

1.1 重力波とは

重力波とは、時空の歪みが光速で伝わっていく現象で、一般相対論よりその存在が予言される波動である。BH や中性子星などの巨大質量をもつ天体が光速に近い速度で運動すると発生する。いまだ直接的検出はなされていない。

1.2 重力波検出器

現在主流な重力波検出器として、長い基線長をもつレーザー干渉計がある。レーザー光をビームスプリッターで2方向に分け、同じ距離を往復させてかえってきたところを干渉させている。

重力波が来ると、ミラー間の距離に変化が生じるので、それによる干渉縞の変化を読みとることで検出する。基線長を長くするほど干渉計の感度をあげることができる。

宇宙空間では、地面振動の影響がなく、干渉計の基線長を長くできることから、低周波の観測に適している。日本では DECIGO(Deci-hertz Interferometer Gravitationalwave Observatory) 計画が進んでいる。

ここでは、DECIGO とその前哨衛星 DPF の開発の現状の一部について紹介する。

2 DECIGO

DECIGO は、日本で提案されている宇宙重力波望遠鏡である。0.1~10Hz 付近の周波数帯を観測することによって、宇宙の起源や構成に対する知見、ブラックホールや中性子星の合体やガンマ線バーストなどの激しい天体現象に対する知見といった、宇宙に対する新しい知見を得る事が期待できる。これは、これまで主に行われてきた電磁波による天文学とは相補的な情報であり、また、計画中の他の重力波望遠鏡では手に入ることができない新しい科学的成果になるはずである。しかし、DECIGO 実現のためには、克服しなければならない技術目標が数多くあり、それらを段階的に達成していくことが不可欠である。

そこで、DECIGO の前哨衛星として小型重力波観測衛星、DECIGO Pathfinder を打ち上げ、DECIGO のために宇宙実証試験を行う計画がすすんでいる。

3 DECIGO Pathfinder(DPF)

現在、DECIGO の前哨衛星である DECIGO Pathfinder(DPF) が、2010 年代半ばの打ち上げを目標とし開発が進められている。DECIGO の為の宇宙実証試験を行うと共に、実際の重力波観測と地球重力場の観測を行うことを目的としている。

DPF は 350 kg 級の小型衛星であり、2 つの試験マスモジュールとレーザーで構成された基線長 30cm のファブリ・ペロー型光共振器と、試験マスのドラッグフリー制御システムを搭載する。光共振器の基線長の変化から、0.1-1Hz の重力波を観測することができる。試験マスモジュールは、試験マス（鏡）が太陽光圧変動、太陽風などの外乱から直接影響を受けないように衛星内に非接触制御（ドラッグフリー制御）させ、試験マスを自由質点に保つ。衛星と試験マスの相対位置変化は静電センサーで読み取り、スラストや静電アクチュエータにフィードバックされる。この非接触制御を実現させ、かつロケット打ち上げ時の過酷な環境から鏡を保護する機構を備えたものが試験マスモジュールである。試験マスモジュールは、プロトタイプの製作が完了している。

静電センサー・アクチュエータは試験マスと、その周りを囲むハウジングに取り付けられた電極をコンデンサーとみなして動作させる。地上試験として振り子を試験マスに見立てて非接触制御実験を行った。静電センサーは、試験マスと電極の相対位置変化をコンデンサーの静電容量の変化として差動トランスを用いて読み取る。静電アクチュエータはコンデンサーに電圧をかけることにより静電気力を発生させる。制御後、一部の周波数帯域において揺れをおさえることに成功した。

上記の他に、ドラッグフリー制御や、安定化レーザー光源などについても研究がすすんでいる。

4 まとめ

DECIGO で重力波を観測することができれば、新しいサイエンスが期待できる。その実現のために、DPF を打ち上げることが必要である。

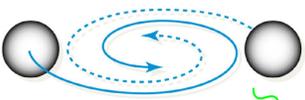
DPF の開発は各グループによって研究がすすめられている。

DECIGO Pathfinder(DPF)の開発について

お茶の水女子大学 修士1年 権藤里奈

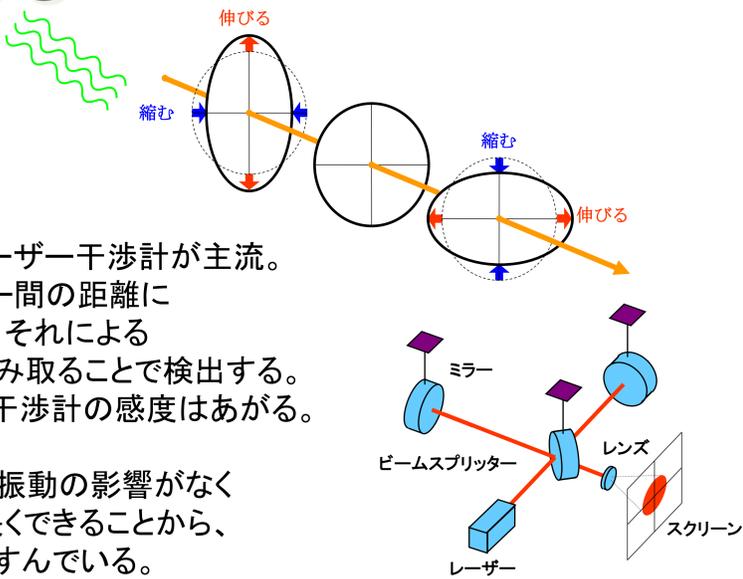
1、Introduction

高速で加速度運動する物体から放射



重力波

- ・時空の歪みが光速で伝わっていく現象。
- ・一般相対論よりその存在が予言された。
- ・いまだ直接的検出はなされていない。



重力波検出器

- ・長基線長を持つレーザー干渉計が主流。
- ・重力波がくるとミラー間の距離に変化が生じるので、それによる干渉縞の変化を読み取ることで検出する。
- ・基線長が長いほど干渉計の感度はあがる。

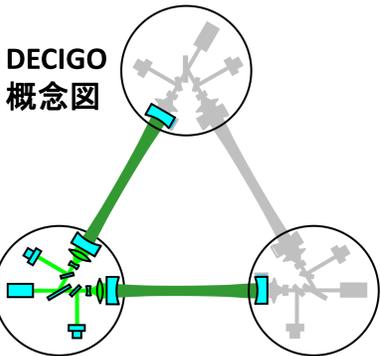
宇宙空間では、地面振動の影響がなく干渉計の基線長を長くできることから、次のような計画がすすんでいる。

- ・LISA(Laser Interferometer Space Antenna)
→宇宙空間に干渉計を打ち上げて重力波検出器とする欧州の計画。(観測帯域1mHz付近)
- ・DECIGO(Deci-hertz Interferometer Gravitational wave Observatory)
→日本での同様の計画。(観測帯域0.1~10Hz付近)

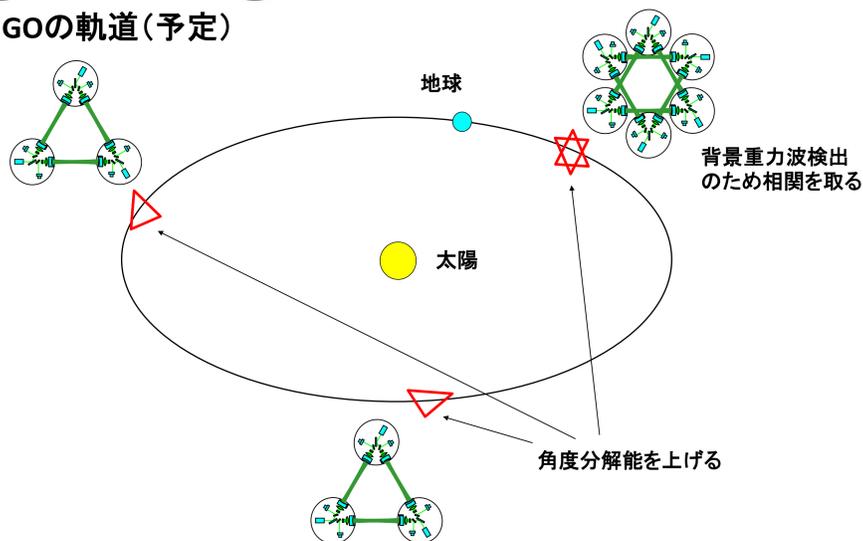
ここでは、DECIGOと、その前哨衛星DPFの開発の現状の一部について紹介する。

2、DECIGO

DECIGO概念図



DECIGOの軌道(予定)

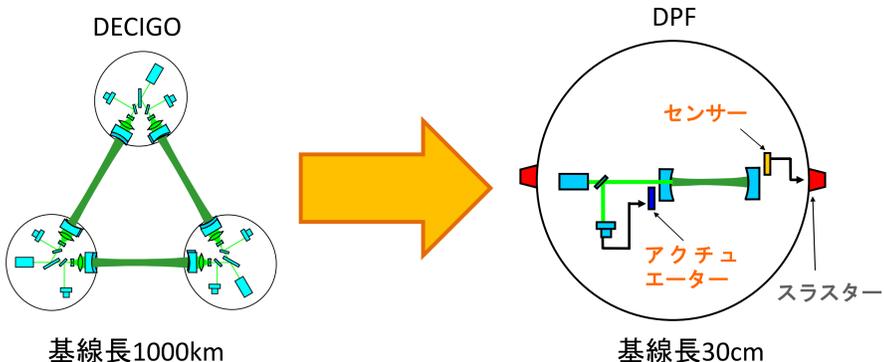


DECIGOで得られることが期待できるサイエンス

- ・インフレーション
- ・巨大ブラックホールの形成メカニズム
- ・ダークエネルギー
- etc...

・DECIGO実現のためには?
→数多くある必要な技術目標を段階的に達成し、
宇宙実証試験を行いたい!

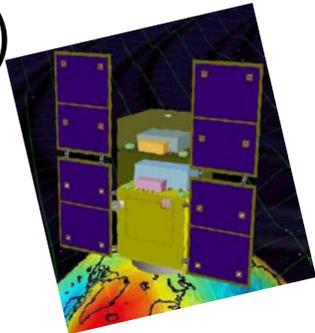
→DECIGOの前哨衛星としてDECIGO Pathfinder(DPF)が必要!!



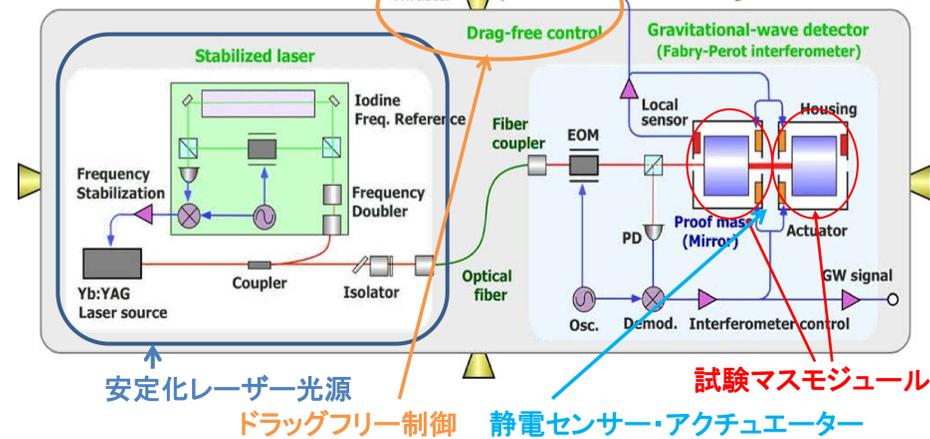
3、DECIGO Pathfinder(DPF)

DPFの目的

- ・DECIGOのための宇宙実証試験を行う
- ・実際に0.1-1Hz付近での重力波の観測
- ・地球重力場の観測



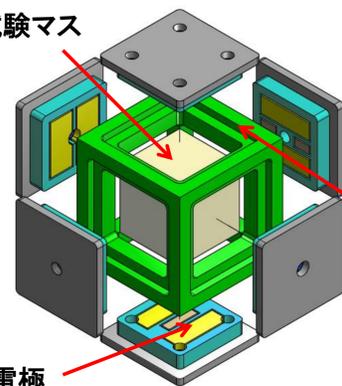
DPF概略図



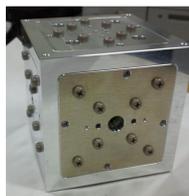
これらについていくつかのグループにわかれて開発がすすめられている。そのうち、試験マスモジュールとその制御系について説明する。

試験マスモジュール

試験マス

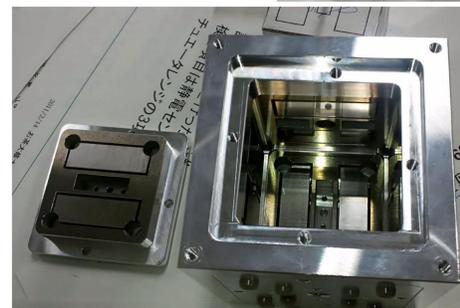


ハウジング側についている電極と試験マス表面とでコンデンサを形成する。試験マスは、静電センサー・アクチュエーターによって、非接触制御される。プロトタイプを製作した。



電極

試験マスとハウジングの見取り図とプロトタイプの写真。



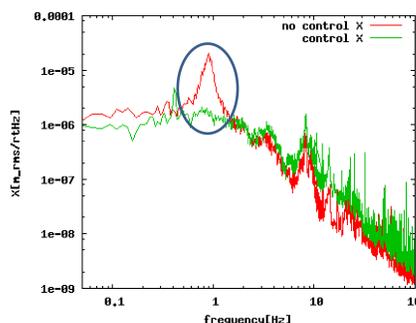
試験マスモジュール制御系の静電センサー・アクチュエーター



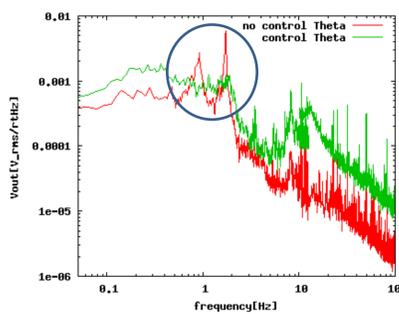
静電センサーとアクチュエーターの実験装置写真と模式図。

ハウジングの電極と試験マス表面をコンデンサとみなし、電極側にセンシング用・アクチュエート用の電圧をそれぞれ印加してセンシング・アクチュエートを行う。

原理 距離に変化が生じる
→試験マス表面・電極間のコンデンサの静電容量が変化
→電流が発生するので、それをもとに変位を測定
→さらに電極の印加電圧を変化させて試験マスに引力をかける



実験結果(左:X方向 右:θ方向)



制御後、一部の周波数帯域において揺れを抑えることに成功した!

・上記の他に、ドラッグフリー制御や安定化レーザー光源などについても研究が進んでいる。

4、Conclusions

- ・DECIGOで重力波を観測できれば、新しいサイエンスが期待できる。
- ・DECIGOの実現のためには、DPFが必要である。
- ・DPFの開発は、各グループによって研究がすすめられている。