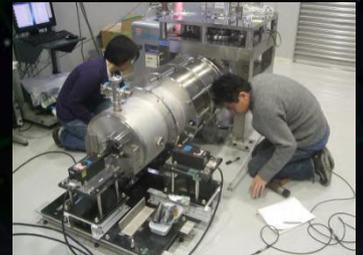


# 重力波プロジェクト推進室

発表者：安東 正樹



## 2.1 目標

**Q. 重力波プロジェクトの中で、それぞれの事業(KAGRA、研究開発、DECIGO、など)について担当者とFTE、経費割合を明らかにしてほしい。そのためにはFTEがわかる組織図が必要。**

- ・大目標：重力波天文学の創成と発展。

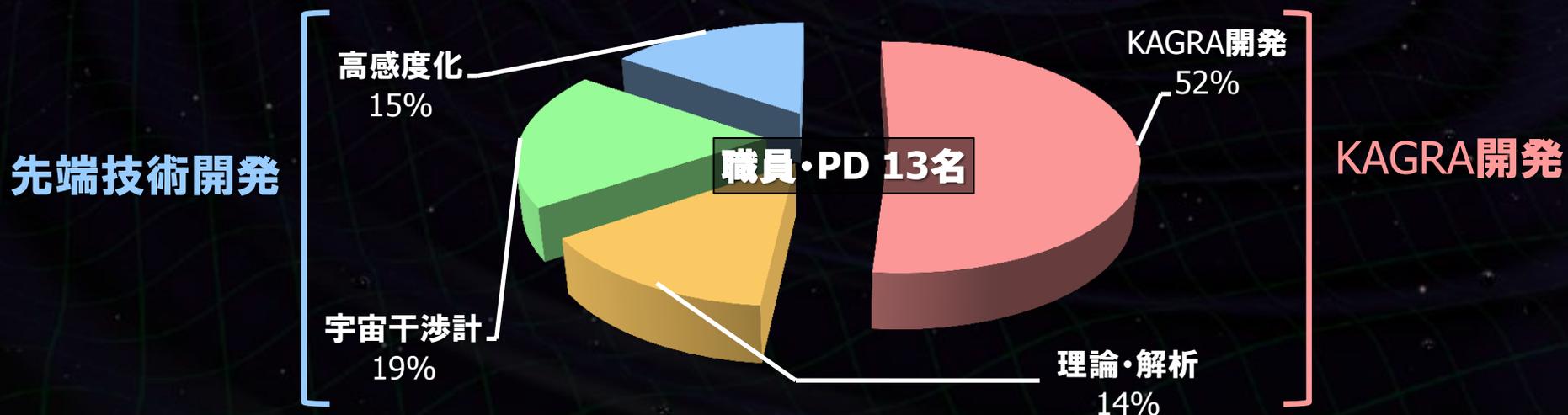


- ・現在の取り組み

- 大型低温重力波望遠鏡 KAGRA
  - \* 中心推進機関としてプロジェクトを推進。
  - \* KAGRAによる天文学。
- 将来を見越した先端技術開発
  - \* KAGRAなど地上重力波望遠鏡の高感度化。
  - \* 宇宙重力波望遠鏡。

プロジェクト推進・研究成果・人材育成

## ● 研究活動の比率

※各人の研究活動についての  
エフォート割合の単純和より見積り

- ・約2/3がKAGRAに関する活動  
→ 今後、より強化・増大の見込み  
(新教授の着任, プロジェクト研究員の増員)

# 構成員の活動内容

## 構成員の活動割合概算

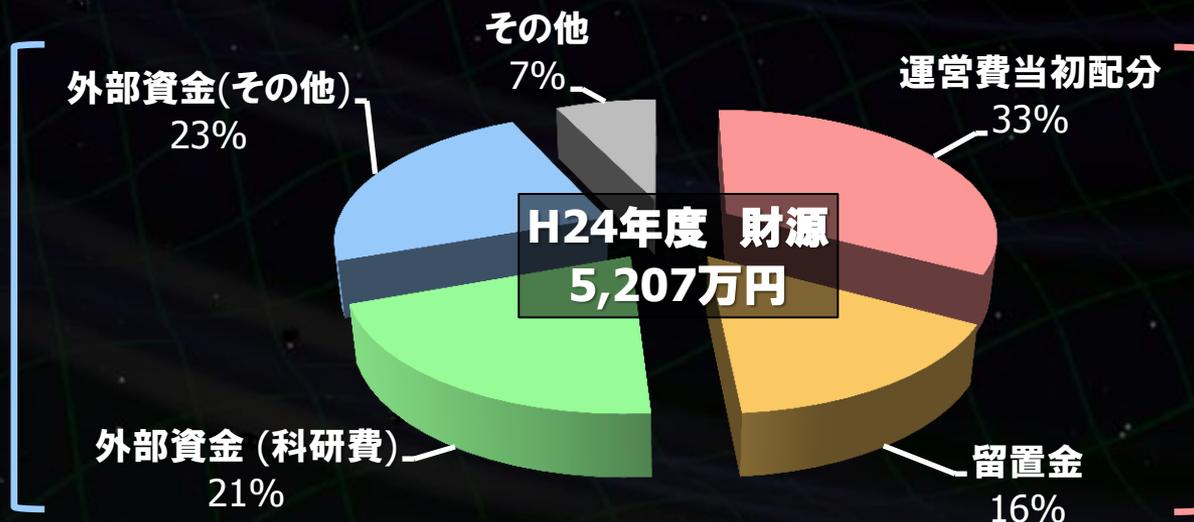
	KAGRA		先端技術	
	開発・建設	理論・解析	DECIGO/O/DPF	その他
教授 人選中	100			
安東	70		20	10
高橋	100			
辰巳	60	20		20
上田	50			50
大石	40	10		50
阿久津	60		30	10
石崎	100			
鳥居			100	
田中			100	
端山	20	80		
我妻	70			30
中村		70		30
合計FTE ×100	670	180	250	200
割合	0.515	0.138	0.192	0.154

## 平成24年度 予算概要

## ● 平成24年度 予算合計 5,207 万円

・台内経費	運営費交付金	1,715 万円
	留置金	820 万円
	その他	370 万円
・外部資金	科研費	1,085 万円
	その他 資金	1,220 万円

主に先端技術  
開発に使用



KAGRA開発  
環境整備な  
どに使用

## 2.2 当初計画との変更点

**Q.これは天文台の人的、予算的負担が減るということであるのか。**

「先端技術センターでKAGRAプロジェクトが重点プロジェクトとして位置付けられたことやKAGRA建設の本格化を受けて、KAGRAに対してより強固な推進体制を整えるように研究体制の位置づけを再定義した。また、研究の継続性とリソースの効率的な配分と人員の異動を考慮し、平成24年度から最先端基礎技術開発関連項目のうち2つの実験研究を法政大と東大宇宙線研に移設して行う計画に変更した。」

### 回答

後半部分についての質問と思われる。

前准教授・川村氏の異動に伴い、川村氏が主導していた基礎研究開発を移設したもの。これらの研究は、科研費など外部資金を用い、法政大やお茶の水大からの受け入れ学生が主に進めていたものであり、天文台の人的・予算的負担とは直接関係しない。

### Q. 研究分野を主導する体制とは具体的にはどういうことか？宇宙線研究所との役割分担は？

「KAGRA望遠鏡の建設を第一優先とし、それに加え、KAGRA運転開始後の本格的な重力波天文学の展開を見据えて研究分野を主導できる体制作りを進める。」

### 回答

KAGRA観測開始後には、観測データの解析と天文研究、次世代技術への取り組み(地上重力波望遠鏡の高感度化, 宇宙重力波望遠鏡の実現)が研究分野の主流となっていくところが見込まれる。それらを主導できるよう、現在から技術と実績を積み上げていくことが必要である。KAGRAは宇宙線研究所がホスト機関として建設を行う計画であり、国立天文台は副ホスト機関として参加している。建設完了後は、重力波コミュニティとしての研究活動が進められるものと考えられる。

# 例：LIGOプロジェクトの体制

- LIGO Laboratory : Caltech, MIT, LHO, LLOの4機関
    - LIGOプロジェクトの推進, 観測所の建設・運用.
    - PI: David Reitze
  - LIGO Science Collaboration (LSC)
    - 米国内、国外の多くの機関・研究者が参加するコミュニティ.
    - ~500名程度のメンバー, NAOJ 重力波グループも参加.
    - 欧州VIRGOとの協定, GEOの参加.
    - データ解析研究, 天文学研究, 数値相対論など.
    - 次世代干渉計技術の研究開発.
    - Spokes Person : Gabriela Gonzalez (LSU)
- ⇒ ほとんどの研究論文はLSCの共著.

## 2.3 年次計画 (KAGRA望遠鏡建設)



Q. KAGRAの全体計画の中で天文台の果たすべき部分を明確にすること。

## 大型重力波望遠鏡計画の推進についての覚書

東京大学宇宙線研究所、自然科学研究機構国立天文台および高エネルギー加速器研究機構は、大型重力波望遠鏡計画の実現が、物理学及び天文学の発展に重要な意義をもたらすことを認識し、宇宙線研究所の統括により、協力して計画を推進する。

この合意は、平成6年8月1日付け（平成8年8月1日付け更新、平成10年8月1日付け更新、平成12年11月20日付け更新、平成15年4月1日付け更新及び平成17年4月1日付け更新）の重力波の研究推進に関する三者合意を継承するもので、平成19年4月1日から2年間有効とし、3者間の協議により更新できるものとする。

平成19年2月28日

鈴木洋一郎

東京大学宇宙線研究所長  
鈴木洋一郎

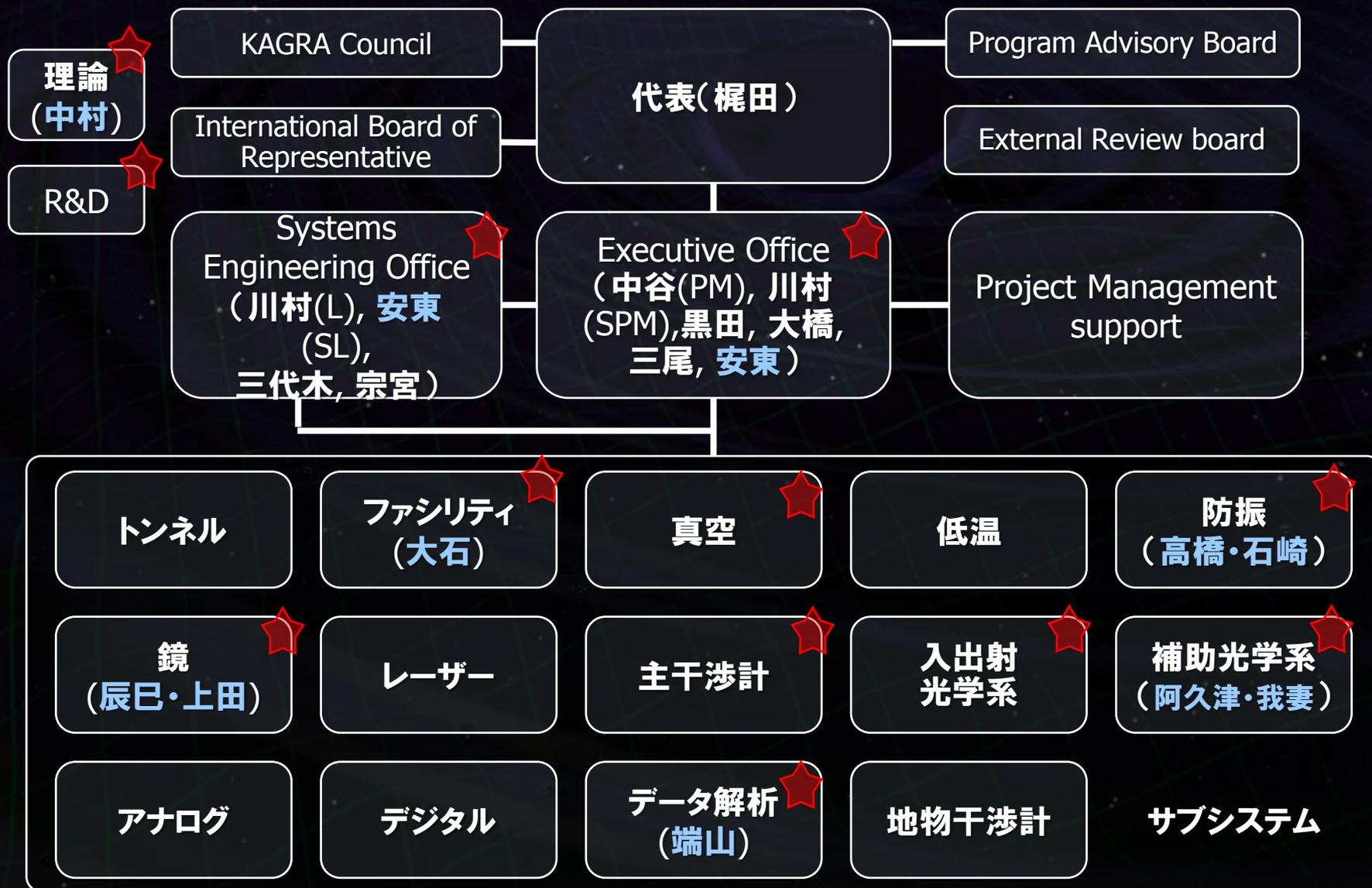
観山正見

自然科学研究機構国立天文台長  
観山正見

鈴木厚人

高エネルギー加速器研究機構長  
鈴木厚人

- ICRR-KEK-NAOJ間の  
KAGRA推進協力の覚書。
- 平成6年8月より
- 平成8,10,12,15,17,19,  
21,23年にそれぞれ  
期間延長の合意。
- 平成24年6月19日  
KAGRA協議会で継続を確認。



- **執行部** : 安東 (EO, SEOサブリーダー)  
国際協力, 特別作業班, レビュー
- **真空** : 高橋  
真空装置の設計・発注, 敷設準備
- **防振** : 高橋 (チーフ), 石崎  
防振装置の設計, 試作・試験
- **補助光学系** : 阿久津 (チーフ)  
補助光学系設計・試作試験
- **鏡** : 上田 (サブチーフ), 辰巳  
鏡の性能評価
- **主干渉計など** : 辰巳, 我妻  
干渉計光学系・制御系設計
- **デジタルシステム・観測・施設** : 大石, 辰巳, 端山, 中村  
安全, デジタルシステムの性能評価, 干渉計モニタシステム構築

**Q. 全体計画の中で天文台の果たすべき部分を明確にすること。**

### 回答

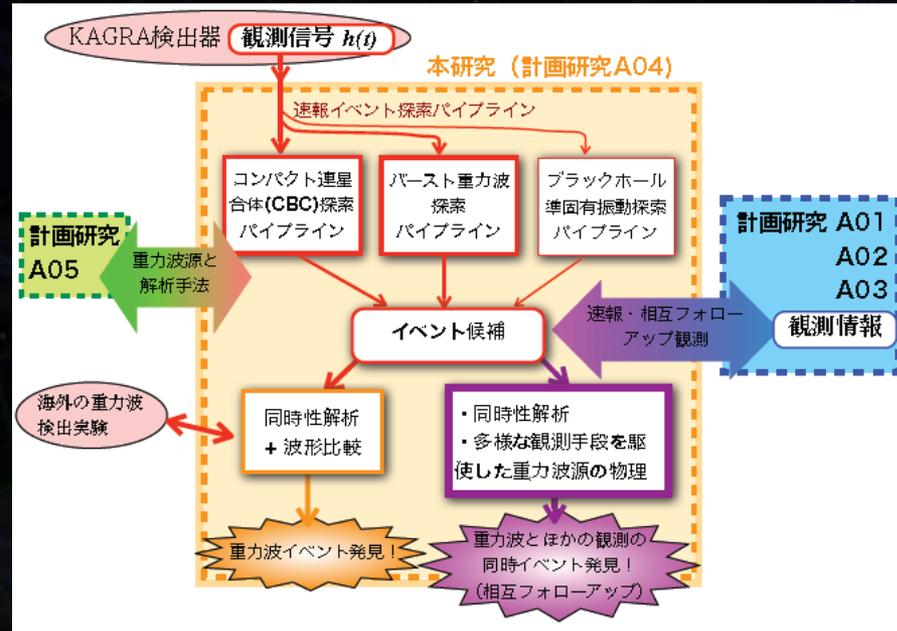
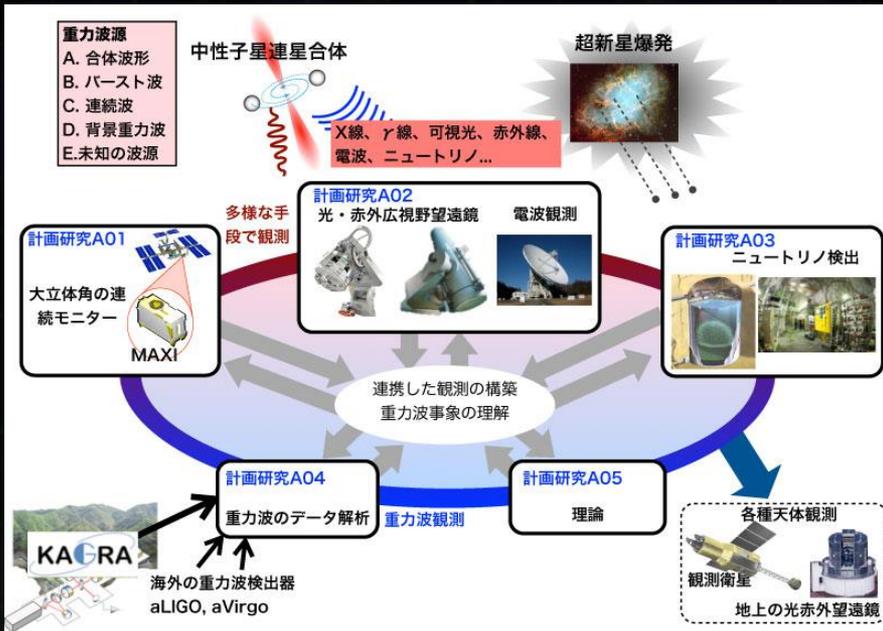
**新学術領域研究「重力波天体の多様な観測による宇宙物理学の新展開」に研究分担者として参加。重力波データ解析とその速報体制の構築において中心的な役割を果たす。**

**なお、来年度の予算要求には、これに必要な研究経費は含めていない。**

## 重力波天文学のための理論・データ解析研究.

- 新学術領域研究「重力波天体の多様な観測による宇宙物理学の新展開」に参加.

→ 重力波の理論・データ解析, X線・光赤外・電波やニュートリノによる突発天体の観測.



Q. KAGRAとは別に天文台独自の研究ということか？  
他との共同研究であれば天文台の役割分担を明確化？

### 回答

科研費・挑戦的萌芽研究 (阿久津)「量子論的弱値増幅を応用した高精度位相測定法の開発」に基づく独自の研究活動。その他、東工大などとの研究ゼミ活動、および、広島大実験グループとの共同研究(実験結果の理論的解釈)を進めている。

なお、来年度の予算要求には、これに必要な研究経費は含めていない。

Q. DECIGO全体計画の中で天文台の果たすべき部分を明確にすること。

### 回答

DECIGO計画推進において中心的役割を果たす。安東がDECIGOグループの代表代理・DPFの代表を務める。阿久津はDPFの主観測装置となる干渉計モジュールや信号処理システムの開発を受け持つ。

なお、DECIGO/DPFの研究活動は、主にJAXA・小型科学衛星戦略的開発経費および、搭載機器基礎開発経費を用いて行われている。

# DECIGO暫定組織

代表: 中村 (京都大・予定)  
副代表: 安東 (国立天文台)

## 運営委員会

川村 (国立天文台), 安東 (国立天文台), 瀬戸 (京大理), 中村 (京大理), 坪野 (東大理), 佐藤 (法政大工), 田中 (京大基研), 船木 (JAXA), 沼田 (Maryland), 神田 (阪市大理), 井岡 (KEK), 高島 (JAXA), 横山 (東大理)

### Pre-DECIGO

佐藤 (法政大工)

### 検出器

阿久津  
(国立天文台)  
沼田 (Maryland)

### サイエンス・データ

田中 (京大基研)  
瀬戸 (京大理)  
神田 (阪市大理)

### 衛星

船木 (JAXA)

## Design phase

DECIGO パスファインダー  
リーダー: 安東 (国立天文台)

## Mission phase

### 干渉計

佐藤 (法政大), 阿久津・上田 (国立天文台), 麻生 (東大理)

### レーザー

武者 (電通大)  
植田 (電通大)

### ドラッグフリー

佐藤 (法政大),  
坂井 (JAXA)

### スラスタ

船木 (JAXA)

### 信号処理

阿久津  
(国立天文台)

### バス

高島  
(JAXA)

### データ解析

神田  
(阪市大理)

DECIGO-WG **メンバー** 145名

<b>理論</b>	<b>57名</b>
<b>実験</b>	<b>80名</b>
<b>シニア</b>	<b>8名</b>

**実験** 80名の内訳

KAGRAでも <b>主要</b> タスクを担うメンバー	<b>17名</b>
KAGRAでも <b>一部</b> のタスクを持つメンバー	<b>3名</b>
<b>DECIGO/DPFのみに参加</b>	<b>57名</b>
<b>国外</b>	<b>4名</b>

**Q.全体計画の中で天文台の果たすべき部分を明確にすること。**

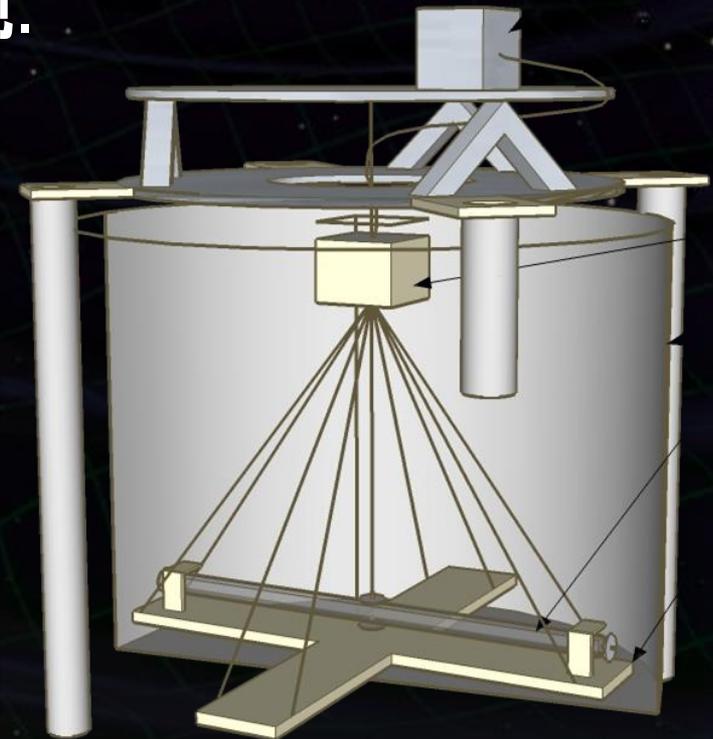
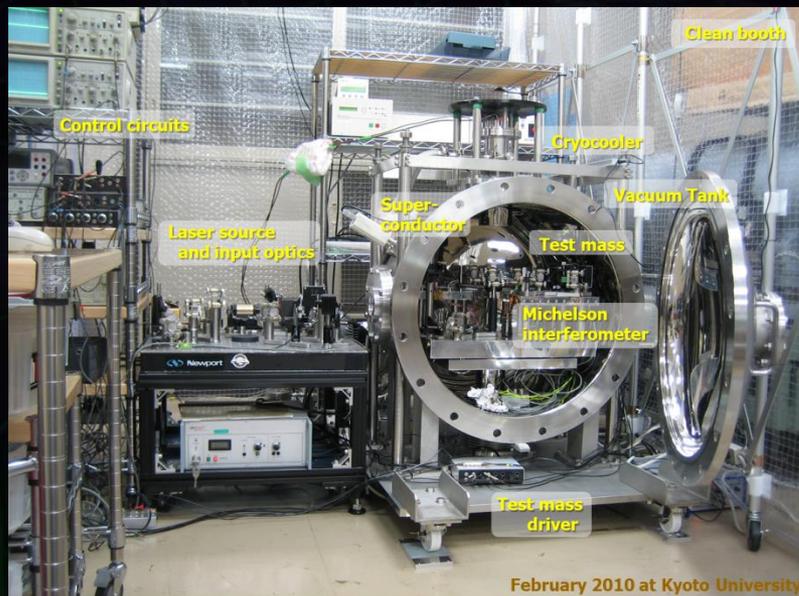
### 回答

**科研費・基盤研究(A) (安東)「ねじれ型望遠鏡による低周波重力波探査」に基づく研究活動。東京大・お茶の水女子大の学生らが主に研究活動を推進している。**

**なお、来年度の予算要求には、これに必要な研究経費は含めていない。**

## 地上での低周波数重力波観測のための基礎研究

- ねじれ振り子を利用した新しいタイプの重力波望遠鏡.
- これまでに0.1Hzの周波数帯で世界最高感度の達成や、複数台での同時観測などを実現.



## 2.5 長期的に予算を確保すべき事項

Q. 中心的な役割というのは具体的にはどういう役割なのか？  
宇宙線研究所との関係は？ 担当部分の役割を遂行するための  
予算確保をしたいということであるが、実機以外の試験設備な  
どを天文台の運営費で賄うということと理解してよいか？  
以前に聞いた話ではKAGRAで不足している経費は極めて多く、  
天文台の担当分はその中では小さいということであったが、  
KAGRA全体の不足分を補うのに天文台の経費を使うというこ  
とはないと考えてよいか？

## 2.5 長期的に予算を確保すべき事項

### 回答

- 中心的な役割というのは具体的にはどういう役割なのか？  
宇宙線研究所との関係は？  
→ 前述の通り。副ホスト機関として執行部(EO, SEO)・主要サブシステム(防振・補助光学系・鏡など)に貢献。
- 担当部分の役割を遂行するための予算確保をしたいということであるが、実機以外の試験設備などを天文台の運営費で賄うということと理解してよいか？  
→ その通り。

## 2.5 長期的に予算を確保すべき事項

### 回答 (続き)

- KAGRA全体の不足分を補うのに天文台の経費を使うということはないと考えてよいか？

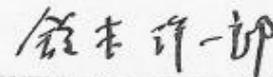
→ 今回の要求ではKAGRA本体に導入する装置についての不足分には触れていない。明確にすることが必要であれば、副ホスト機関として、トップレベルでの協議をお願いします。

#### 大型重力波望遠鏡計画の推進についての覚書

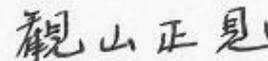
東京大学宇宙線研究所、自然科学研究機構国立天文台および高エネルギー加速器研究機構は、大型重力波望遠鏡計画の実現が、物理学及び天文学の発展に重要な意義をもたらすことを認識し、宇宙線研究所の統括により、協力して計画を推進する。

この合意は、平成6年8月1日付け（平成8年8月1日付け更新、平成10年8月1日付け更新、平成12年11月20日付け更新、平成15年4月1日付け更新及び平成17年4月1日付け更新）の重力波の研究推進に関する三者合意を継承するもので、平成19年4月1日から2年間有効とし、3者間の協議により更新できるものとする。

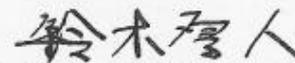
平成19年2月28日



東京大学宇宙線研究所長  
鈴木洋一郎



自然科学研究機構国立天文台長  
観山正見



高エネルギー加速器研究機構長  
鈴木厚人

Q. これはKAGRA全体の予算から賄うべき「実機」とは異なる  
と考えてよいか？

## 回答

その通り。試作・試験と開発、実機の性能評価試験のための経費として要望している。

Q. 2倍以上に増えているが、その理由は？

## 回答

予算計上時の見かけの増加である。プロジェクト室全体として研究開発経費が不足していることから、申し合わせの上、構成員に割り当てられている個人研究経費をひとまとめにし、研究開発経費として執行している。H25年度予算として要求している額は、個人研究経費として割り当てられているものを単純積算して計上している。

Q.宇宙線研、KEKの設備を使い続けることは不可能か？  
宇宙線研、KEKで行うことは不可能なのか？立ち上げるための  
エフォートも無視できないのでは？ATCに設置する場合にはどれ  
くらいのスペースが必要か？ また、何年間使用するのか？

## 研究計画：低温施設整備



- KAGRA低温部に収められる装置を試験・評価するための設備。
  - 防振系・補助光学系：最終的に低温部(20K)にインストール。
  - 現在、重力波P推進室には試験設備が無い。
    - KEK, ICRRなどに出向いてコンポーネント試験。
  - 重力波分野の基礎・応用研究では低温設備は必須になる。
    - 国内・国際的な競争力の維持。

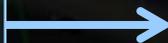


- 2年計画で整備（設計、冷凍機 / 防振、輻射シールド、組上げ）。  
基本的にはKAGRAと同構成。ただし真空槽など現有物を利用し、コスト削減をはかる。



ヒアリング資料 (Feb. 8, 2013, NAOJ)

PW資料より



# 国内重力波G所有の低温実験設備

KAGRA低温バツフル試験に必要な概略仕様

Φ800, t500mmのものが収まる, 4K, PT冷凍機, 光入射可能

- 宇宙線研 CLIK  
6K 冷却部円筒形  
(Φ800 奥行 450mm)  
GM冷凍機  
光入射窓あり



熱輻射評価  
低温ペイロード試験

- 宇宙線研 小型設備  
4K 冷却部円筒形  
(Φ360 奥行 170mm)  
PT冷凍機  
光入射可能



低温加速度計開発

- KEK 小型設備  
4K 冷却部円筒形  
(Φ140 奥行 170mm)  
液体ヘリウム  
光入射窓なし



サファイヤ特性評価  
熱雑音評価測定

# KAGRAクライオスタット

- ・クライオスタット用真空槽 (4台) 完成  
→ ラディエーションシールドのインストール  
冷凍機ユニット接続 → 冷却試験.

Inside the Rad. Shield



Cryostat #1 in preparation for installation of radiation shield.

Cryostat #2 under leak test.

Toshiba Keihin Factory (Oct 31, 2012)



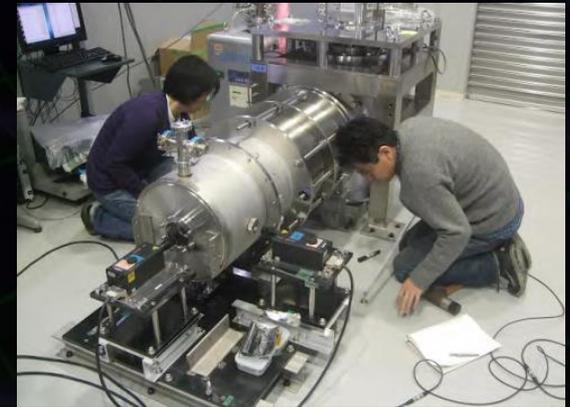
Cryo-cooler unit

# 想定している低温実験設備構成

- 汎用・半恒久的 低温研究設備として製作する
  - 2016年までは主にKAGRAのための試験設備.
  - 低温干渉計実験, 熱雑音研究, 量子光学研究など
- TAMA真空槽を改造
  - $\Phi 1000$ , 高さ2000mm程度, 光の入射可
- 冷凍機はKAGRAと同等のものを使用
  - 低振動型PT冷凍機, 4Kまで冷却化
- 設置場所: TAMA施設, もしくはATC実験室
  - 設置面積 2.5x2.5m 程度
  - 本体 1.2x1.2m, 高さ2.5m+ 冷凍機一式



クライオスタット、冷凍機技術はKAGRAクライオスタット開発の過程で確立している。その技術を流用することで、立ち上げのための労力を削減する。



# 例年より予算額が多いもの(長期)

Q. これは長期的経費として2300万円増ということであるが、内訳、必要性についての具体的な説明がある。

●	平成25年度 台内予算要求合計	<u>5,935 万円</u>
	・長期的経費	<u>4,435 万円</u>
	- 運用経費	630 万円
後述 ⇨	- 研究開発経費	2,800 万円
	- 契約職員人件費	460 万円 (JASMINEと共同)
	- 個人研究経費	545 万円
	・短期的経費	<u>1,500 万円</u>
後述 ⇨	- 研究開発経費	1,500 万円

## ● 外部資金

- |          |          |
|----------|----------|
| - 科研費継続  | 890 万円   |
| - 科研費申請中 | 6,035 万円 |
- (特別推進研究, 新学術領域公募, 基盤研究(A) など)

# 予算要求とKAGRAの予算状況

- 研究開発費要求は、主にKAGRAに関するもの。
- 現在のKAGRA経費：最先端 98億円 + トンネル掘 33億円  
→ 当初プロジェクト要求に対して30億円程度不足。  
人件費、旅費は制度として支出できない。



- KAGRA実機としてインストールされるもののみ支出。
- 設計開発、プロトタイプ試験、実機評価試験などは、  
協力機関の努力によって補われている。

## • 天文台担当の主なサブシステムの執行予算規模

- 防振                    ~ 26,500 万円
- 補助光学系       ~ 23,100 万円
- 鏡                        ~ 43,400 万円

その他

干渉計、入出射光学系、  
デジタルシステムなど。

- **研究開発経費** 2,800 万円
  - KAGRA
    - \* **防振・懸架** 500 万円 (Type-B 300, 光てこ 200)
    - \* **補助光学系** 1,000 万円 (テレスコープ 800, 散乱 200)
    - \* **鏡** 800 万円 (評価400, サンプル鏡 400)
  - **先端技術開発**
    - \* DECIGO/DPF 500 万円  
(干渉計試験マス 200 入射光学系 300)
  
- **短期経費** 1,500 万円
  - **低温施設整備** 1,500 万円 (冷凍機1000, 設計・試作 500)

## ・光学素子のための防振・懸架系（高橋, 石崎）

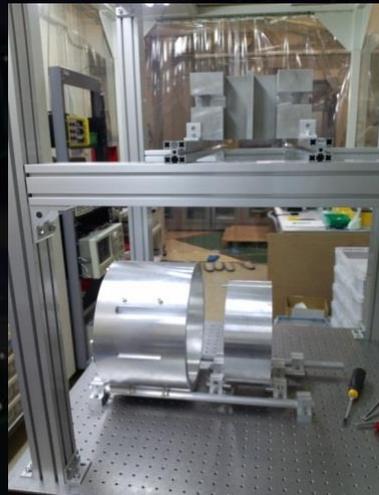
- サファイヤ低温鏡の防振系
- その他, 常温光学素子の防振系

## ・現在は部分に分けて開発中

⇒ 2013年度より TAMA300を用いて  
総合プロトタイプ試験



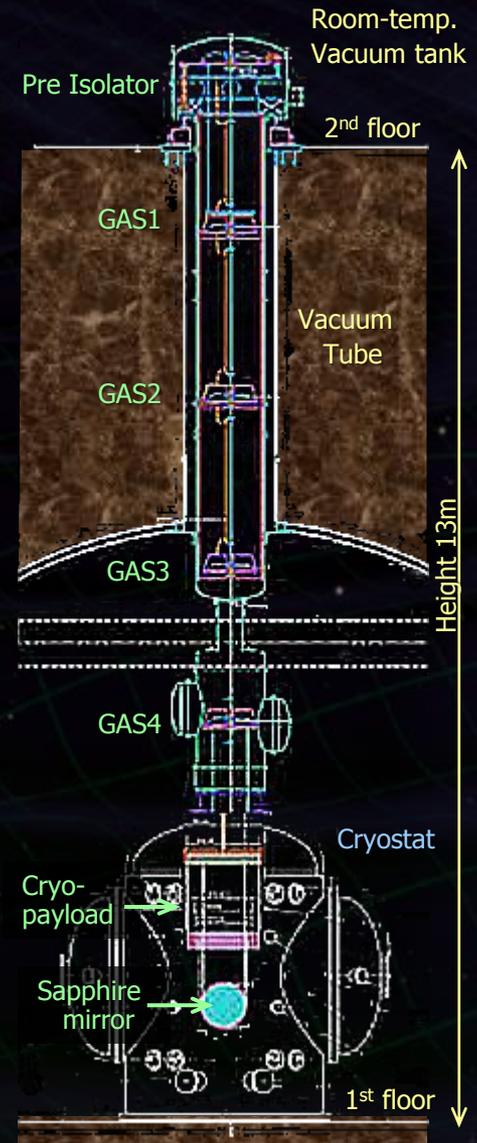
Pre-isolator試験の様子



ペイロード初期プロトタイプ



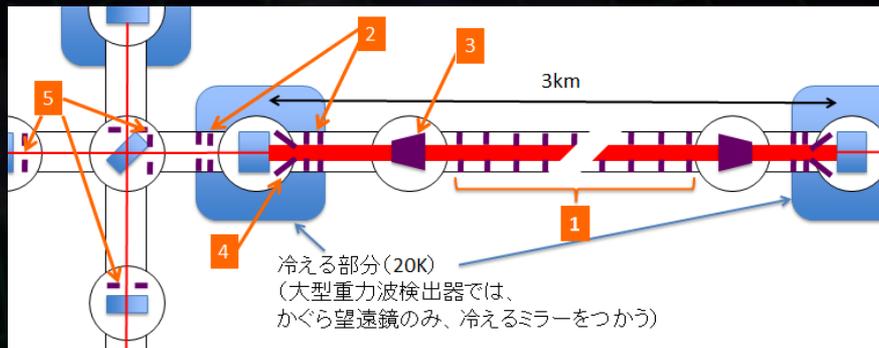
架台支柱試験品



- 干渉計の散乱光処理など (阿久津, 我妻)
  - 散乱光などの処理. 透過光モニタなどのコンポーネント.
  - 干渉計の最終感度を決める可能性がある重要なサブシステム.
- 具体設計進行中: ATCの協力.
  - ATCにて開発・試験環境整備 ← 留置き金.
  - ⇒ 今年度中に試作品評価, 実機製作開始.
  - 2015年末までに実機製作・評価試験完了 → インストール.



バツフル (内径22cm)



KAGRAバツフル構成図

透過光用Beam reducing telescope  
長さ約1.5m (LIGO同等品)

• 散乱・損失計測システム開発中 ← 留置き金等

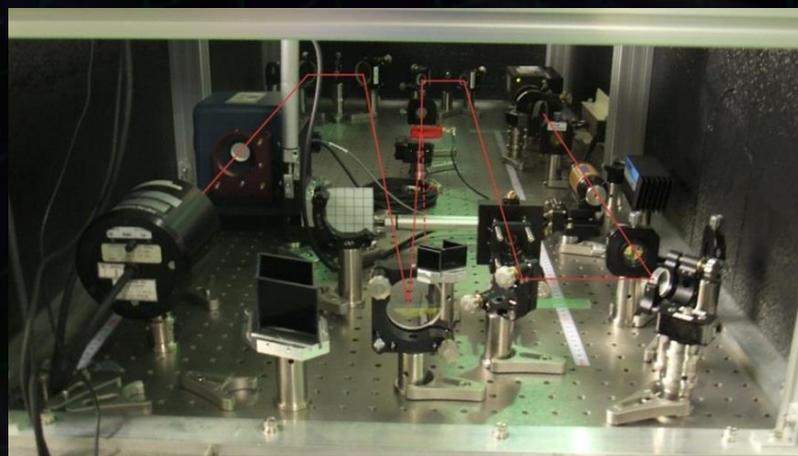
→ 1ppmクラスの損失測定システムは開発済

(国立天文台 年次報告ハイライト参照).

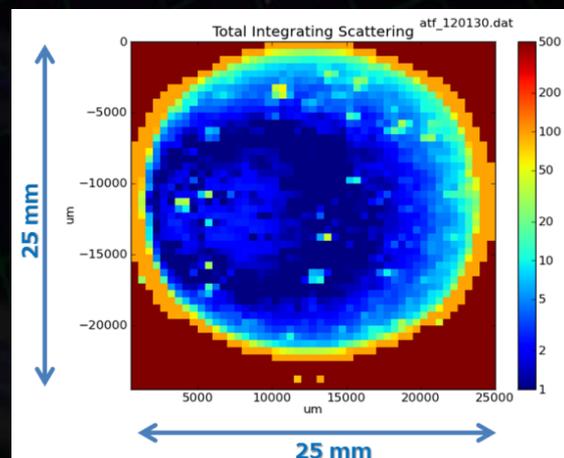
鏡汚染の評価, 洗浄手法, コーティング手法の確立.

⇒ 2.5年程度で完成, 鏡性能の評価と向上をはかる.

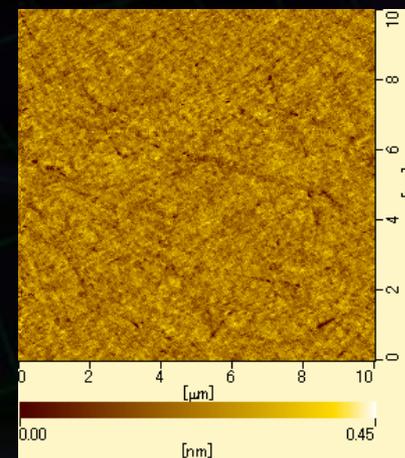
サファイヤテストピース, 入射系鏡・サファイヤ鏡 実機性能評価.



散乱計測装置



散乱計測結果



表面粗さ計測

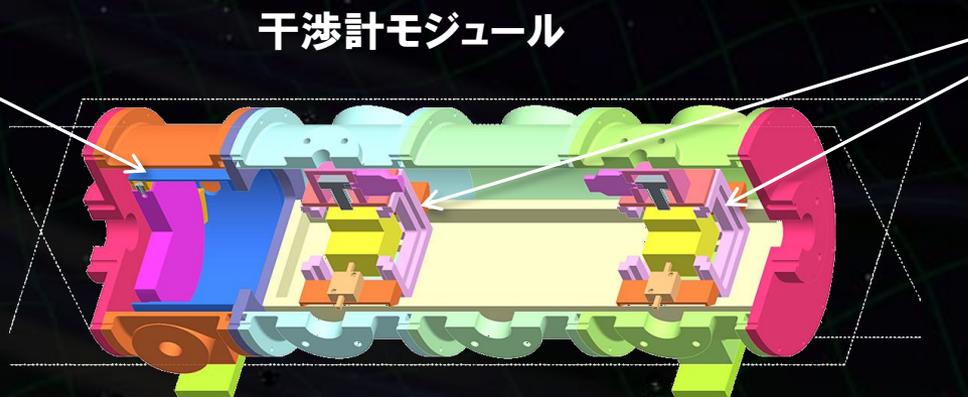
- DPF搭載の干渉計 (阿久津, 上田, 権藤, 安東)
  - 各コンポーネントのBBM試験進行中  
(試験マスモジュール, モノリシック光学系, 信号処理).  
→ 干渉計モジュールとしてパッケージ化.  
構造設計と製作進行中.



モノリシック光学系

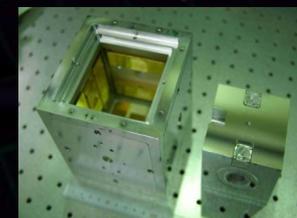


SpW信号処理・制御ボード

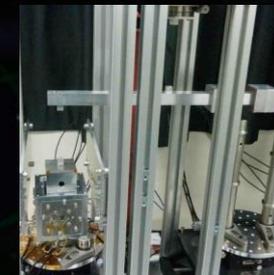


干渉計モジュール

干渉計基線長 約30cm



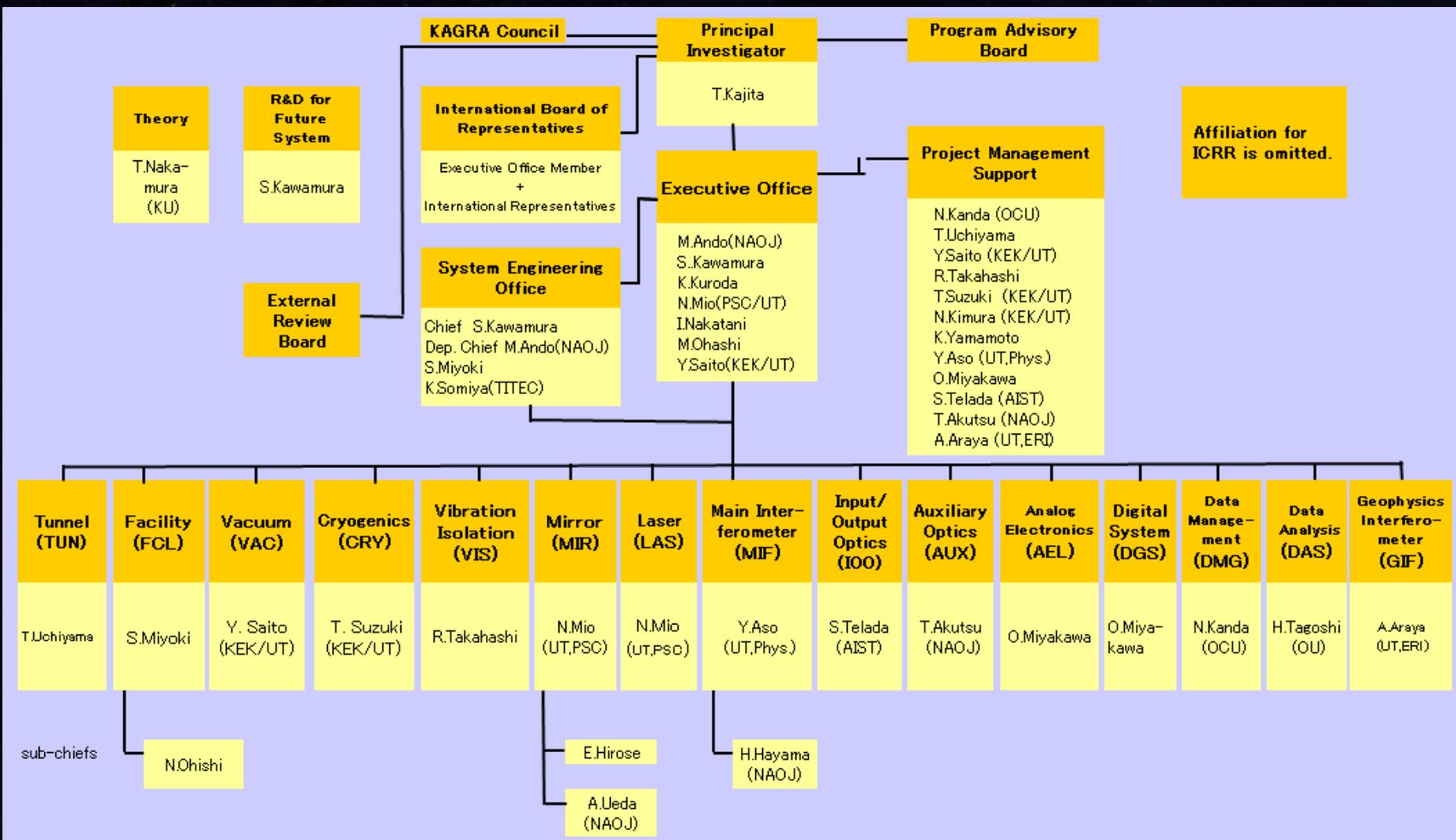
試験マスモジュール



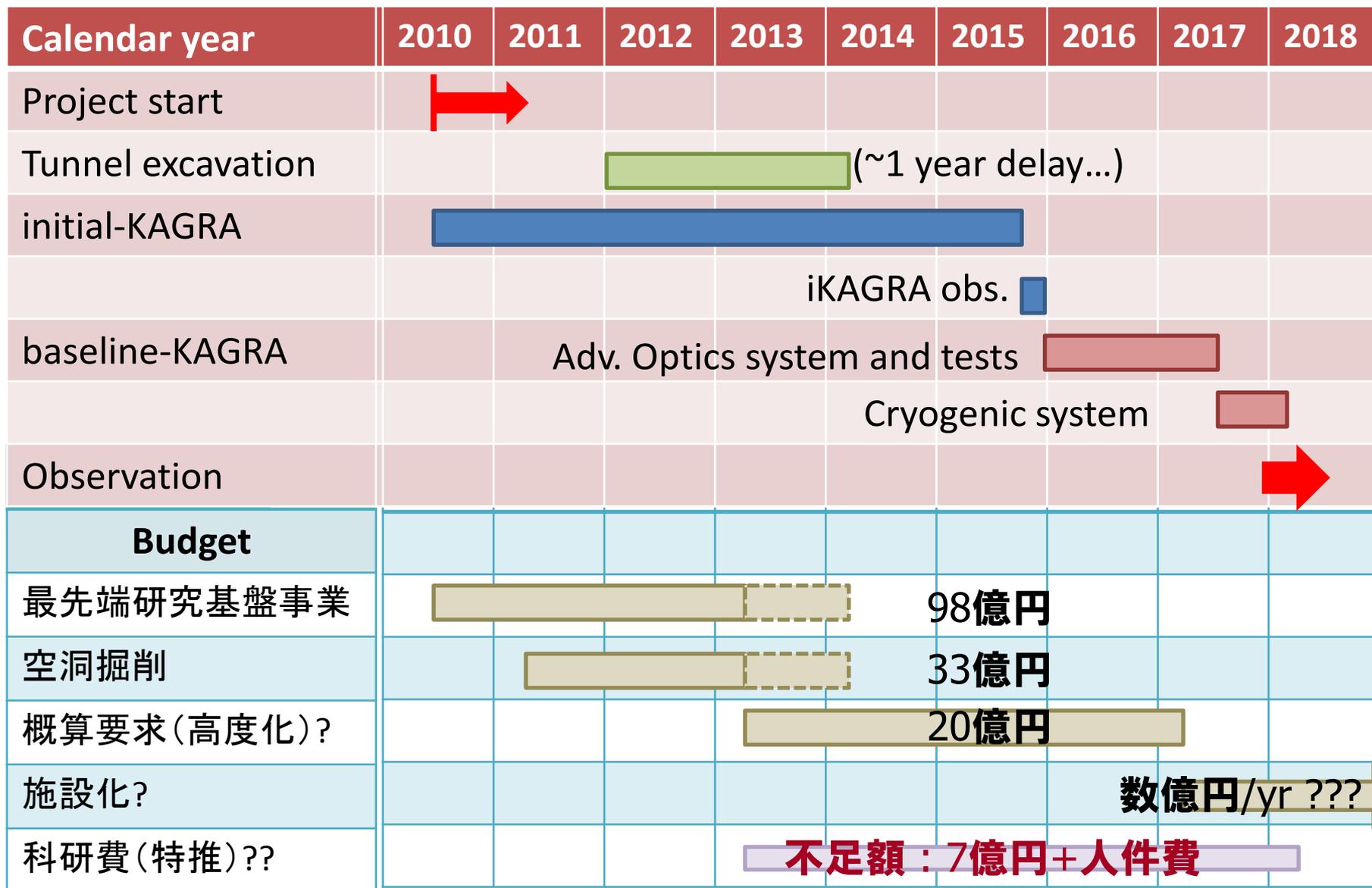
試験マスモジュール制御実験

**Q. 本体の本予算はどれくらいなのか。開発経費はどれくらいなのか。予算と組織の全体像がわかる資料を作成いただきたい。**

# KAGRA組織図



# 建設スケジュール



- **特別推進研究 約5億円 代表 梶田隆章 (東大・宇宙線研)**
  - 宇宙線研にて申請準備中
  - 内容は調整中 (いくつかのテーマ + 人件費, 旅費, 雑多な消耗品)
  - 天文台スタッフ何名かが共同研究者として参加見込み.
  - 天文台としては 担当KAGRAサブシステムの開発をより強く推進する.  
→ 人員増はあるかもしれない. 大きな施設負担増は無い見込み.
- **新学術領域研究(領域申請型) 代表 中村卓史 (京都大)**
  - 公募研究に幾つか申請予定 (応募の重複制限は、ほとんど無い).
  - 1テーマにつき、最大でも400万円/年. → 大きな負担増は無い見込み.
- **その他 科研費申請 : 基盤研究, 挑戦的萌芽研究 など.**

より詳細な予算状況が必要な場合は、非公開情報も含まれるため、当日のプレゼン中に示します。

以上。