

# 大型低温重力波望遠鏡 (KAGRA)プロジェクトの現状(3)

物理学会  
@広島大学  
平成25年3月26日

東大宇宙線研, 国立天文台<sup>A</sup>, 高工ネ研<sup>B</sup>, 東大理物<sup>C</sup>, 東大新領域<sup>D</sup>, 東大工<sup>E</sup>, 東工大<sup>F</sup>, 阪市大理<sup>G</sup>, 京大理<sup>H</sup>, 電通大レーザー研<sup>I</sup>, 東大地震研<sup>J</sup>, 東大理天文<sup>K</sup>, 法政大工<sup>L</sup>, 産総研計測標準<sup>M</sup>, 情報通信研<sup>N</sup>, 阪大理<sup>O</sup>, 京大基研<sup>P</sup>, お茶大理<sup>Q</sup>, 日大総合科学<sup>R</sup>, 新潟大理<sup>S</sup>, 新潟大工<sup>T</sup>, 山梨英和大<sup>U</sup>, 日大生産工<sup>V</sup>, 弘前大理工<sup>W</sup>, 東北大理<sup>X</sup>, 立教大理<sup>Y</sup>, 広島大理<sup>Z</sup>, 琉球大理<sup>a</sup>, 早大先進理工<sup>b</sup>, 総研大<sup>c</sup>, 帝京大理工<sup>d</sup>, JASSO<sup>e</sup>, IMS<sup>f</sup>, MPQ AEI<sup>g</sup>, Caltech<sup>h</sup>, UWA<sup>i</sup>, LSU<sup>j</sup>, 北京師範大天文<sup>k</sup>, IUCAA<sup>m</sup>, Moscow U<sup>n</sup>, LATMOS/CNRS<sup>o</sup>, 中国科大<sup>p</sup>, 清華大情報<sup>q</sup>, 台湾計量研<sup>r</sup>, Univ. Maryland<sup>s</sup>, Univ. Columbia<sup>t</sup>, Univ. Glasgow<sup>u</sup>, Univ. Sannio<sup>v</sup>, 上海師範大宇宙<sup>w</sup>, 台湾清華大物理<sup>x</sup>, 高麗大物理<sup>y</sup>, 仁濟大自然<sup>z</sup>, ソウル大物理天文<sup>Aa</sup>, 明知大物理<sup>Bb</sup>, 韓国KAERI量子光学<sup>Cc</sup>, 漢陽大物理<sup>Dd</sup>, プサン大物理<sup>Ee</sup>, 韓国KISTI情報<sup>Ff</sup>, 韓国NIMS<sup>Gg</sup>, 慶北大天文大気<sup>Hh</sup>, 群山大物理<sup>Ii</sup>, 韓国KIAS<sup>Jj</sup>, Sogang University<sup>Kk</sup>, 中国科学院SIC<sup>Ll</sup>, PSU<sup>Mm</sup>, MSU<sup>Nn</sup>

川村静児, 梶田隆章, 黒田和明, 中谷一郎, 大橋正健, 三代木伸二, 内山 隆, 宮川 治, 高橋竜太郎, 山元一広, Daniel Friedrich, 西田恵里奈, 石塚秀喜, 東谷千比呂, 廣瀬榮一, 上泉眞裕, 岩崎詩子, 榊原裕介, 関口貴令, 陳 タン, 中野雅之, 手嶋航大, 藤本眞克<sup>A</sup>, 安東正樹<sup>A</sup>, 上田暁俊<sup>A</sup>, 大石奈緒子<sup>A</sup>, 阿久津智忠<sup>A</sup>, 辰巳大輔<sup>A</sup>, 固武 慶<sup>A</sup>, 端山和夫<sup>A</sup>, 我妻一博<sup>A</sup>, 中村康二<sup>A</sup>, 石崎秀晴<sup>A</sup>, 鳥居泰男<sup>A</sup>, 田中伸幸<sup>A</sup>, 江口智士<sup>A</sup>, 山本 明<sup>B</sup>, 鈴木敏一<sup>B</sup>, 木村誠宏<sup>B</sup>, 春山富義<sup>B</sup>, 井岡邦仁<sup>B</sup>, 久徳浩太郎<sup>B</sup>, 齊藤芳男<sup>B</sup>, 小池重明<sup>B</sup>, 横山順一<sup>C</sup>, 梅家篤史<sup>C</sup>, 伊藤洋介<sup>C</sup>, 坪野公夫<sup>C</sup>, 麻生洋一<sup>C</sup>, 平松成範<sup>C</sup>, 穀山 涉<sup>C</sup>, 岡田健志<sup>C</sup>, 瓦 尊慶<sup>C</sup>, 松本伸之<sup>C</sup>, 道村唯太<sup>C</sup>, 正田亜八香<sup>C</sup>, 柴田和憲<sup>C</sup>, 牛嶋崑文<sup>C</sup>, 渡辺恭平<sup>D</sup>, 及川 漢<sup>D</sup>, 平谷真也<sup>D</sup>, 千葉智弘<sup>D</sup>, 三尾典克<sup>E</sup>, 森脇成典<sup>E</sup>, 大前宣昭<sup>E</sup>, 細谷暁夫<sup>F</sup>, 河合誠之<sup>F</sup>, 宗宮健太郎<sup>F</sup>, 須佐友紀<sup>F</sup>, 上田慎一郎<sup>F</sup>, 神田展行<sup>G</sup>, 山本尚弘<sup>G</sup>, 譲原浩貴<sup>G</sup>, 田中一幸<sup>G</sup>, 中尾憲一<sup>G</sup>, 中村卓史<sup>H</sup>, 瀬戸直樹<sup>H</sup>, 植田憲一<sup>I</sup>, 米田仁紀<sup>I</sup>, 中川賢一<sup>I</sup>, 武者 満<sup>I</sup>, 新谷昌人<sup>J</sup>, 高森昭光<sup>J</sup>, 和泉 亮<sup>K</sup>, 佐藤修一<sup>L</sup>, 林 翔平<sup>L</sup>, 東浦孝典<sup>L</sup>, 角谷昌憲<sup>L</sup>, 高辻利之<sup>M</sup>, 尾藤洋一<sup>M</sup>, 寺田聡一<sup>M</sup>, 長野重夫<sup>N</sup>, 田越秀行<sup>O</sup>, 佐野保道<sup>O</sup>, 高倉 理<sup>O</sup>, Luca Baiotti<sup>O</sup>, 佐々木 節<sup>P</sup>, 柴田 大<sup>P</sup>, 田中貴浩<sup>P</sup>, 佐合紀親<sup>P</sup>, 関口雄一郎<sup>P</sup>, 西澤篤志<sup>P</sup>, 権藤里奈<sup>Q</sup>, 斎藤那葉<sup>Q</sup>, 新富孝和<sup>R</sup>, 大原謙一<sup>S</sup>, 平沼悠太<sup>S</sup>, 金山雅人<sup>S</sup>, 佐藤 孝<sup>T</sup>, 大河正志<sup>T</sup>, 土井康平<sup>T</sup>, 前原進也<sup>T</sup>, 川上航平<sup>T</sup>, 清水直弥<sup>T</sup>, 高橋弘毅<sup>U</sup>, 姫本宣朗<sup>V</sup>, 浅田秀樹<sup>W</sup>, 二間瀬敏史<sup>X</sup>, 高橋史宜<sup>X</sup>, 原田知広<sup>Y</sup>, 西條統之<sup>Y</sup>, 小島康史<sup>Z</sup>, 瓜生康史<sup>a</sup>, 山田章一<sup>b</sup>, 橋詰克也<sup>c</sup>, 大森隆夫<sup>d</sup>, 阪田紫帆里<sup>e</sup>, 鹿野 豊<sup>f</sup>, 川添史子<sup>g</sup>, Yanbei Chen<sup>h</sup>, 河邊啓太<sup>h</sup>, 新井宏二<sup>h</sup>, Haixing Miao<sup>h</sup>, M.E.Tobar<sup>i</sup>, D. Blair<sup>i</sup>, Ju Li<sup>i</sup>, Chunnong Zhao<sup>i</sup>, Linqing Wen<sup>i</sup>, Warren Johnson<sup>j</sup>, 若山圭以子<sup>j</sup>, 中野寛之<sup>P</sup>, Zong-Hong Zhu<sup>i</sup>, S. Dhurandhar<sup>m</sup>, Archana Pai<sup>m</sup>, S. Mitra<sup>m</sup>, V. Milyukov<sup>n</sup>, Lucio Baggio<sup>o</sup>, Yang Zhang<sup>p</sup>, Junwei Cao<sup>q</sup>, Sheau-Shi Pan<sup>r</sup>, Sheng-Jui Chen<sup>r</sup>, 沼田健司<sup>s</sup>, Szabolcs Marka<sup>t</sup>, Stuart Reid<sup>u</sup>, Innocenzo Pinto<sup>v</sup>, Vincenzo Galdi<sup>v</sup>, Vincenzo Pierro<sup>v</sup>, Giuseppe Castaldi<sup>v</sup>, Riccardo DeSalvo<sup>v</sup>, Rocco P. Croce<sup>v</sup>, Maria Principe<sup>v</sup>, Roberto Conte<sup>v</sup>, Vincenzo Fiumara<sup>v</sup>, Vincenzo Matta<sup>v</sup>, Francesco Chiadini<sup>v</sup>, Fabio Postiglione<sup>v</sup>, Wei-Tou Ni<sup>x</sup>, Xiang-hua Zhai<sup>w</sup>, Ping Xi<sup>w</sup>, Hsien-Hao Mei<sup>x</sup>, Tai Hyun Yoon<sup>y</sup>, Hyung Won Lee<sup>z</sup>, Hyung Mok Lee<sup>Aa</sup>, Jae Wan Kim<sup>Bb</sup>, Yong-Ho Cha<sup>Cc</sup>, Hyun Kyu Lee<sup>Dd</sup>, Chang-Hwan Lee<sup>Ee</sup>, Gungwon Kang<sup>Ff</sup>, John J. Oh<sup>Gg</sup>, Sang Hoon Oh<sup>Gg</sup>, Myeong-Gu Park<sup>Hh</sup>, Sang Pyo Kim<sup>Ii</sup>, Maurice H.P.M. van Putten<sup>Jj</sup>, Cho Kyuman<sup>Kk</sup>, Jun Xu<sup>Ll</sup>, Lihe Zheng<sup>Ll</sup>, Jingya Wang<sup>Ll</sup>, 櫻山和己<sup>Mm</sup>, 八木絢外<sup>Nn</sup>

# 話の内容

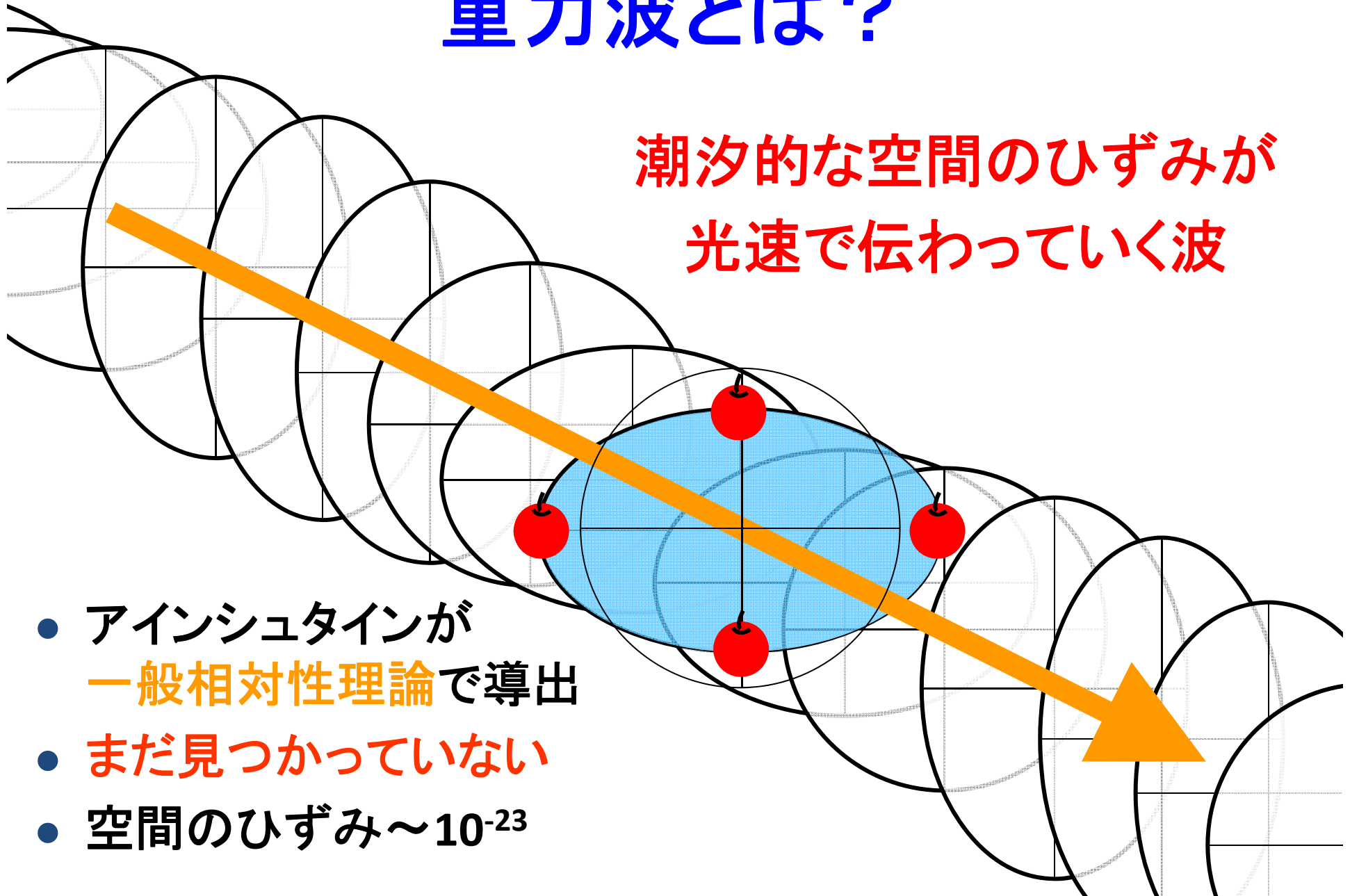
1. 重力波の検出
2. KAGRAの概要
3. 現状
4. スケジュール、組織、共同研究
5. まとめ



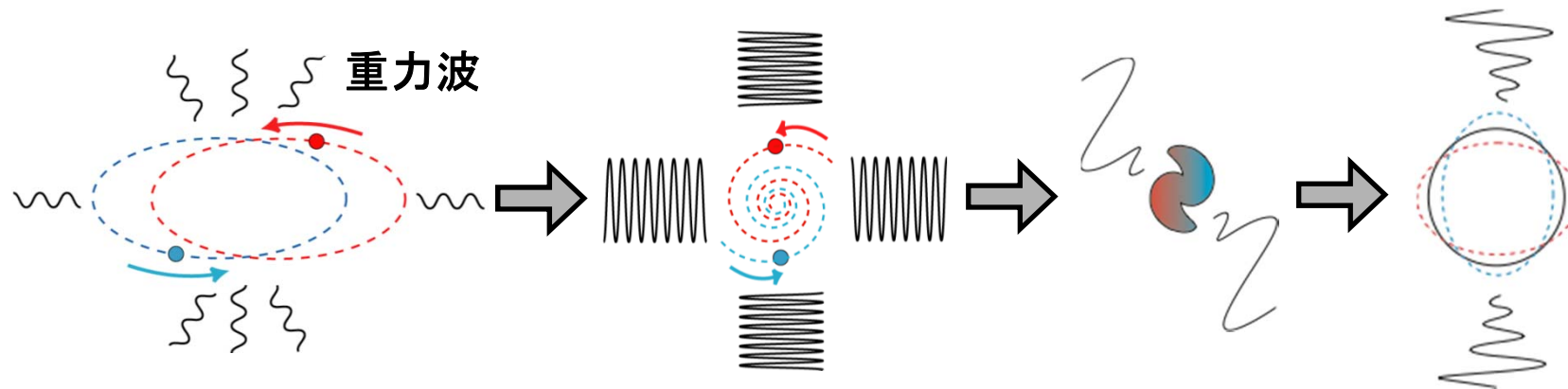
# 重力波とは？

潮汐的な空間のひずみが  
光速で伝わっていく波

- アインシュタインが  
一般相対性理論で導出
- まだ見つかっていない
- 空間のひずみ $\sim 10^{-23}$



# 中性子星連星の合体

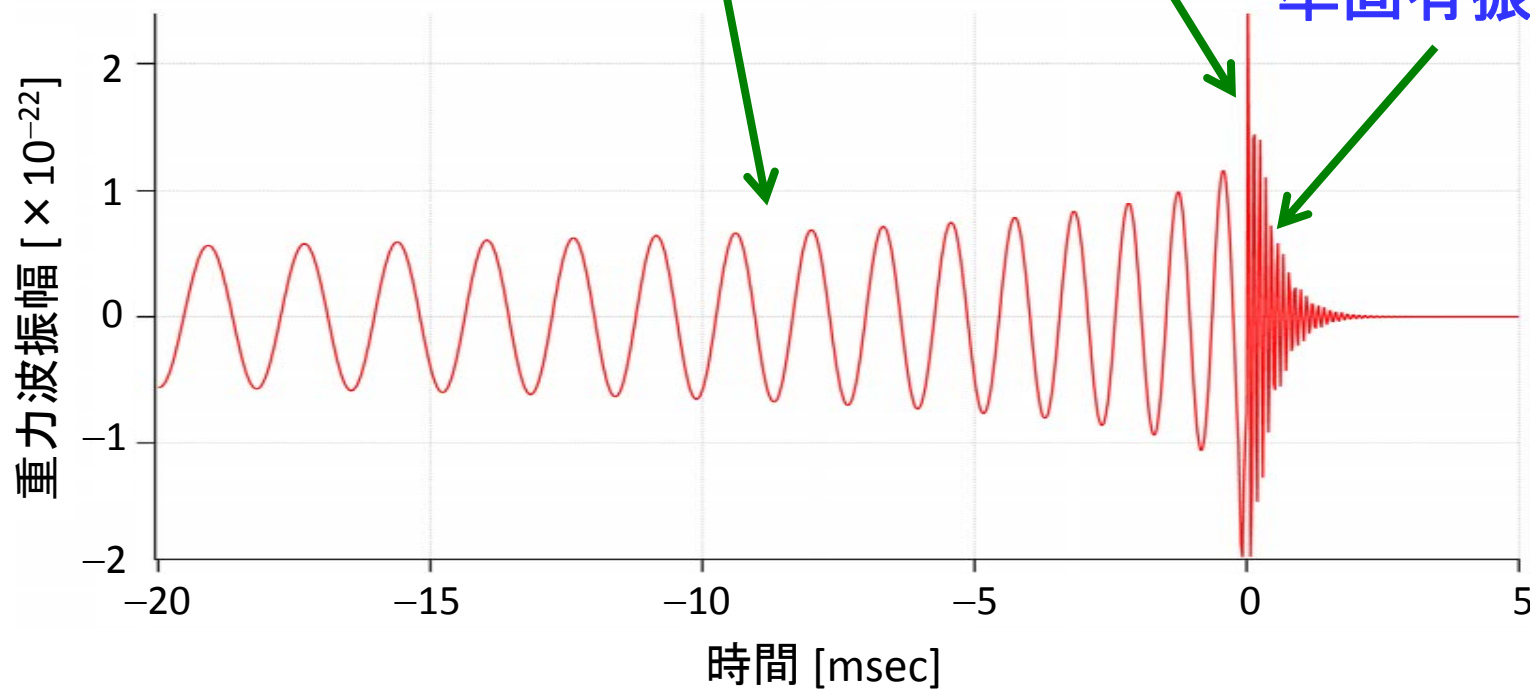


公転運動

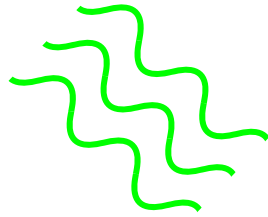
インスパイラル

合体

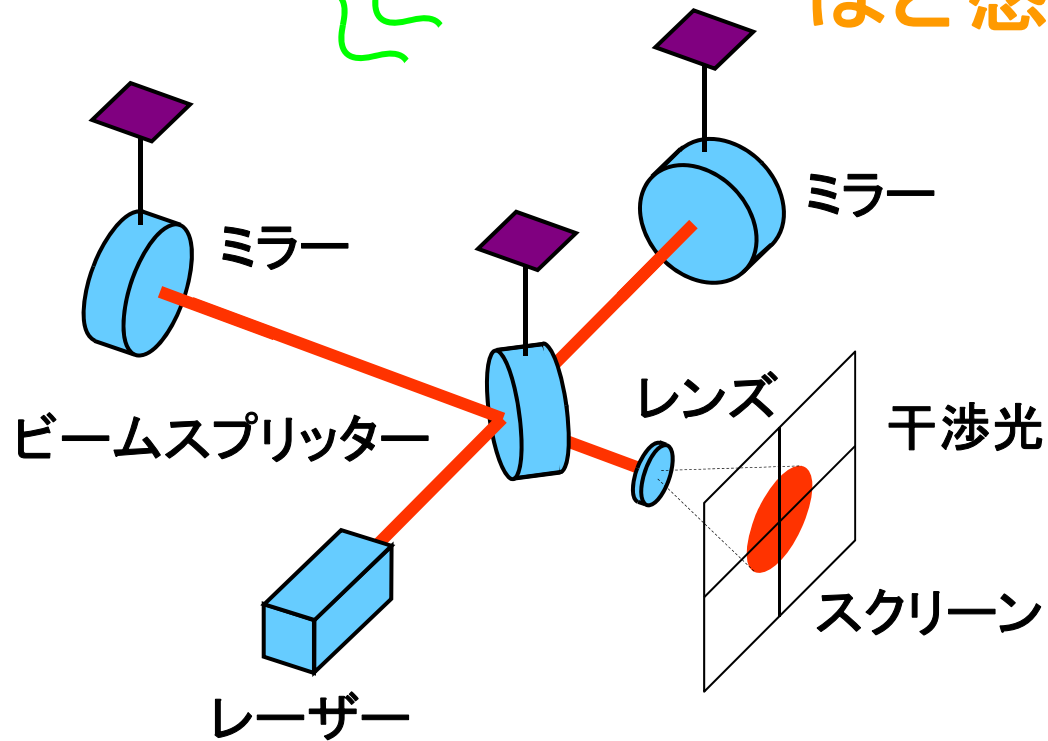
ブラックホールの  
準固有振動



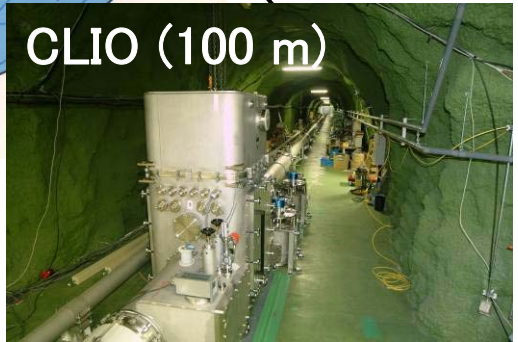
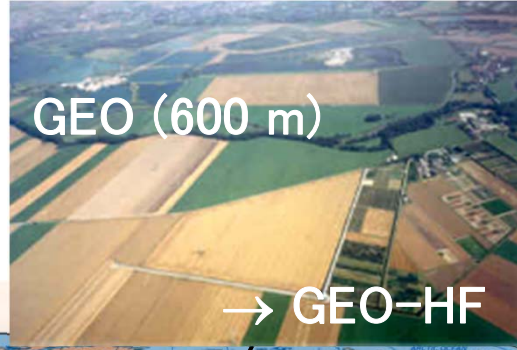
# レーザー干渉計による 重力波検出



アーム長が長い  
ほど感度が高い！



# 世界の大型干渉計(第1世代から第2世代へ)



第3世代検出器 Einstein Telescope (10 km)検討中

# KAGRA



目的:

重力波を初検出し重力波天文学を創成する

重力波源:

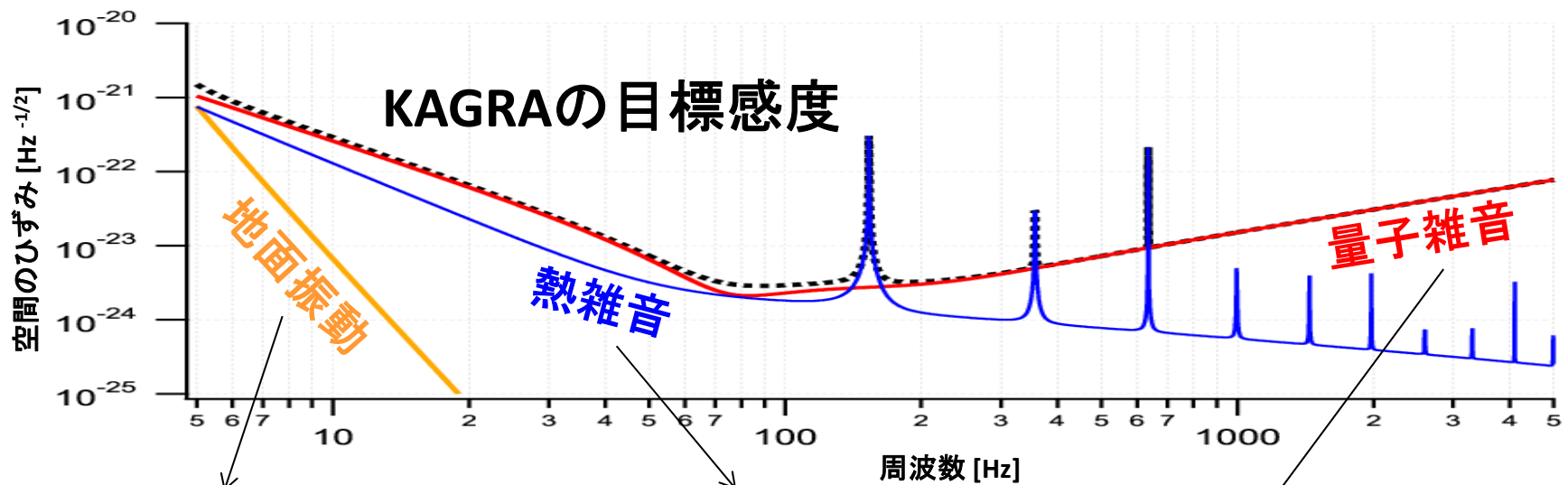
- ・中性子星連星合体
- ・ブラックホール連星合体
- ・超新星爆発
- ・パルサー
- ・他

# 神岡





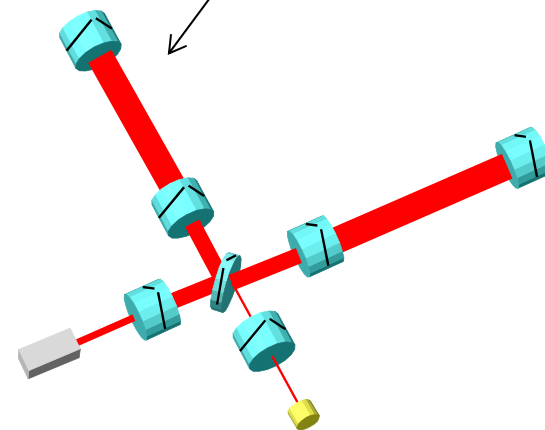
# KAGRA検出器の先端性



神岡地下



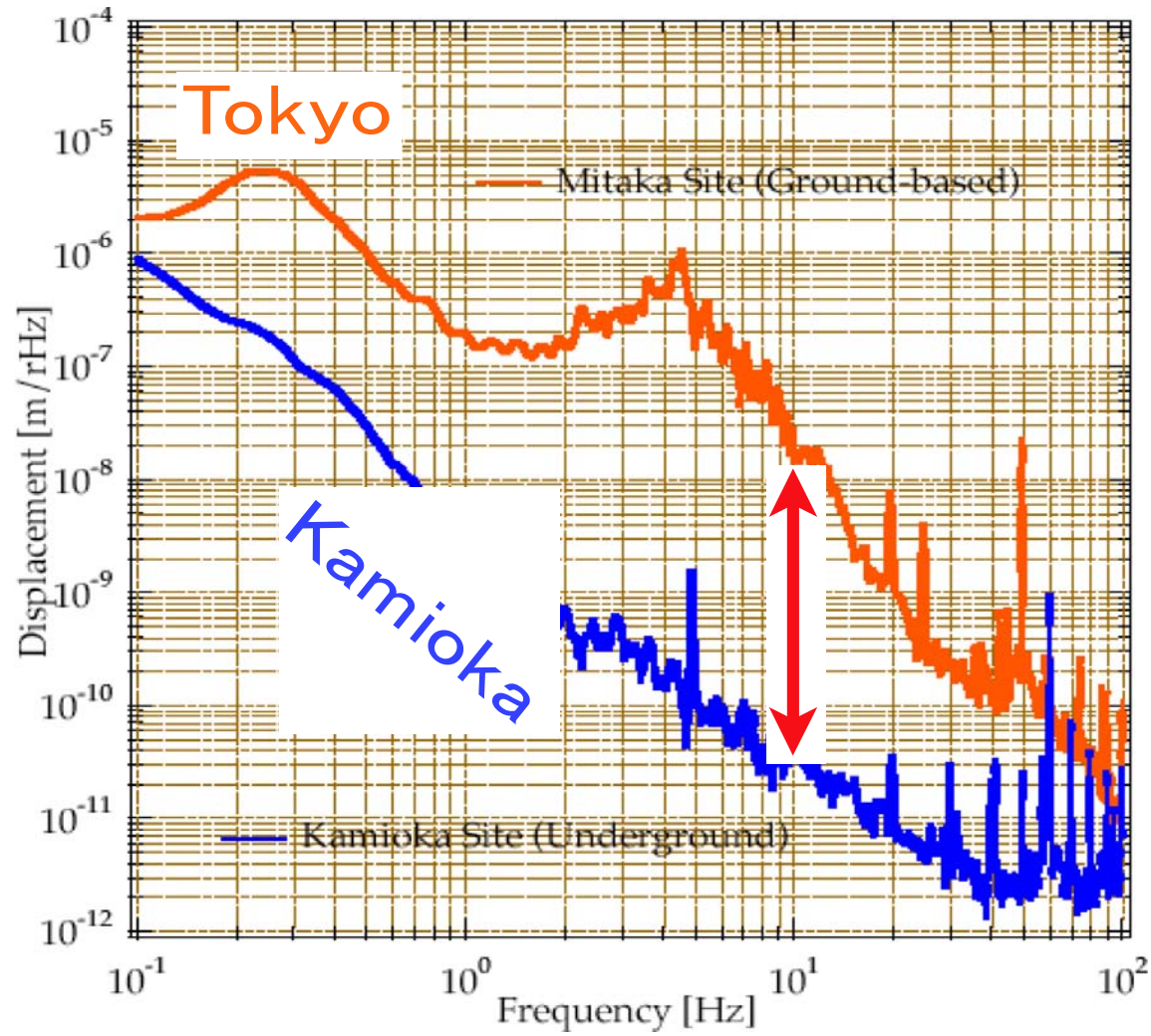
低温ミラー



Resonant Sideband  
Extraction干涉計  
(第2世代技術)

(第3世代技術)

# 神岡地下と三鷹の地面振動



Amplitude of seismic motion

# 超高防振システム

トンネル (2階)

チェンバー  
倒立振り子

GAS フィルター

クリープ雑音も  
問題

チェンバー  
鏡

トンネル (1階)

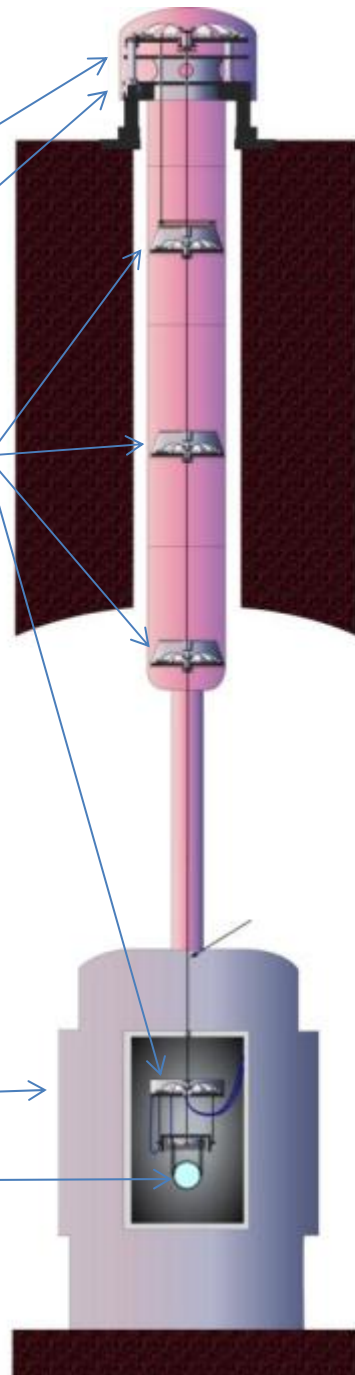
鏡の振動

$10^{-10} \text{ mHz}^{-1/2}$

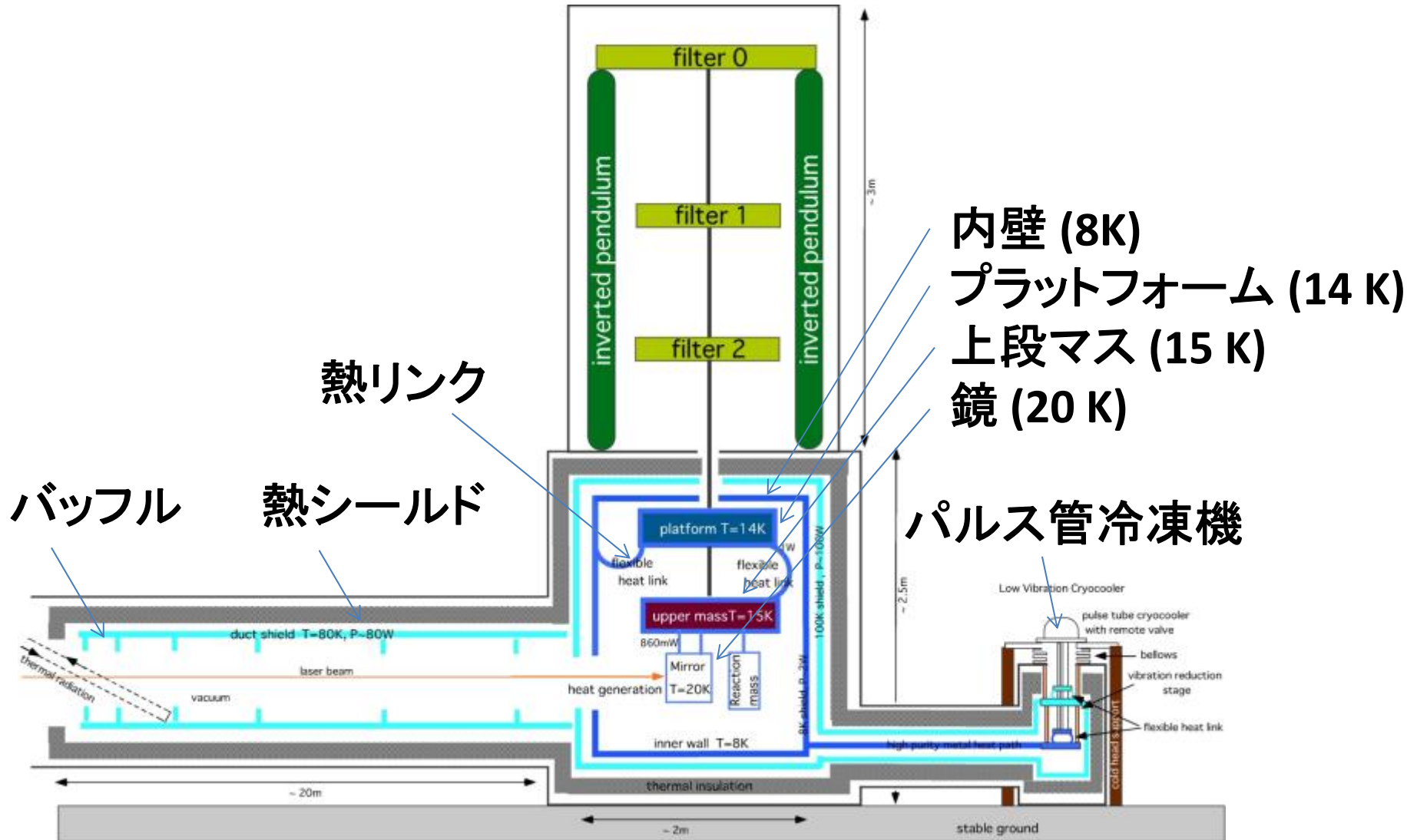
低減

$10^{-18} \text{ mHz}^{-1/2}$

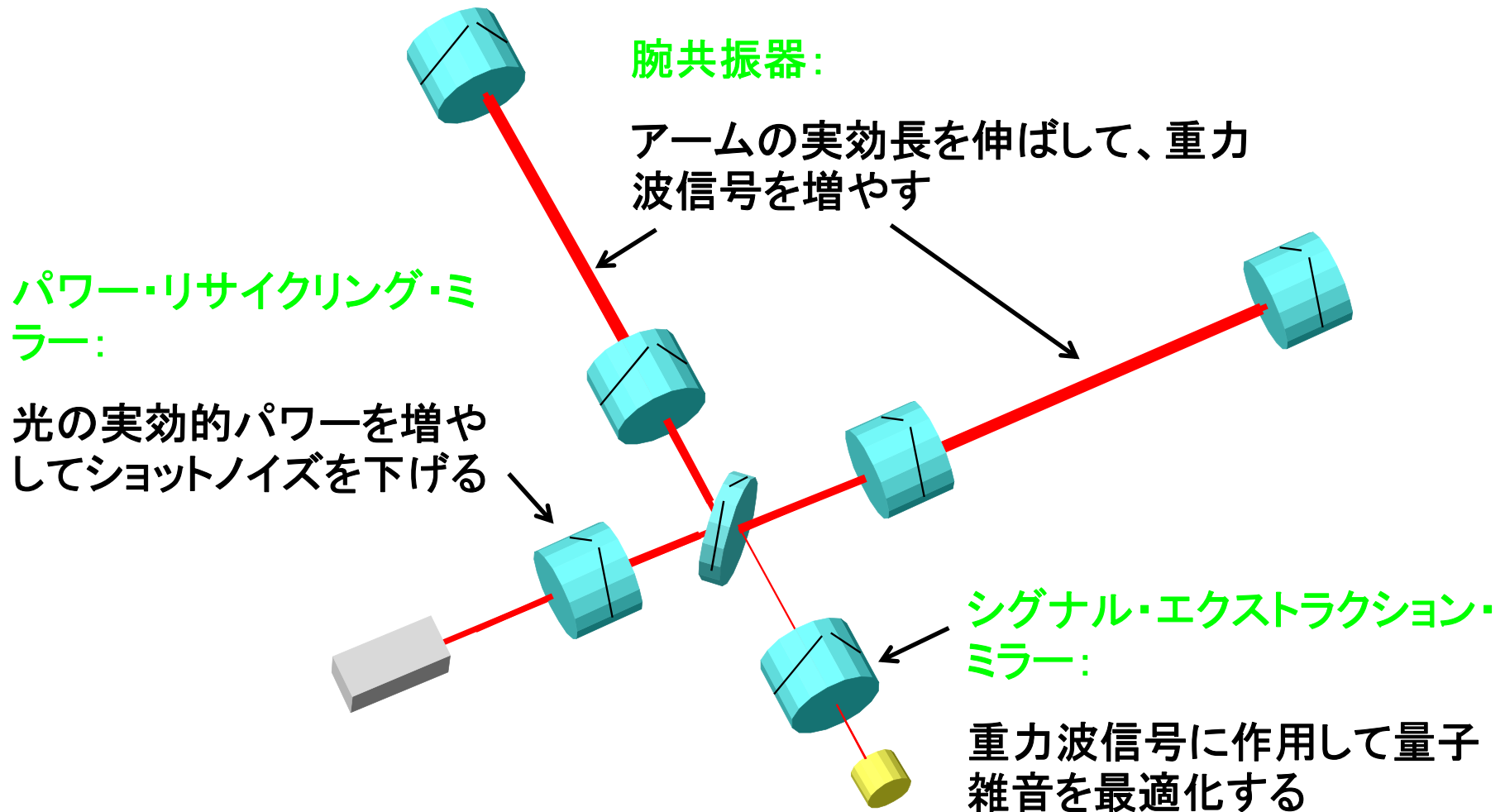
@10 Hz



# 冷却システム



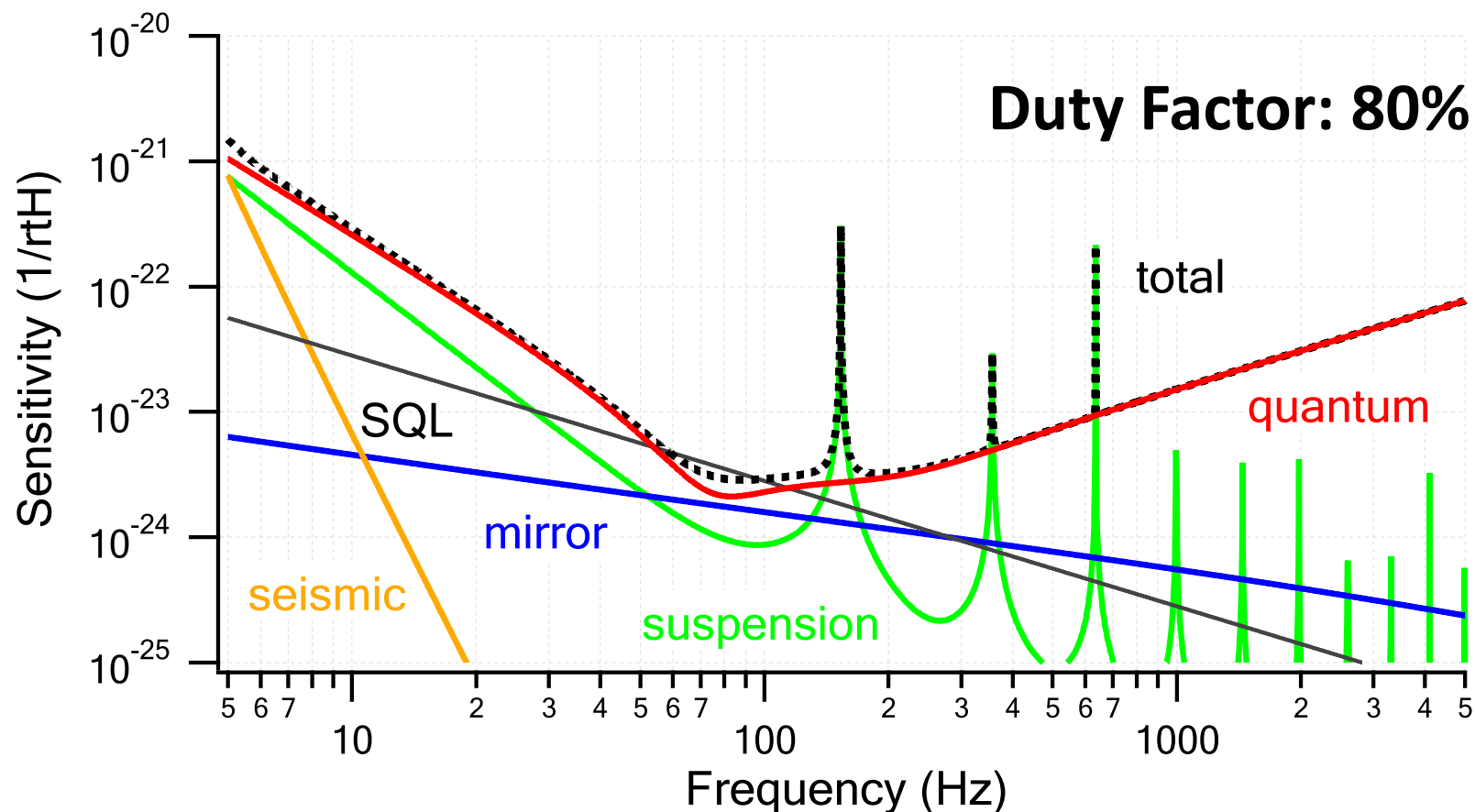
# 帯域可変型干渉計



# KAGRAの最終目標感度

## 中性子星連星の合体からの重力波

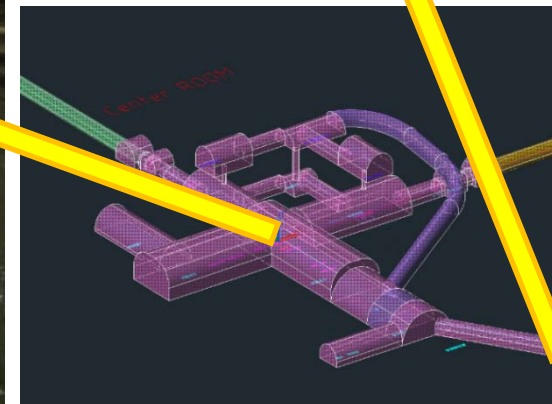
- 検出可能距離: 7億光年
- 検出期待回数:  $9.8^{+14}_{-6.6} \text{ yr}^{-1}$



# トンネル

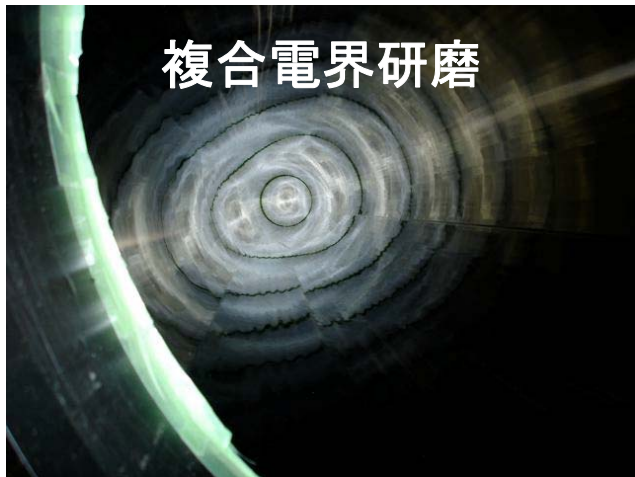
3/14現在

- 茂住側 : Yarm1165.5m掘削済み
- 新跡津側 : Xarm463.5m、Yarm251.7m掘削済み



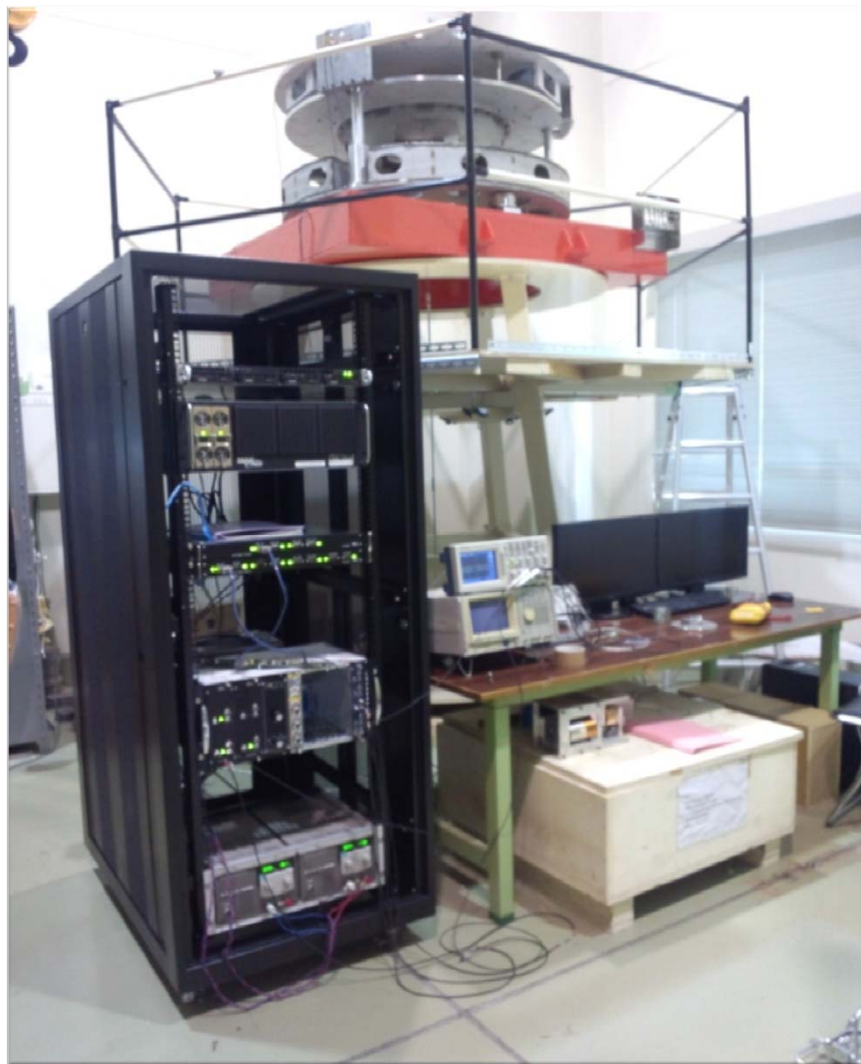
# 真空系

- 直径0.8m、長さ12mの真空ダクト500本超をほぼ製造終了。神岡町に収納保管中。
- 真空タンクの設計ほぼ終了。2013年に本格製造。





# 防振装置

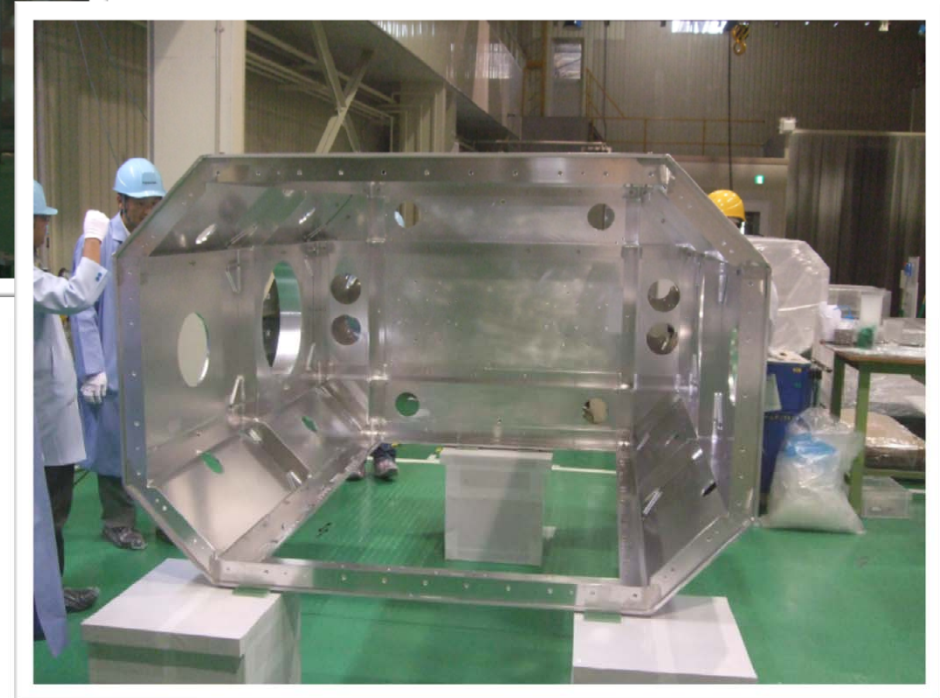


Pre-Isolatorのプロトタイプテスト(@柏)

# クライオスタット

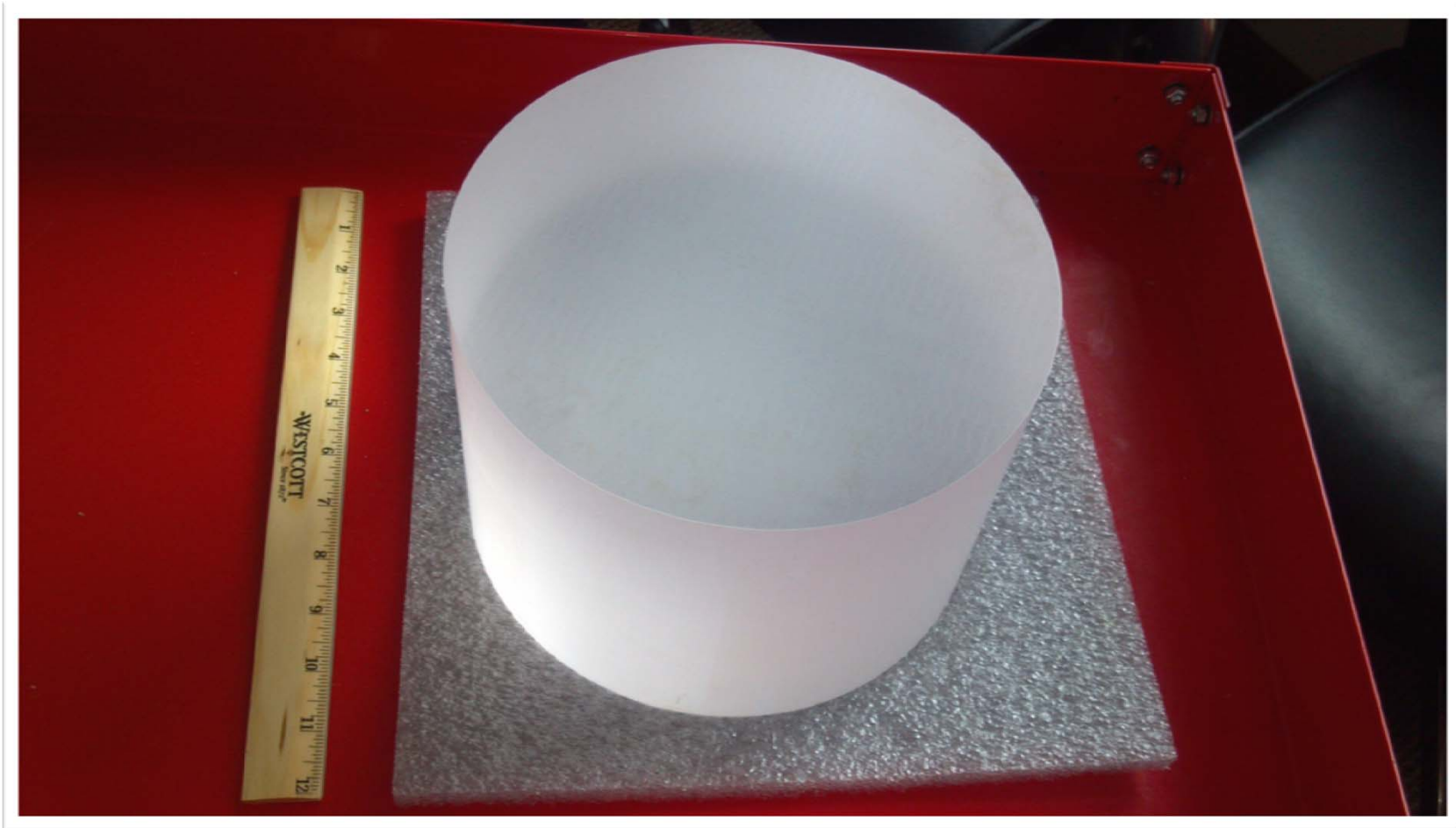


クライオスタット



熱シールド

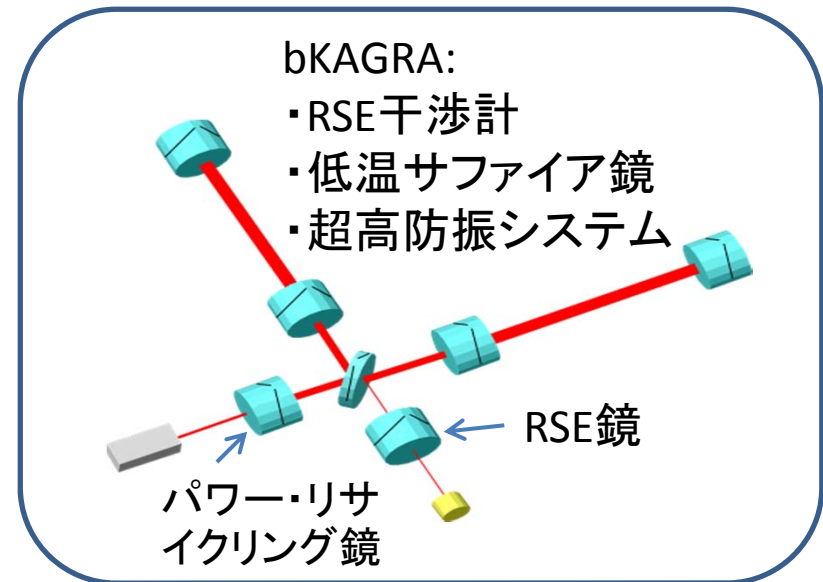
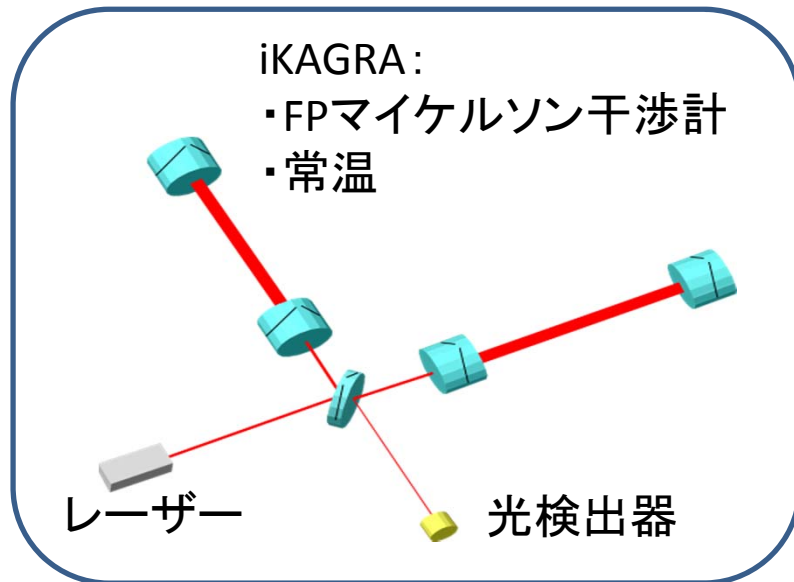
# サファイアミラー



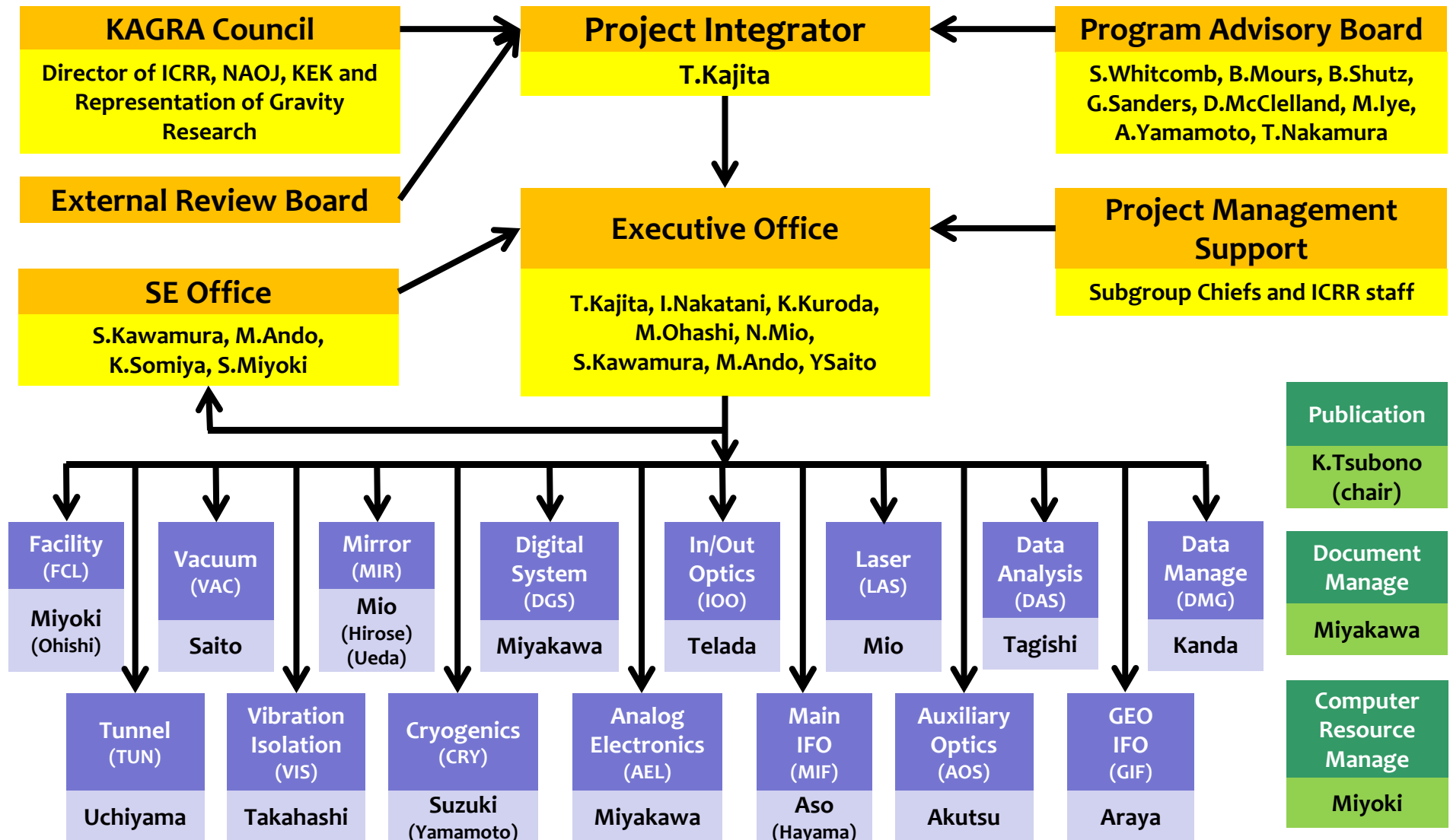
22 cm $\phi$ , 15 cmt

# KAGRAのスケジュール

暦年	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
計画全体	スタート								
トンネル掘削									
iKAGRA									
bKAGRA									



# KAGRAの体制



# 国際および国内研究協力

- LIGO Lab, EGO, Glasgow, SUCA, UWA, Tsinghua U, SIC, LSU, U Sannioとの学術協定
- LIGO, VirgoとのMOU(一般、データ、技術)
- 韓国、ドイツ、インドとの2国間共同研究
- ELITESプログラムによるETとの共同研究
- 研究拠点形成事業(平成25年度から5年間)
- 富山大学、防衛大学校、横浜市立大学、分子科学研究所のKAGRAへの参入

# まとめ

- 重力波検出により重要なサイエンスが得られるだけでなく、重力波天文学を創成することが期待されている
- KAGRAは第3世代検出器の技術を取り入れた第2世代検出器である
- KAGRAにより2017年に観測を開始し、その後中性子星連星の合体などからの重力波を検出することが期待されている