

**重力波とともに・・・
そしていつの日か
宇宙の産声を聴く！**

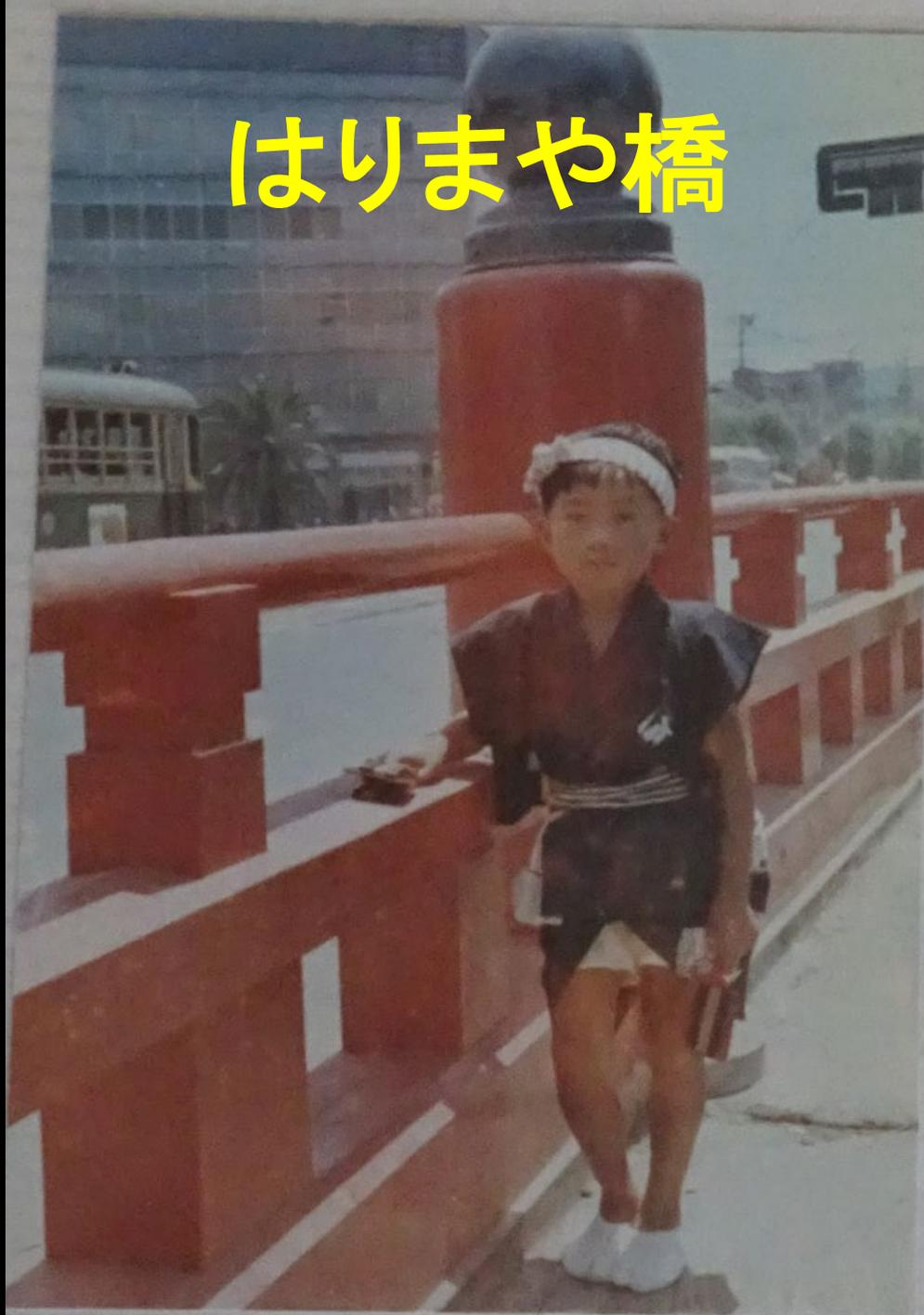
**2024.3.4 最終講義
川村静児(名古屋大学)**

**このような機会を与えていただき
誠に有難うございます。**

今日の話

徒然なるままに・・・

はりまや橋





近桂一郎 先生

1979年～

早稲田大学物理学科 近研究室



電氣磁氣効果

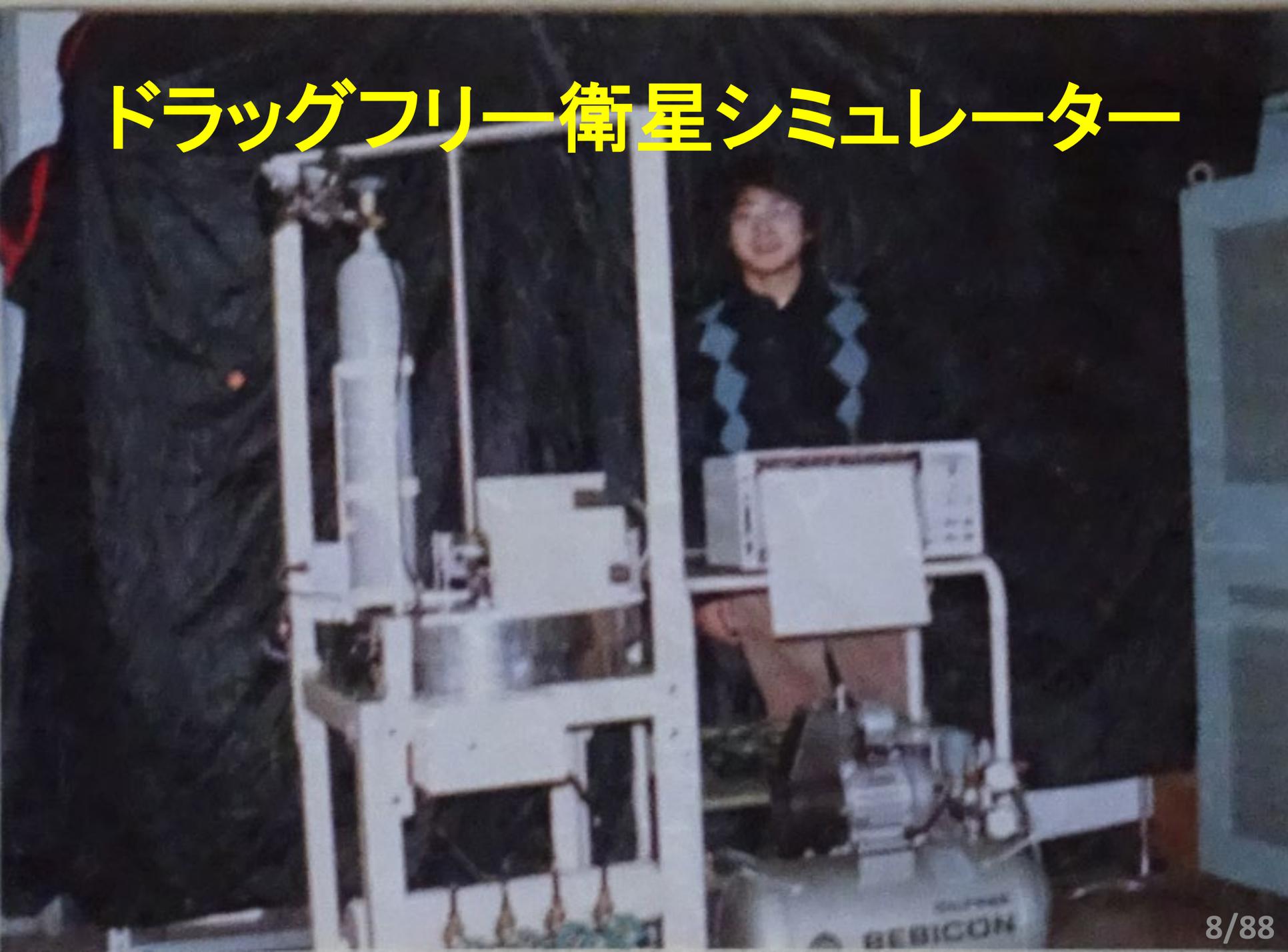
1982年～

東京大学大学院(宇宙科学研究所)

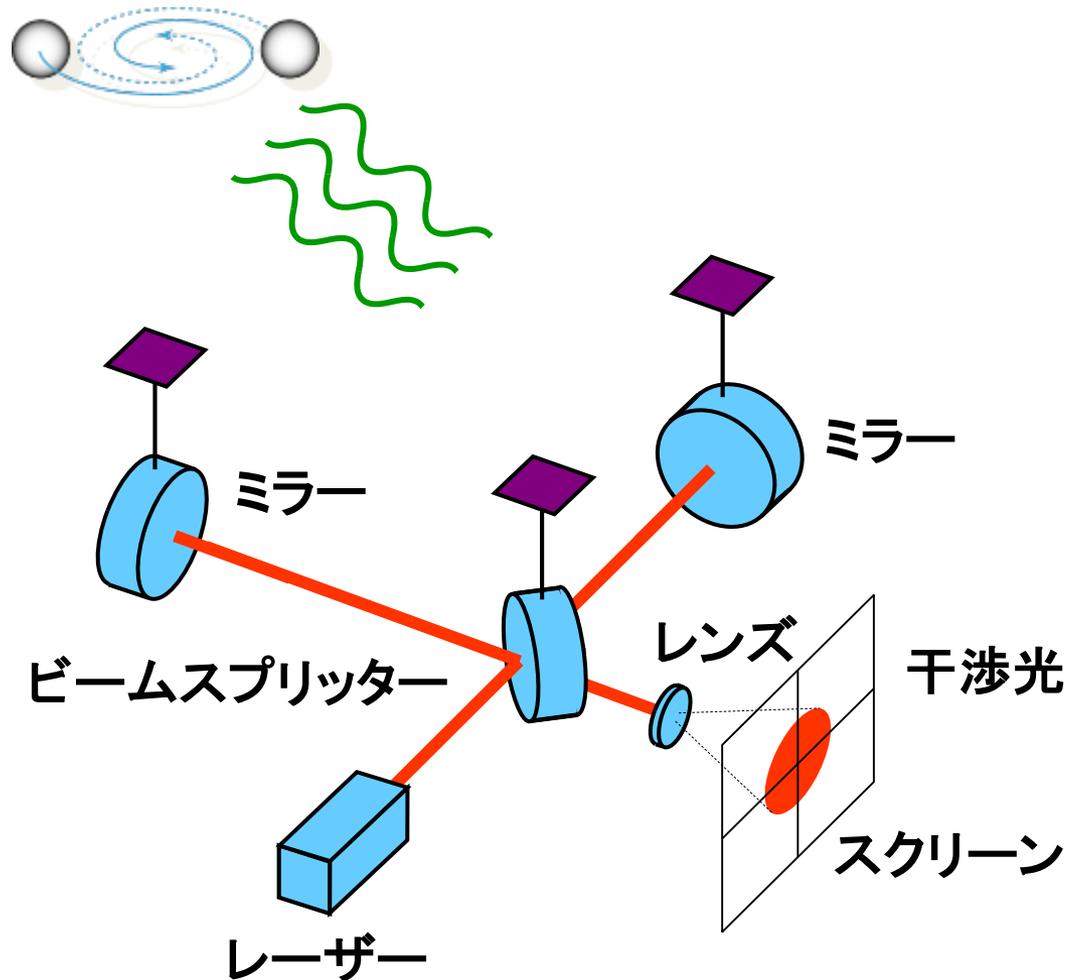
河島信樹 先生



ドラッグフリー衛星シミュレーター



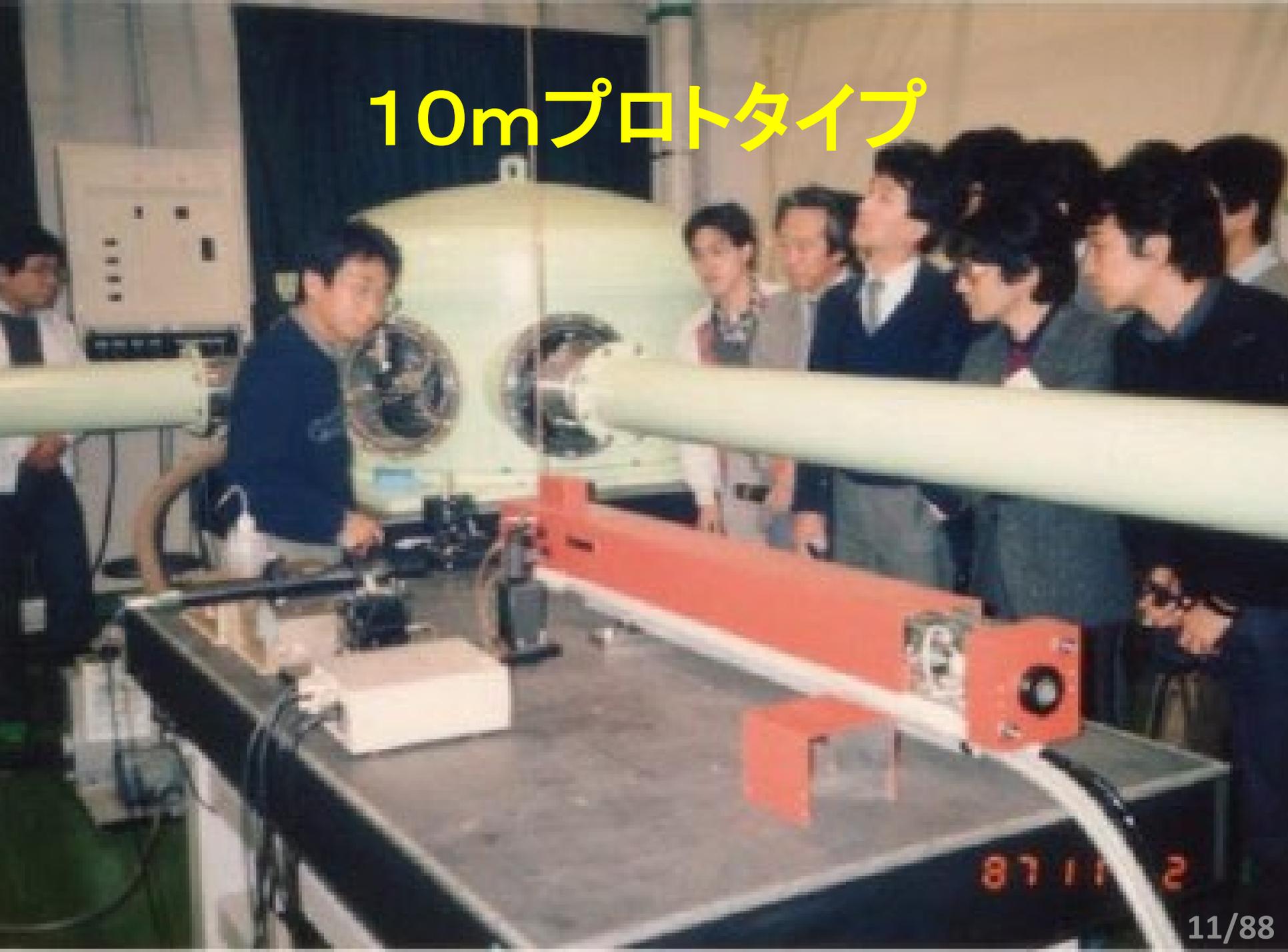
レーザー干渉計による重力波検出



10mプロトタイプ

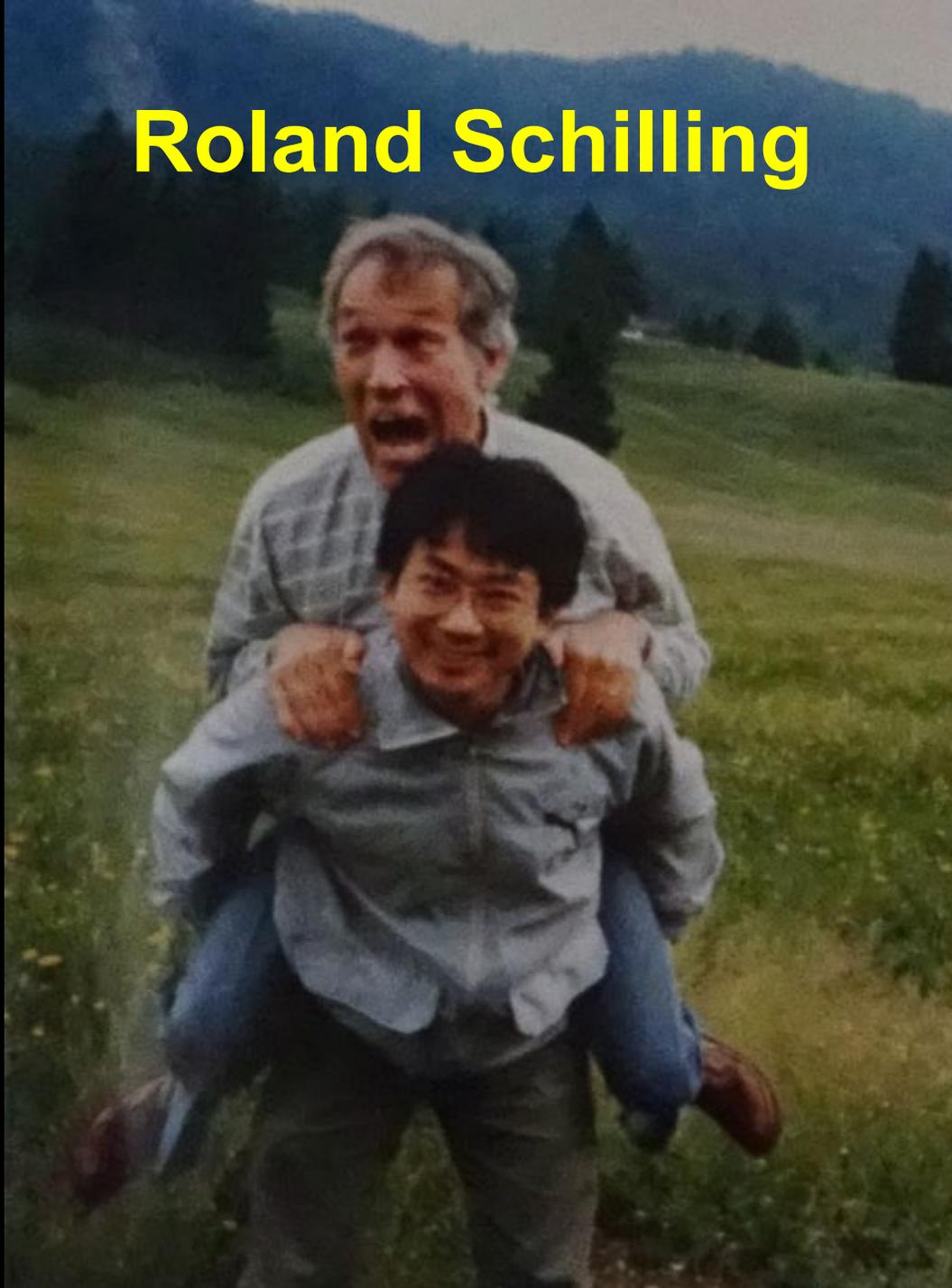


10mプロトタイプ



87112

Roland Schilling

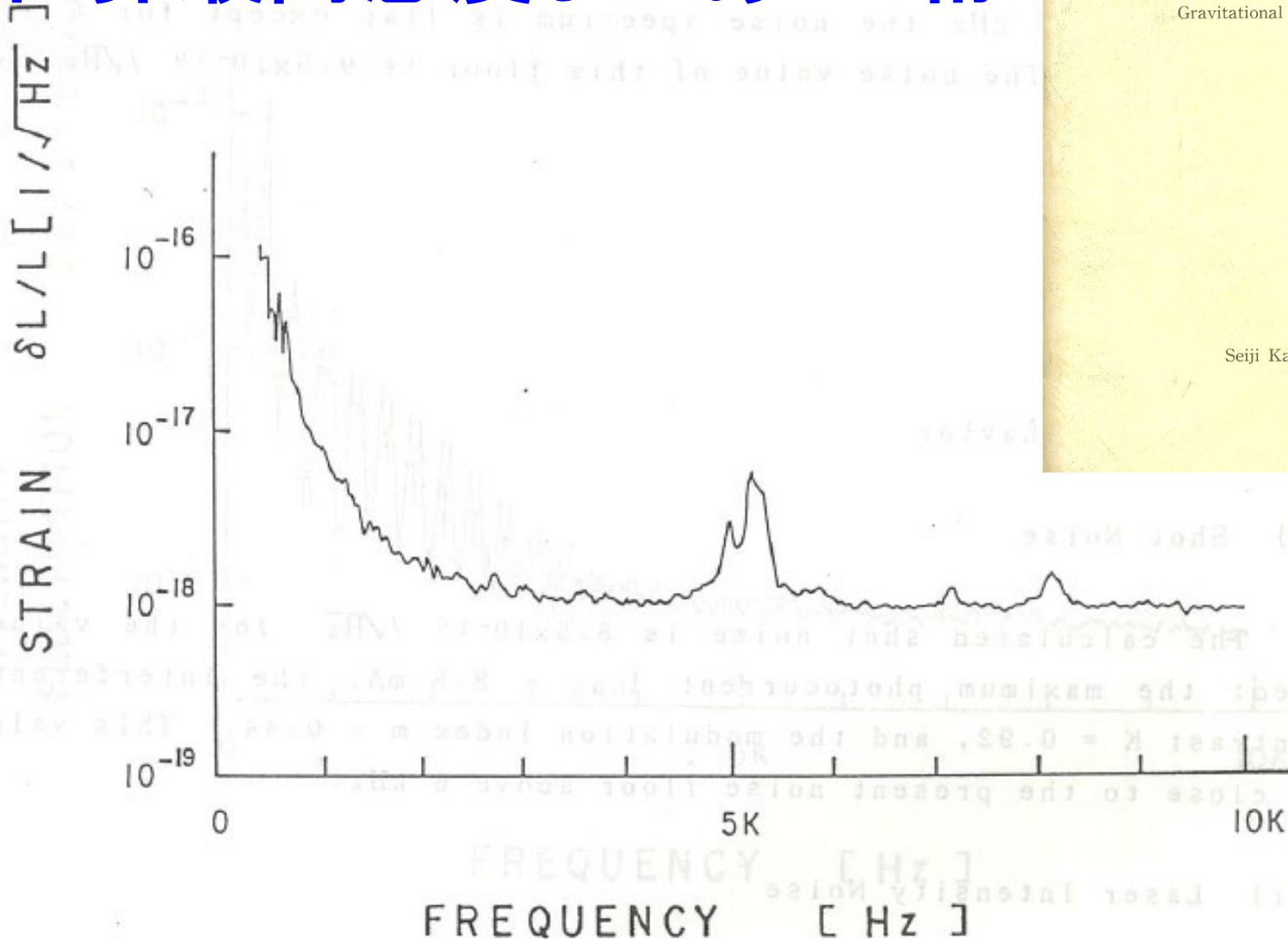




David Shoemaker

感度曲線

世界最高感度まであと1桁



10 m Prototype
for the Laser Interferometer
Gravitational Wave Antenna

Seiji Kawamura



California Institute of Technology

**1989年～
カリフォルニア工科大学**

40mプロトタイプ



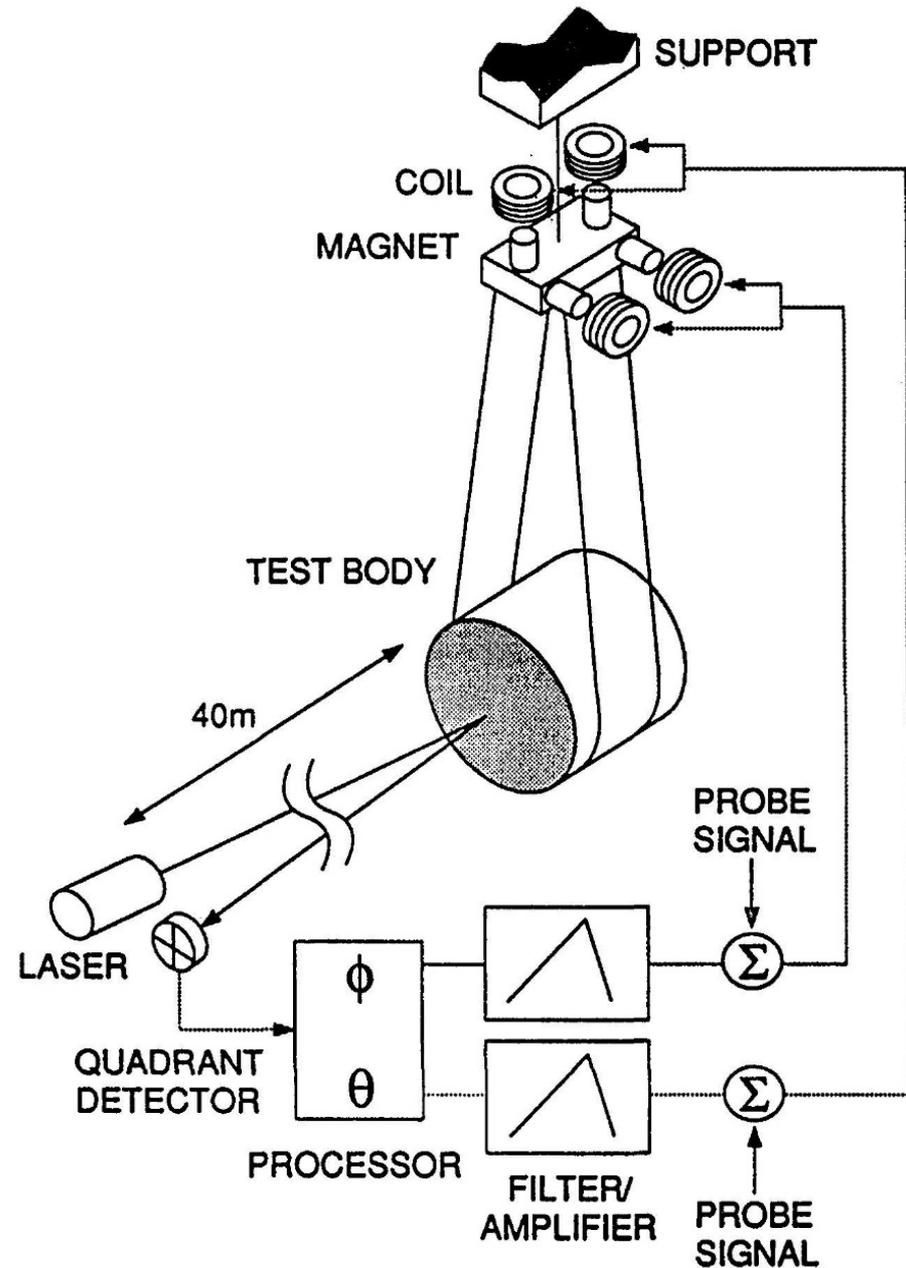


Mike Zucker

A photograph of a man with a dark beard and glasses, wearing a light-colored long-sleeved shirt, holding a baby. The baby is wearing a colorful outfit with a yellow hood and a blue and red top. The man is smiling and looking towards the camera. The background is a plain, light-colored wall.

Stan Whitcomb

鏡の姿勢制御

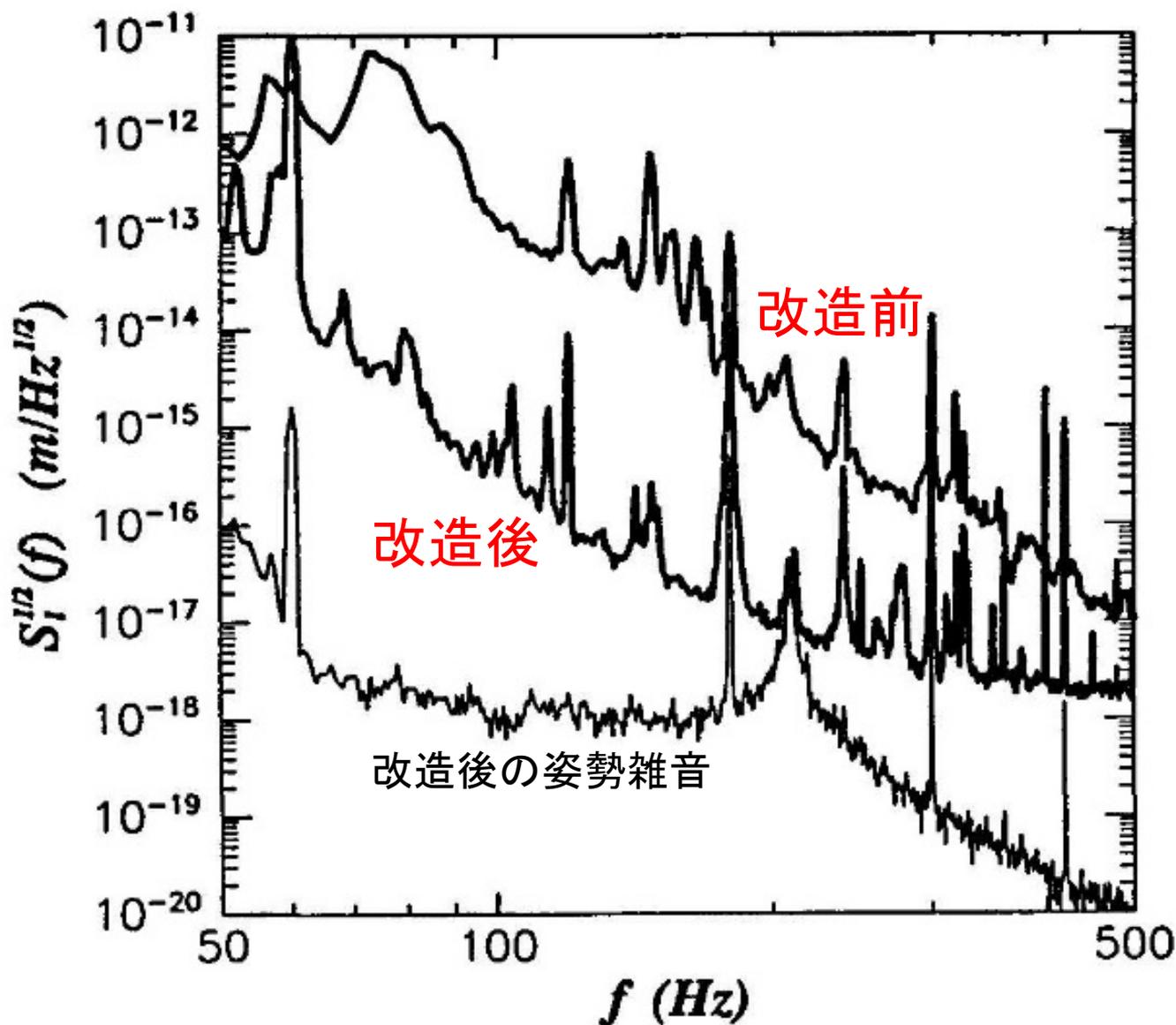


Seiji Kawamura and Mike
E. Zucker,
Appl. Opt., 33 (1994) 3912

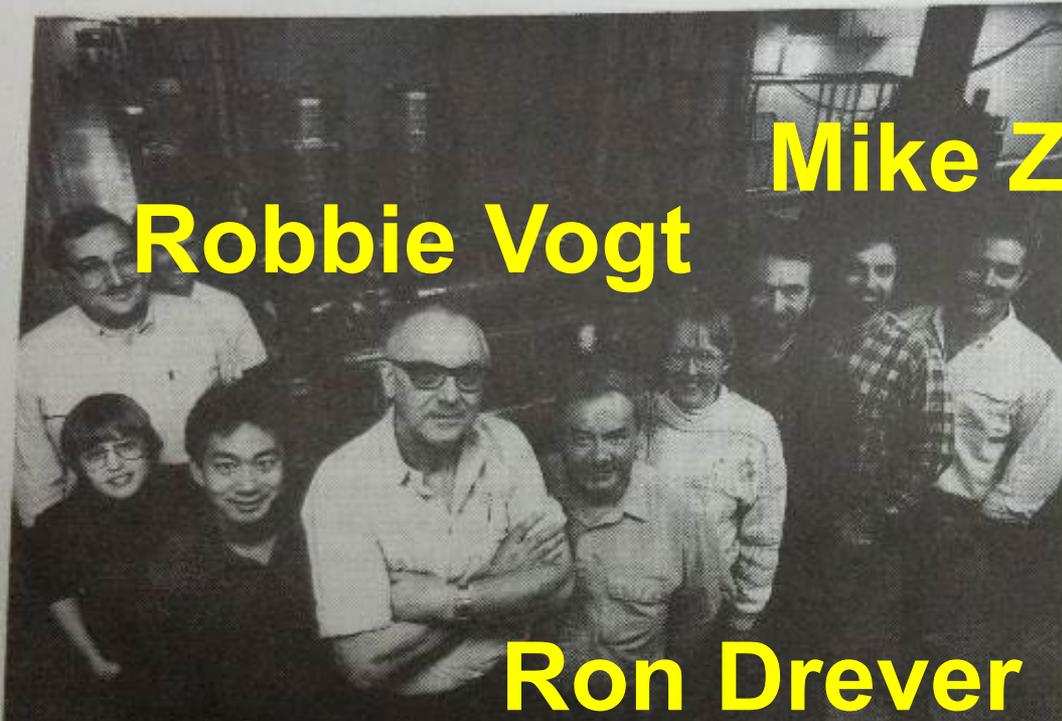
装置の感度:
大幅に改善



世界最高
感度達成



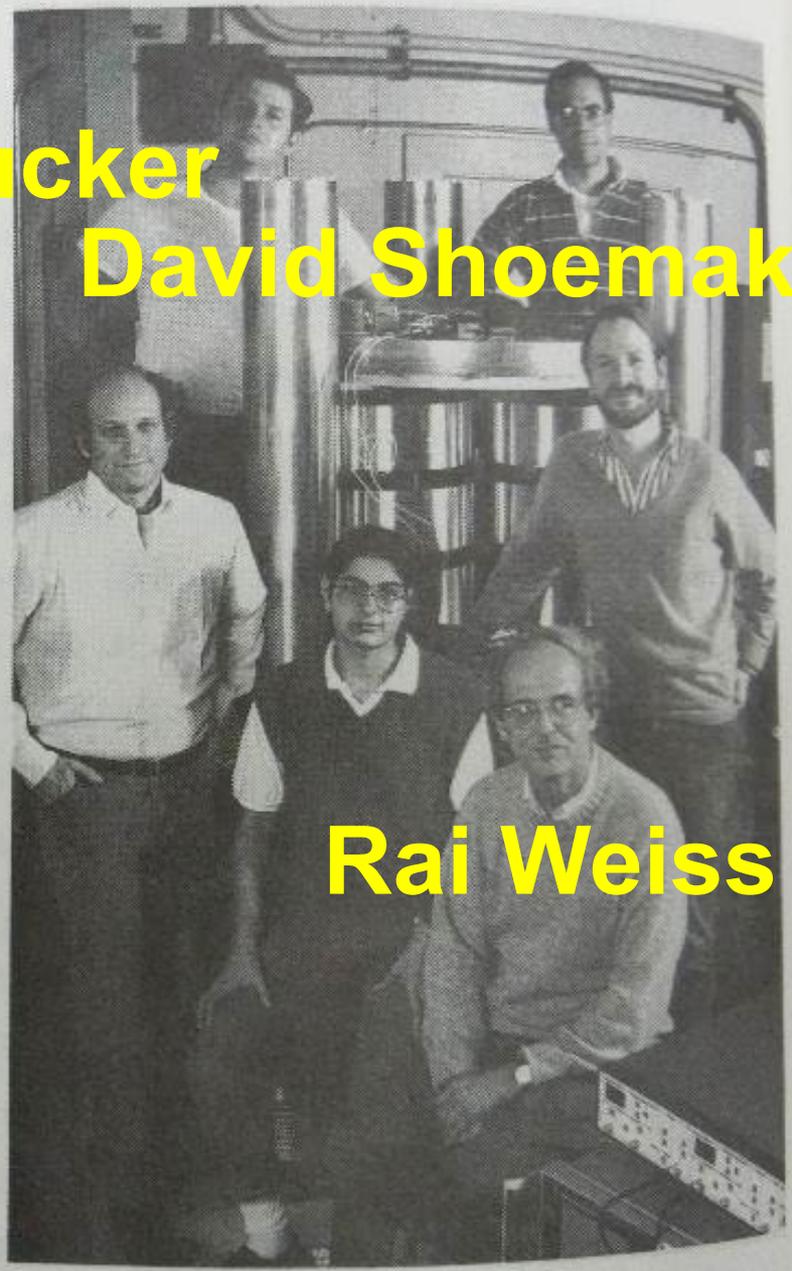
Seiji Kawamura and
Mike E. Zucker,
Appl. Opt., 33 (1994) 3912



Robbie Vogt

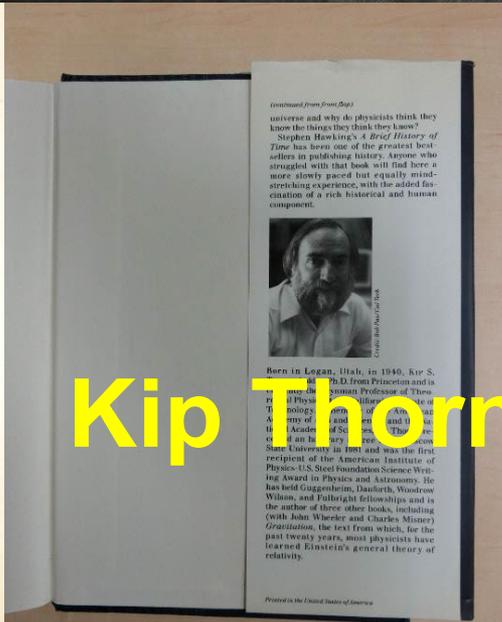
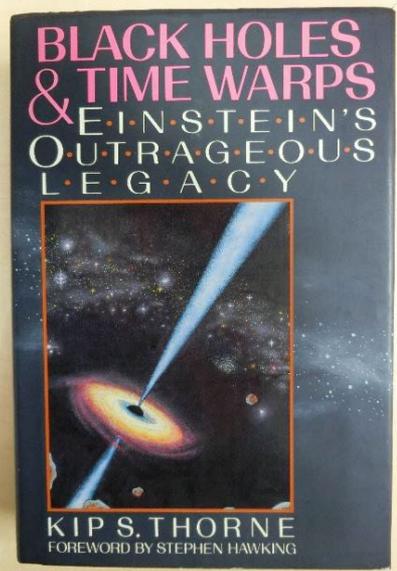
Mike Zucker

Ron Drever



David Shoemaker

Rai Weiss



Kip Thorne

ノイズハンティングの基本的手法

1. ある雑音源(例:光の強度揺らぎ)の大きさを人工的に10倍にする。
2. 装置の出力において、雑音が10倍になれば、その雑音源(例:光の強度揺らぎ)が装置の感度を制限していることが分かる。
3. その雑音源(例:光の強度揺らぎ)の大きさを低減する。
or
4. その雑音源(例:光の強度揺らぎ)から装置の出力までの伝達関数を低減する。

Seiji Kawamura's

Top Ten

Sources of Noise

LIGO-G970227-00-R

Sep. 9, 97
LIGO Seminar
Seiji Kawamura

No. 1

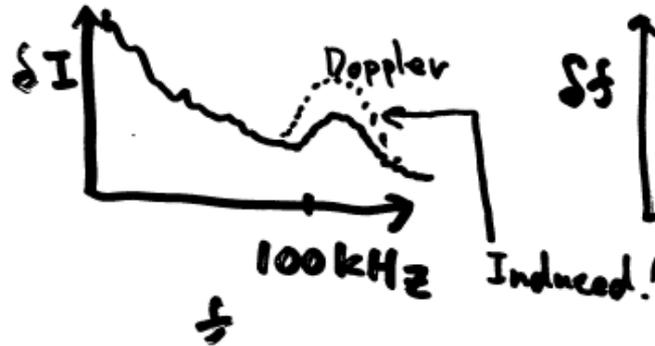
30

Intensity - Frequency

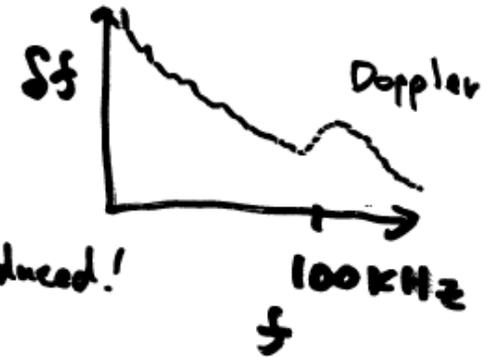
Downconversion

Noise

Intensity Noise

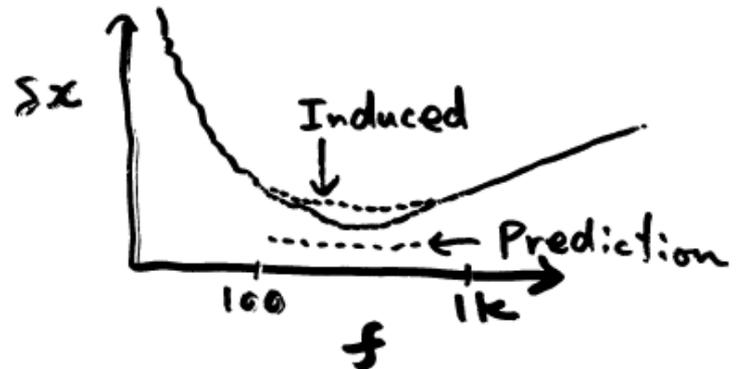


Frequency Noise



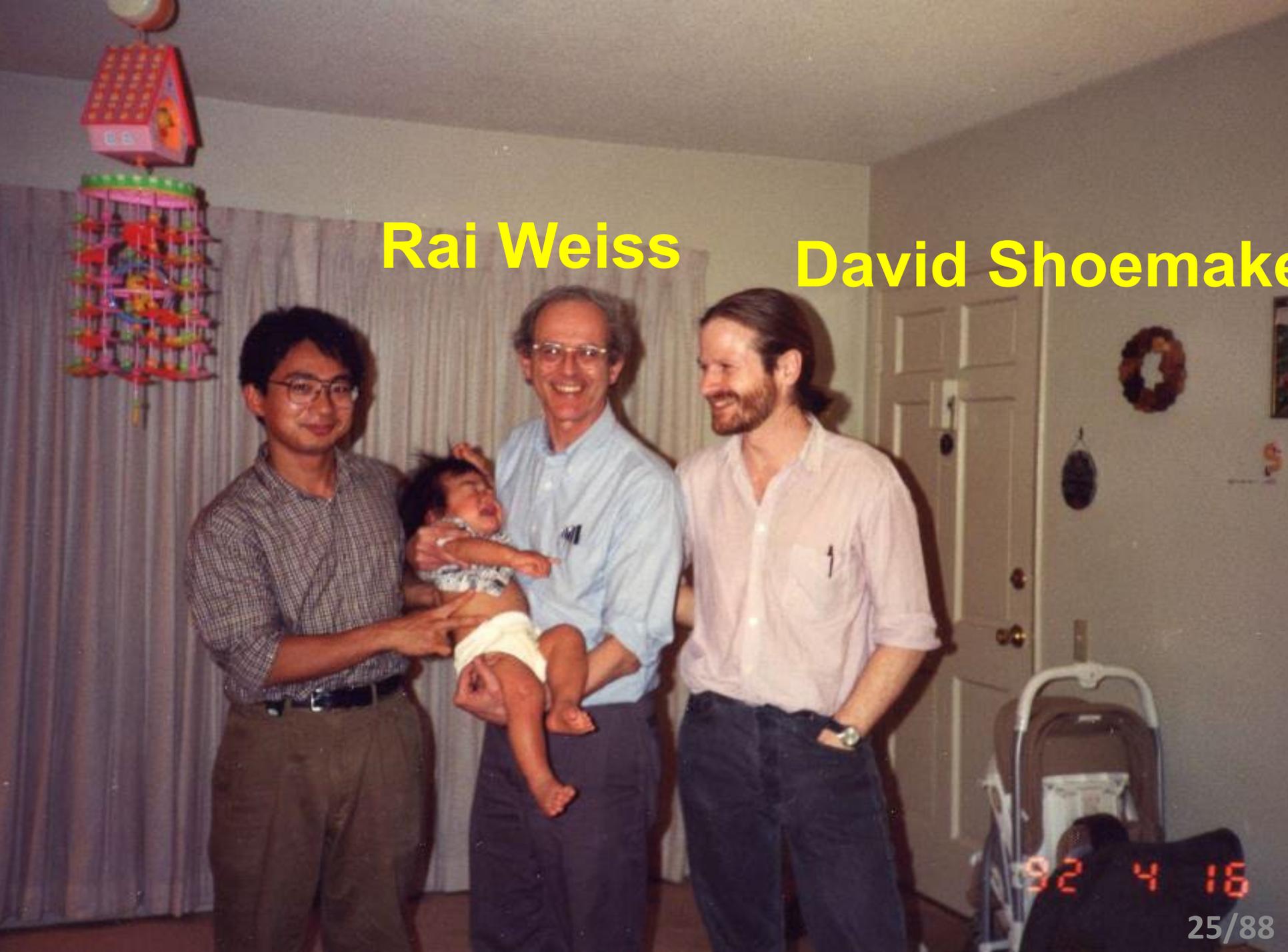
stabilized

Displacement Noise

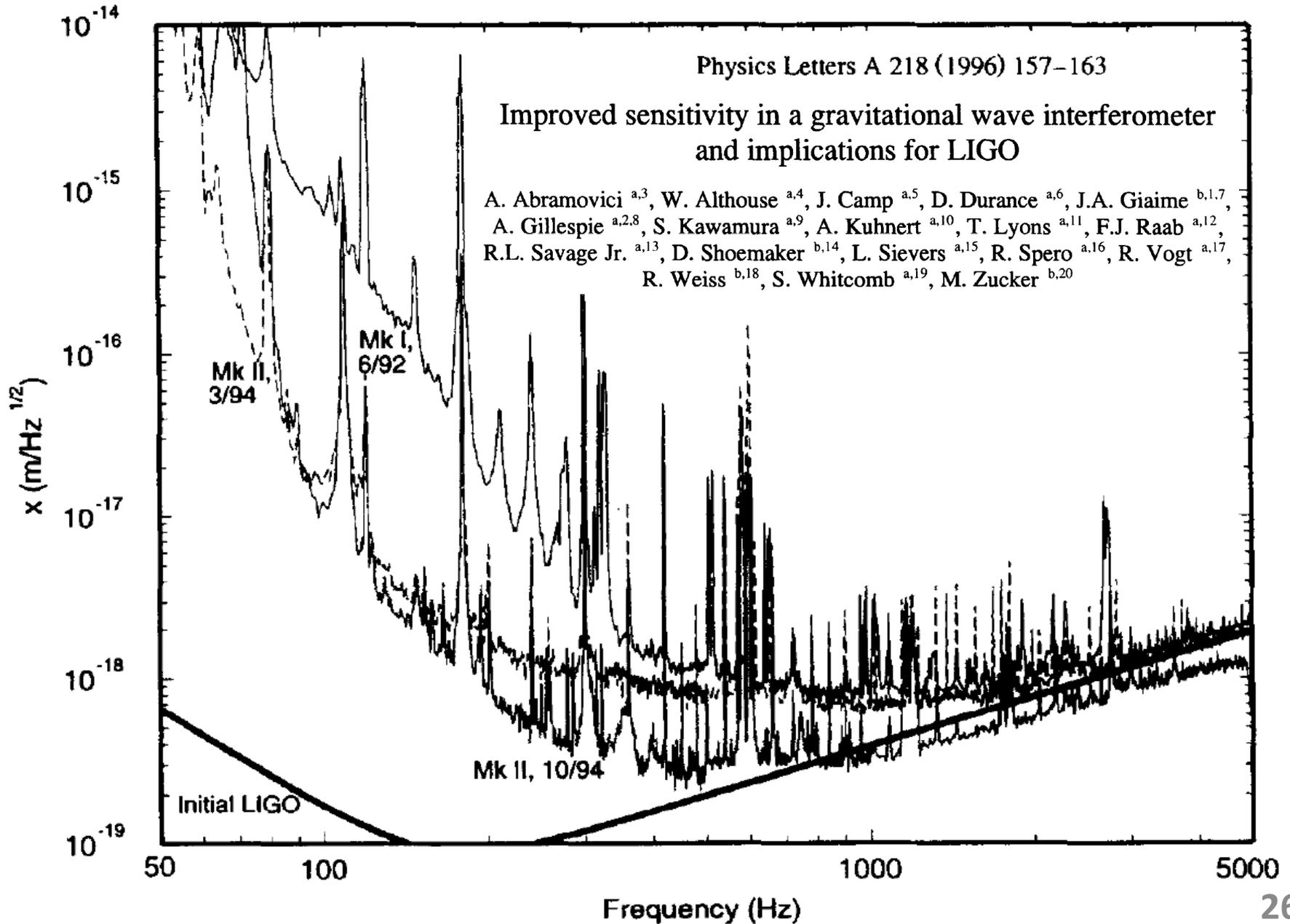


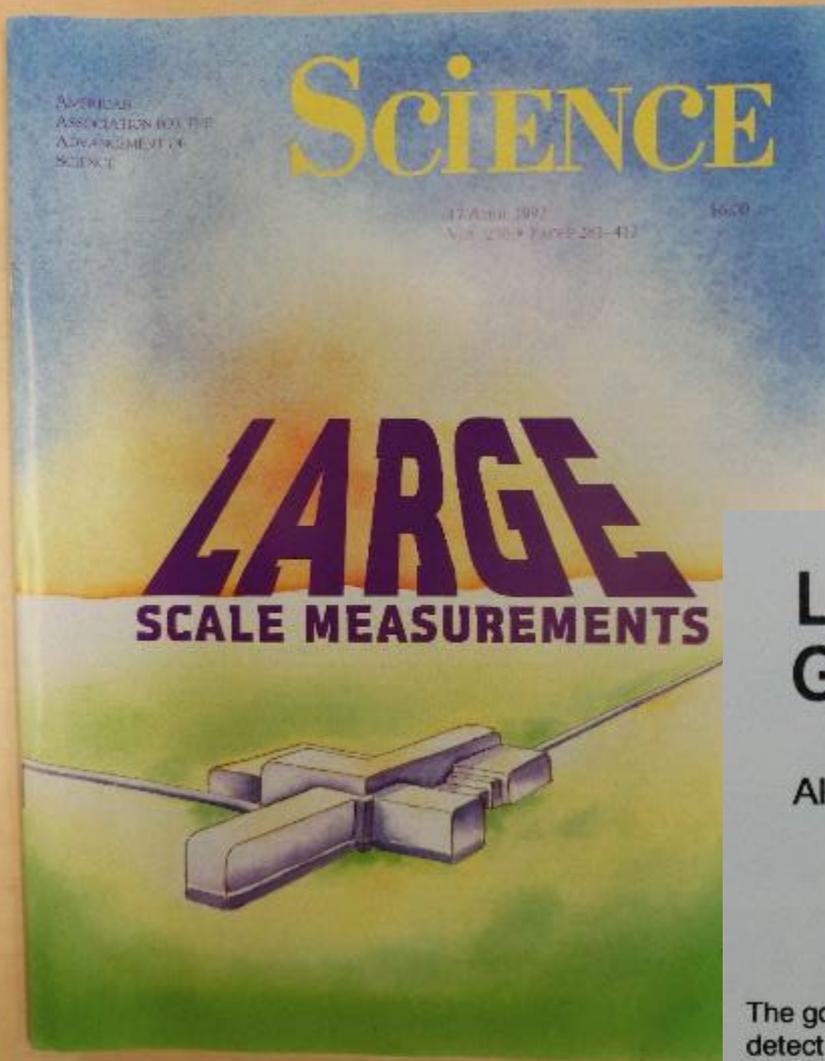
Rai Weiss

David Shoemaker



奇跡の感度





LIGO: The Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory

Alex Abramovici, William E. Althouse, Ronald W. P. Drever, Yekta Gürsel, Seiji Kawamura, Frederick J. Raab, David Shoemaker, Lisa Sievers, Robert E. Spero, Kip S. Thorne, Rochus E. Vogt, Rainer Weiss, Stanley E. Whitcomb, Michael E. Zucker

The goal of the Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory (LIGO) Project is to detect and study astrophysical gravitational waves and use data from them for research in physics and astronomy. LIGO will support studies concerning the nature and nonlinear dynamics of gravity, the structures of black holes, and the equation of state of nuclear matter. It will also measure the masses, birth rates, collisions, and distributions of black holes and neutron stars in the universe and probe the cores of supernovae and the very early universe. The technology for LIGO has been developed during the past 20 years. Construction will begin in 1992, and under the present schedule, LIGO's gravitational-wave searches will begin in 1998.

LIGOでの仕事

- 40mプロトタイプ of 感度向上
- Initial LIGOの鏡懸架システムの開発と製作
(タスクリーダー)



photo: LIGO Laboratory

- Advanced LIGOのためのR&D
(Caltechリーダー)

1997年～ 国立天文台

西エンド

南エンド

中央実験室



重力波プロジェクト推進室

大学院生・ビジター・同僚たち

Yanbei Chen



大学院生・ビジター・同僚たち



Gerhard Heinzl

Zong-Hong Zhu

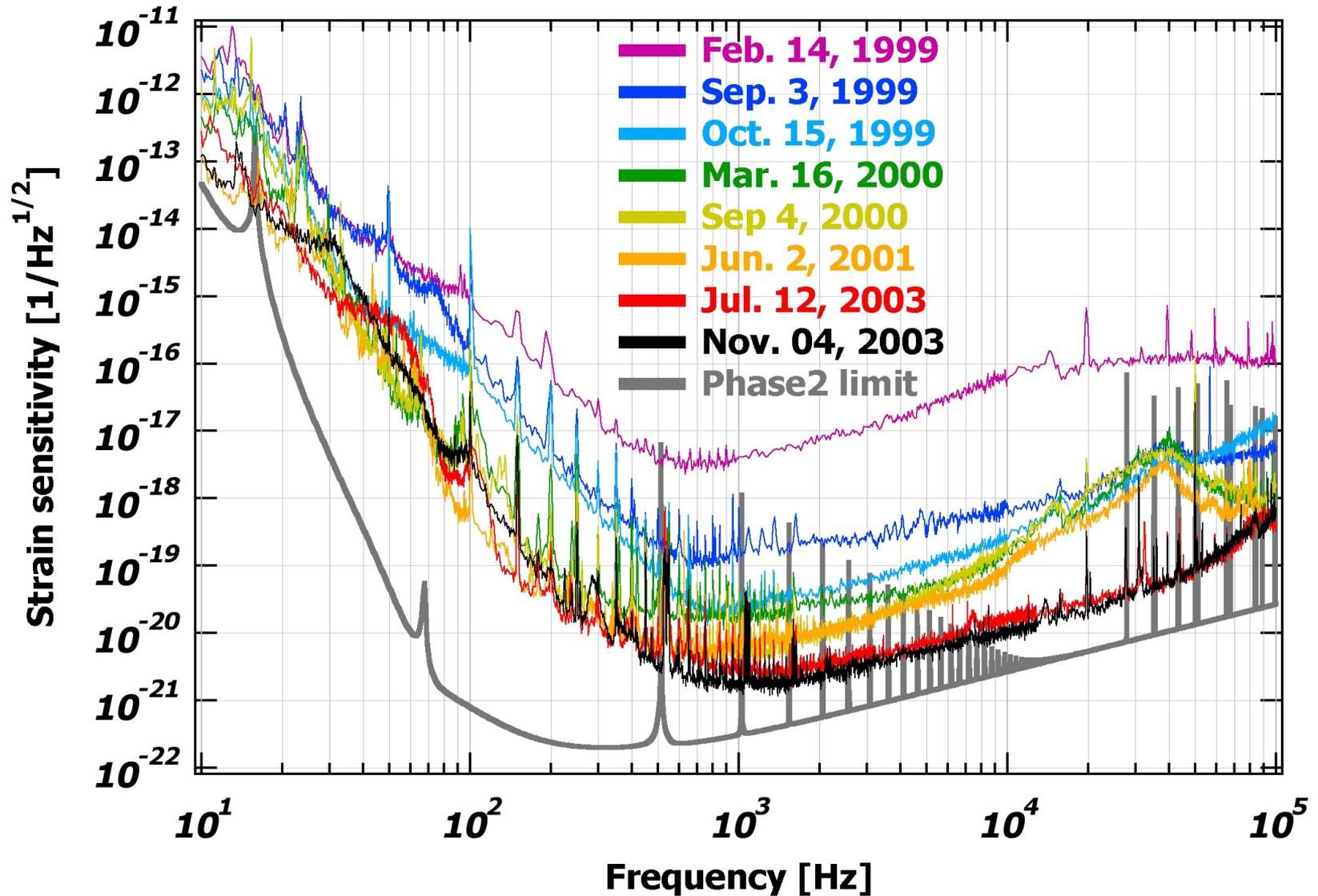
TAMA300



制御システム



世界最高感度達成



宇宙重力波望遠鏡: DECIGO

VOLUME 87, NUMBER 22

PHYSICAL REVIEW LETTERS

26 NOVEMBER 2001

Possibility of Direct Measurement of the Acceleration of the Universe Using 0.1 Hz Band Laser Interferometer Gravitational Wave Antenna in Space

Naoki Seto,¹ Seiji Kawamura,² and Takashi Nakamura³

¹*Department of Earth and Space Science, Osaka University, Toyonaka 560-0043, Japan*

²*National Astronomical Observatory, Mitaka 181-8588, Japan*

³*Yukawa Institute for Theoretical Physics, Kyoto University, Kyoto 606-8502, Japan*

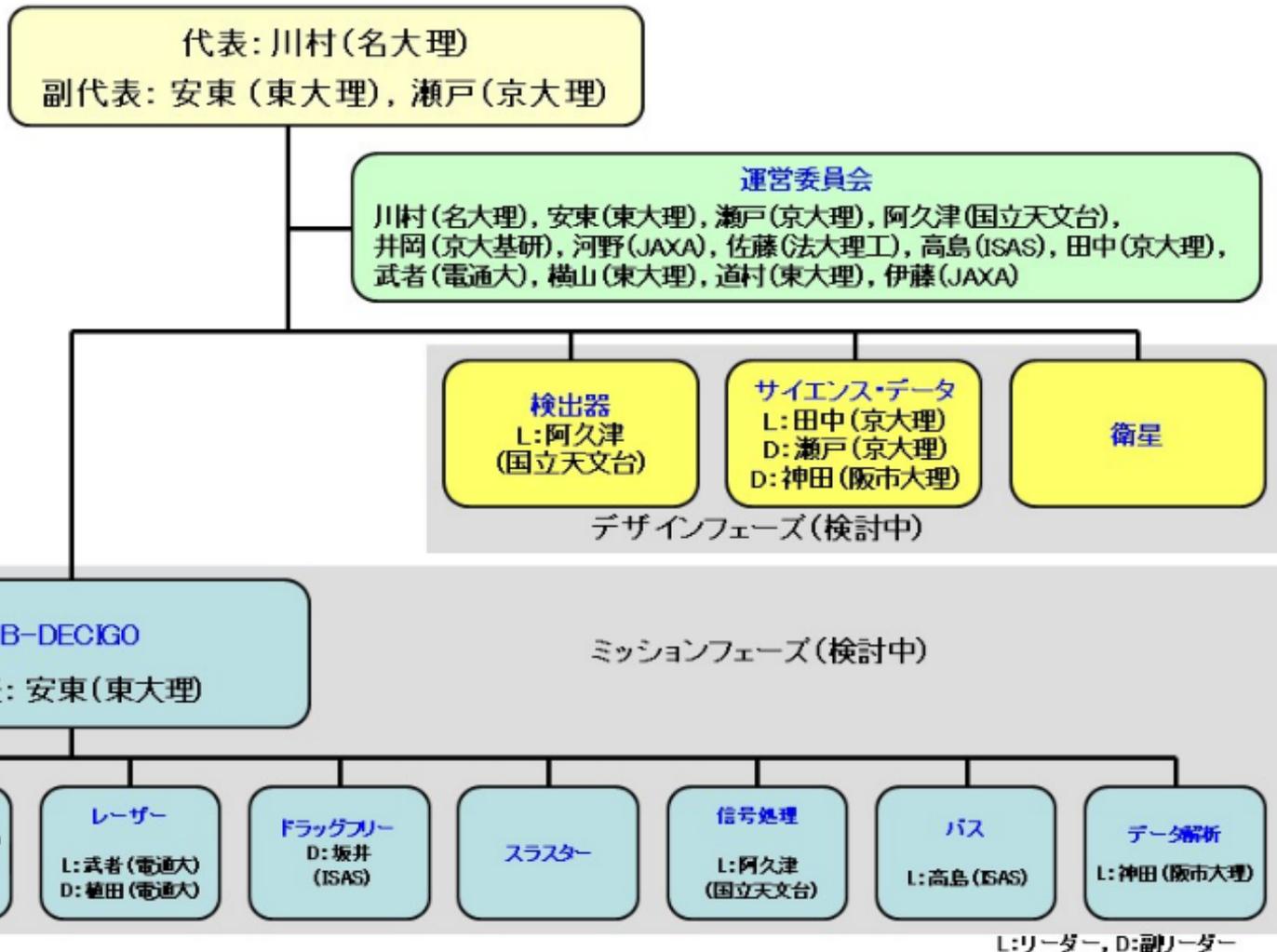
(Received 4 June 2001; published 9 November 2001)

It may be possible to construct a laser interferometer gravitational wave antenna in space with $h_{\text{rms}} \sim 10^{-27}$ at $f \sim 0.1$ Hz in this century. Using this antenna, (1) typically 10^5 chirp signals of coalescing binary neutron stars per year may be detected with $S/N \sim 10^4$; (2) we can directly measure the acceleration of the universe by a 10 yr observation of binary neutron stars; and (3) the stochastic gravitational waves of $\Omega_{\text{GW}} \gtrsim 10^{-20}$ predicted by the inflation may be detected by correlation analysis. Our formula for phase shift due to accelerating motion might be applied for binary sources of LISA.



https://www.kyoto-u.ac.jp/ja/archive/prev/profile/intro/honor/award_b/academy_award/2005_nakamura
2024/3/18

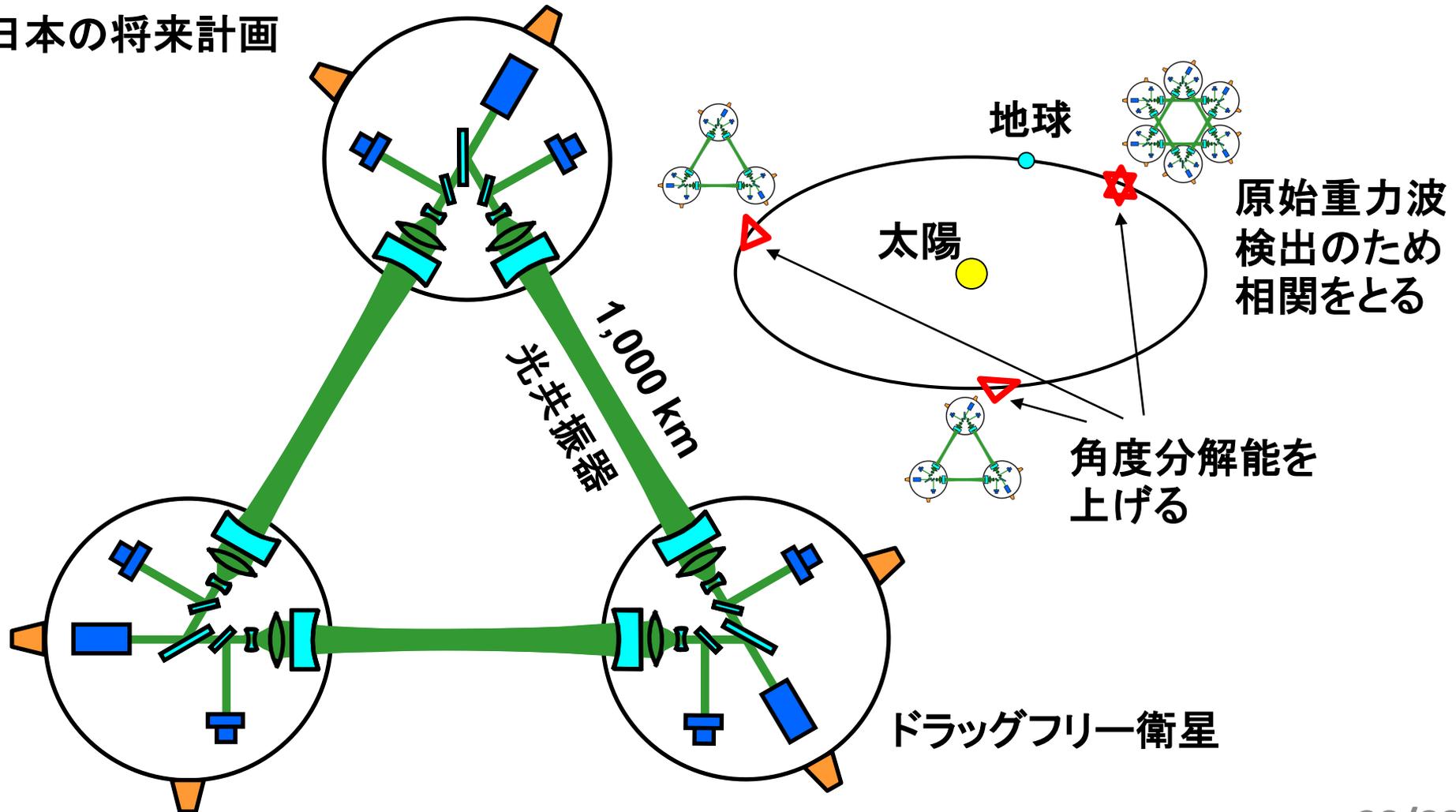
DECIGOの組織図(現在)



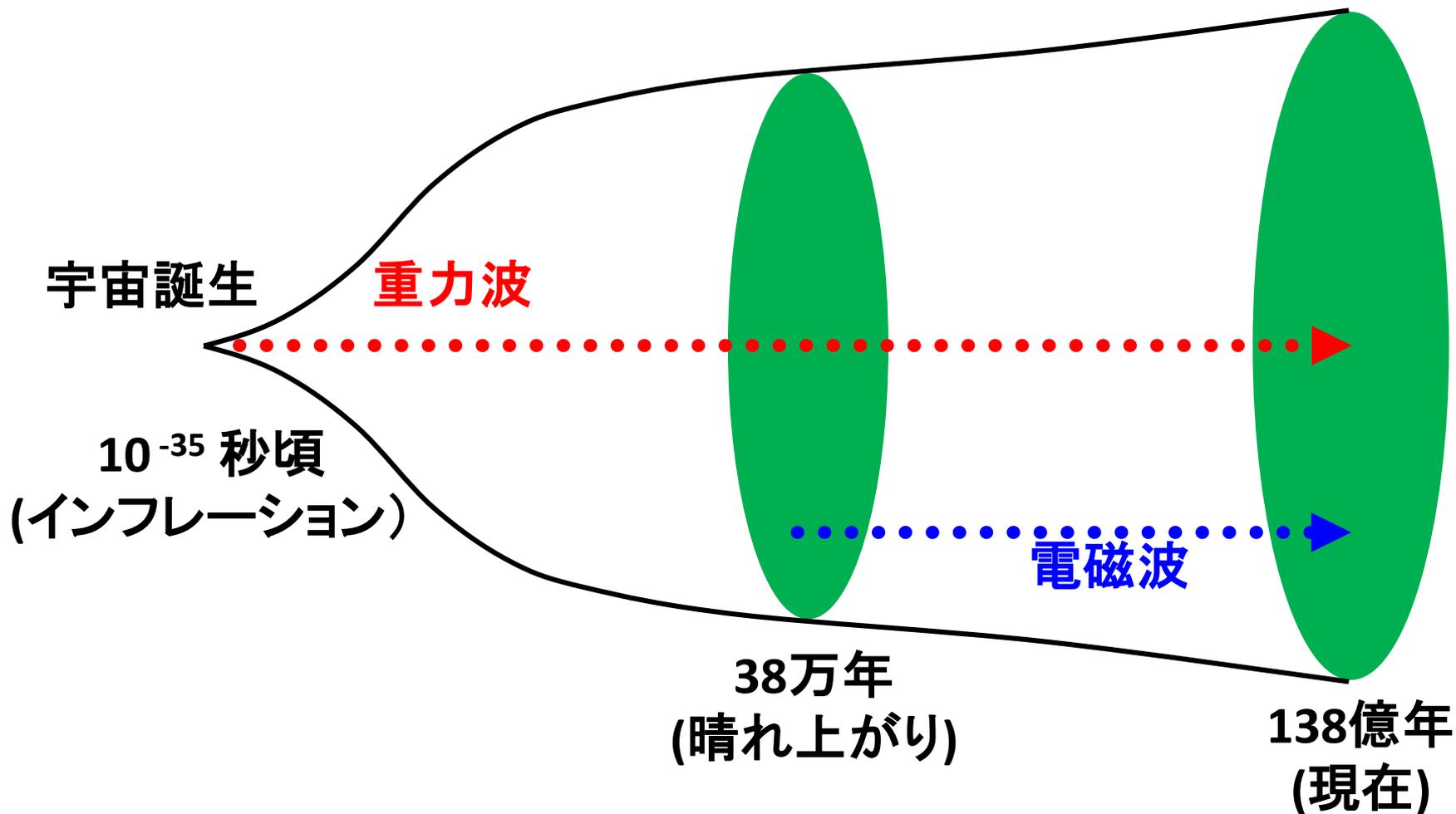
宇宙重力波望遠鏡: DECIGO

Deci-hertz Interferometer Gravitational Wave Observatory

日本の将来計画



重力波で宇宙の始まりを観る！



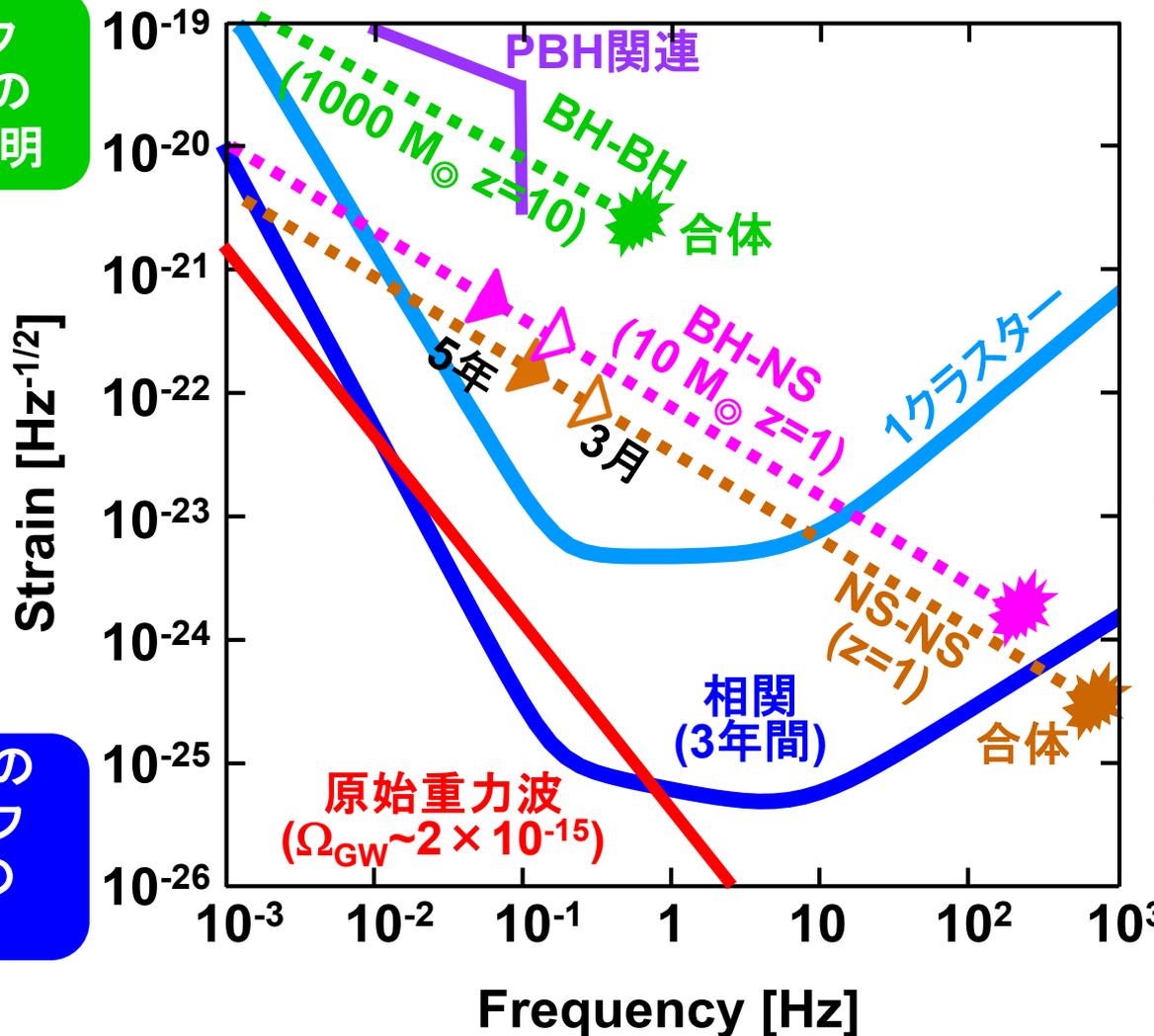
DECIGOの目標感度と 得られるサイエンス

巨大ブラック
ホール形成の
メカニズム解明

中性子星
連星合体
の予測

Takahashi,
Nakamura 2003

原始重力波の
検出⇒インフ
レーションの
検証



ダークマターの
探索

Saito, Yokoyama
2009

一般相対性
理論の検証

Yagi, Tanaka 2010

宇宙膨張
加速度の計測
⇒ダークエネル
ギーの解明

Seto, Kawamura,
Nakamura 2001

1st International LISA-DECIGO workshop

Nov. 12 and 13, 2008
Sagamihara, Japan

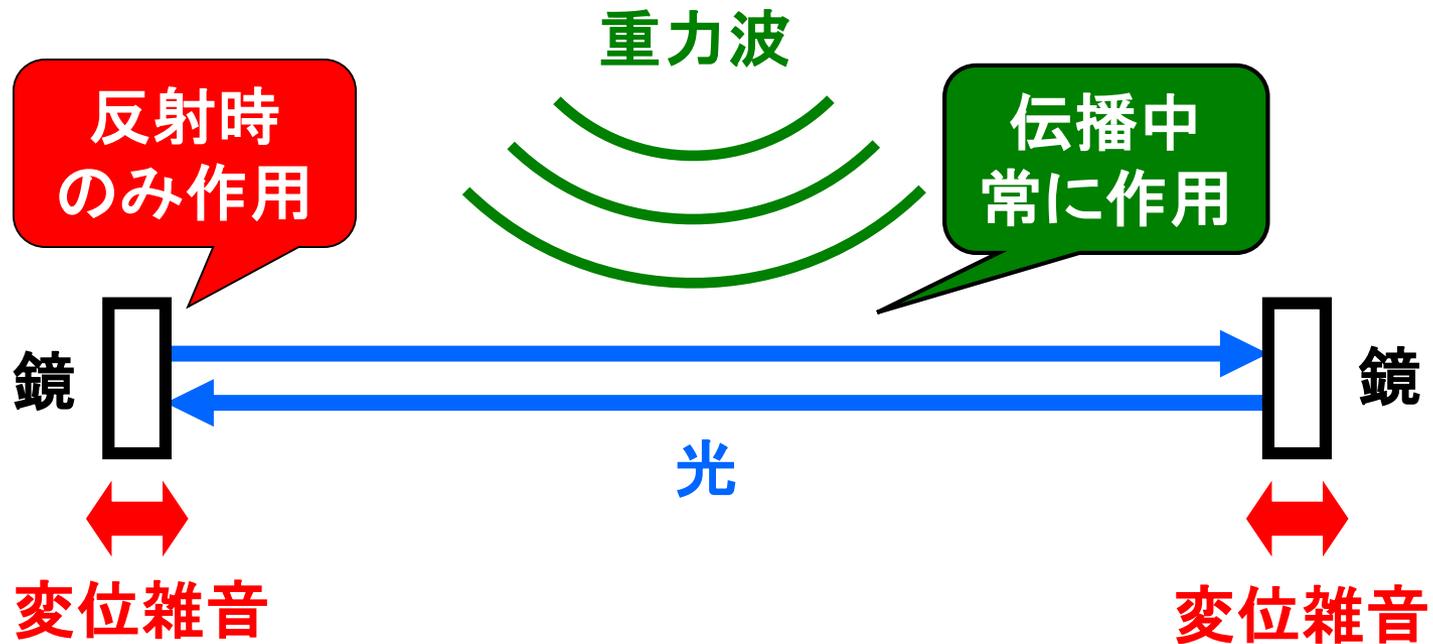
Karsten Danzmann



Science Organizing Committee:
Masaki Ando (U Tokyo)
Karsten Danzmann (AEI Hannover) *Co-Chair
Oliver Jennrich (ESA)
Seiji Kawamura (NAOJ) *Chair
Takashi Nakamura (Kyoto U)
Thomas Prince (Galech/JPL)
Shin-ichiro Sakai (ISAS, JAXA)
Robin Stebbins (NASA, GSFC)
Tadayuki Takahashi (ISAS, JAXA)
Stefano Vitale (University of Trento/INFN)

Local Organizing Committee:
Masaki Ando (U Tokyo)
Kazuyuki Funaki (ISAS, JAXA)
Kunihito Ioka (KEK)
Nobuyuki Kanda (Osaka City U)
Seiji Kawamura (NAOJ) *Chair
Mihoko Kondo (NAOJ) *Secretariat
Takashi Nakamura (Kyoto U)
Kenji Numata (NASA/GSFC, Univ. of MD)
Shuichi Sato (Hosei U)
Naoki Seto (NAOJ)
Takeshi Takashima (ISAS, JAXA)
Takahiro Tanaka (Kyoto U)
Yasuo Tori (NAOJ)
Kamio Tsubone (U Tokyo)
Mizuho Yoshizumi (NAOJ) *Secretariat

変位雑音フリー干渉計



この違いを利用して、重力波信号を残したままで、鏡の変位雑音を消し去る。



変位雑音フリー干渉計:PRL5連発

VOLUME 93, NUMBER 21

PHYSICAL REVIEW LETTERS

week ending
19 NOVEMBER 2004

Displacement-Noise-Free Gravitational-Wave Detection

Seiji Kawamura¹

Yanbei Chen²

PHYSICAL REVIEW LETTERS

week ending
16 JUNE 2006

PRL 96, 231102 (2006)

Displacement- and Timing-Noise-Free Gravitational-Wave Detection

Yanbei Chen¹ and Seiji Kawamura²

PHYSICAL REVIEW LETTERS

week ending
13 OCTOBER 2006

PRL 97, 151103 (2006)



Interferometers for Displacement-Noise-Free Gravitational-Wave Detection

PHYSICAL REVIEW LETTERS

week ending
6 APRIL 2007

PRL 98, 141101 (2007)



Demonstration of Displacement- and Frequency-Noise-Free Laser Interferometry Using Bidirectional Mach-Zehnder Interferometers

PHYSICAL REVIEW LETTERS

week ending
23 OCTOBER 2009

Shuichi Sato,^{1,*} Keiko Kokeyama,² Robert L. Ward,³ Seiji Kawamura,¹ Yanbei Chen,⁴ Archana Pai,⁴ and Kentaro Somiya⁴

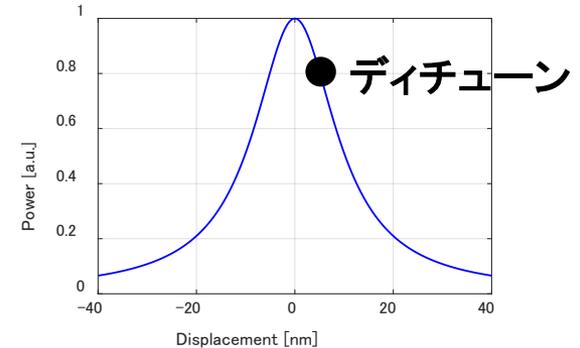
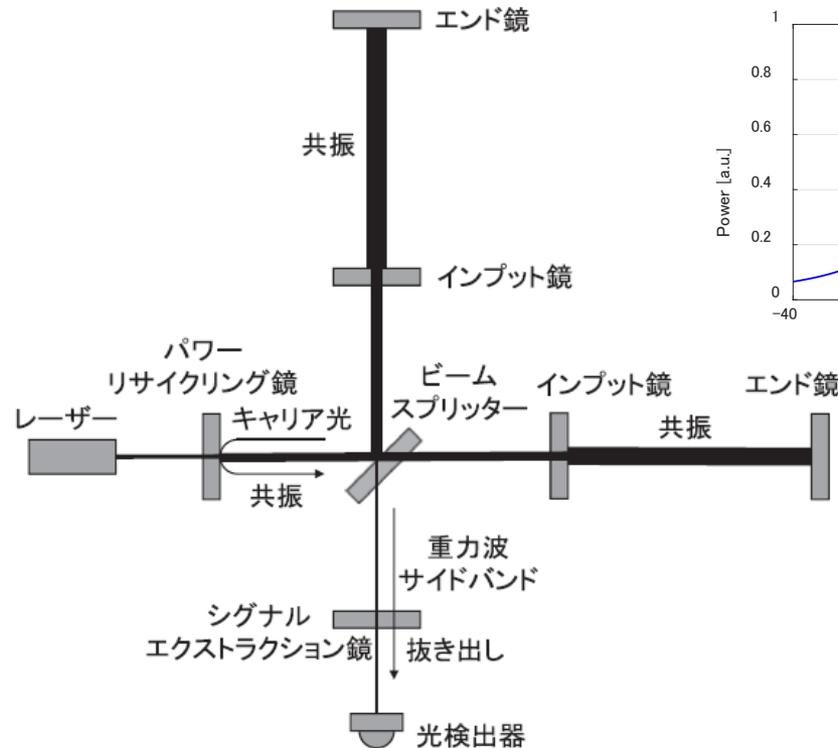
PRL 103, 171101 (2009)



Development of a Displacement- and Frequency-Noise-Free Interferometer in a 3D Configuration for Gravitational Wave Detection

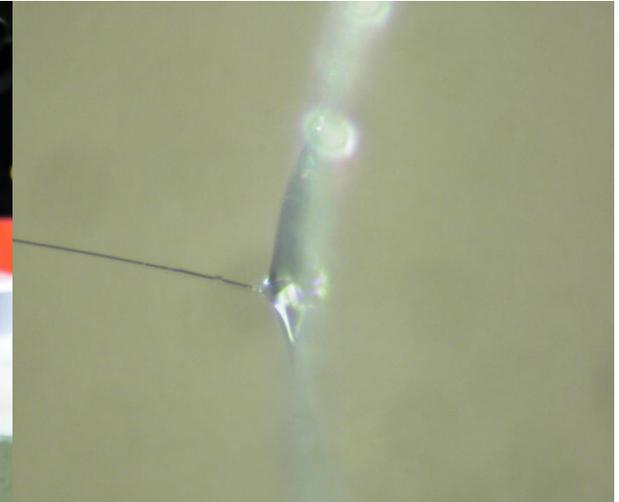
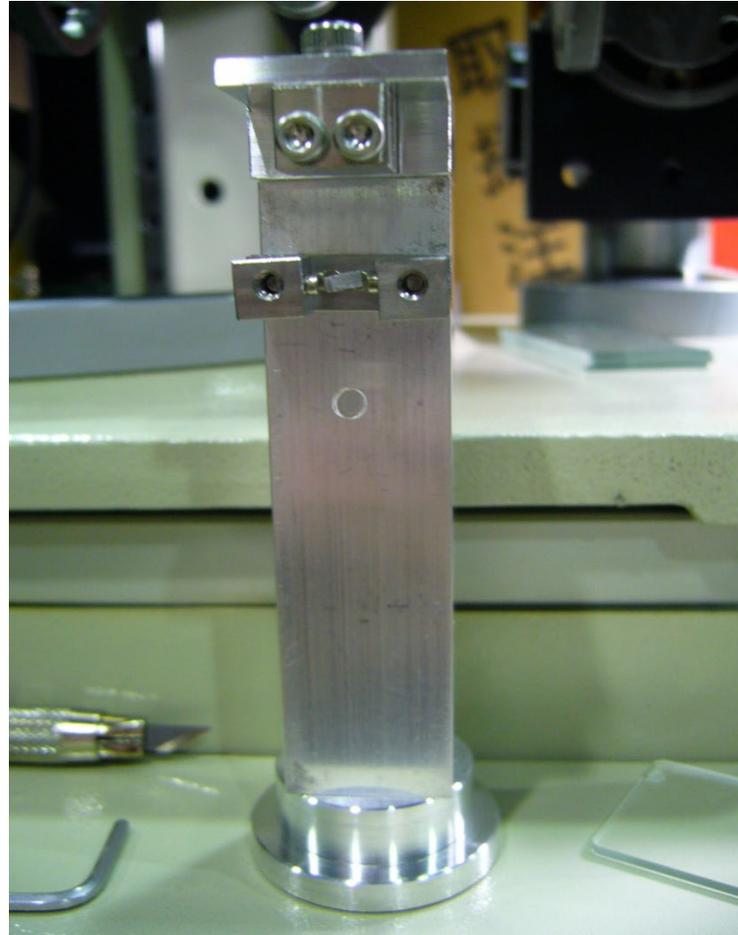
Keiko Kokeyama,^{1,*} Shuichi Sato,² Atsushi Nishizawa,³ Seiji Kawamura,⁴ Yanbei Chen,⁵ and Akio Sugamoto⁶

レゾナント・サイドバンド・ エクストラクション(RSE)干渉計



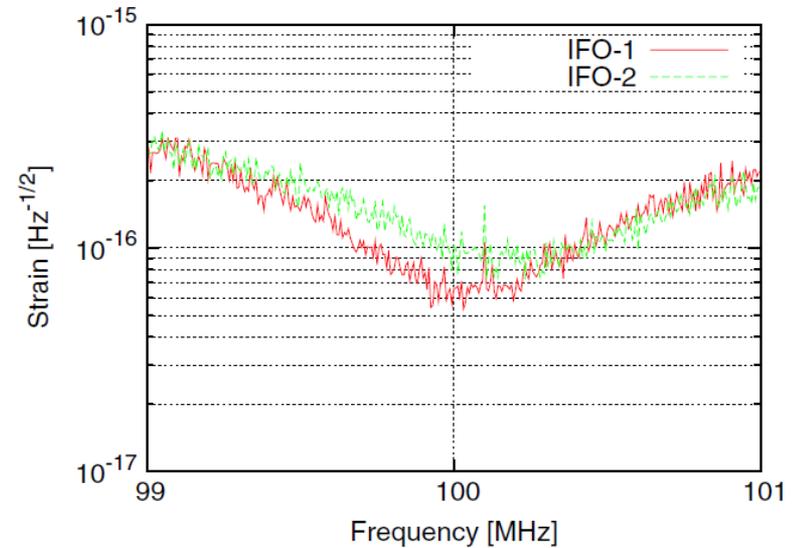
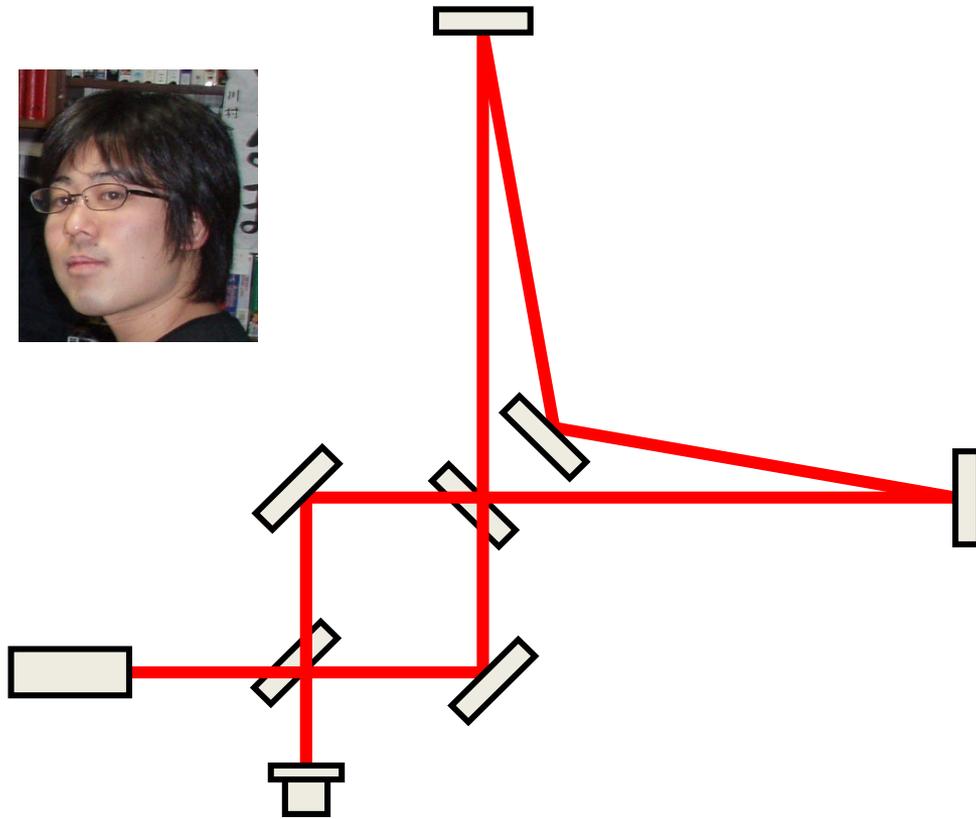
- 懸架鏡を用いたRSE干渉計の広帯域動作に世界で初めて成功
- RSE干渉計の狭帯域動作に伴う光バネ効果の測定に世界で初めて成功

量子雑音低減技術の開発



- ポンデロモーティブ・スキューズを利用したホモダイン検波による光の輻射圧雑音の低減実験の立ち上げ
- 輻射圧を利用した量子効率の精密測定に成功

超高周波重力波検出器



- シンクロナス・リサイクリングを用いた100MHz用重力波検出器を2台製作
- 100MHzでの世界最高感度を達成

Stan Whitcomb



基礎レクチャー

- 重力波検出に関する基礎技術のレクチャー
- だいたい週1回、1年間
- 他の大学・研究機関の新しい学生も対象
- これまでに約80名
- 講義メモ：長野君、石川君

2011年～ 東大宇宙線研



KAGRA



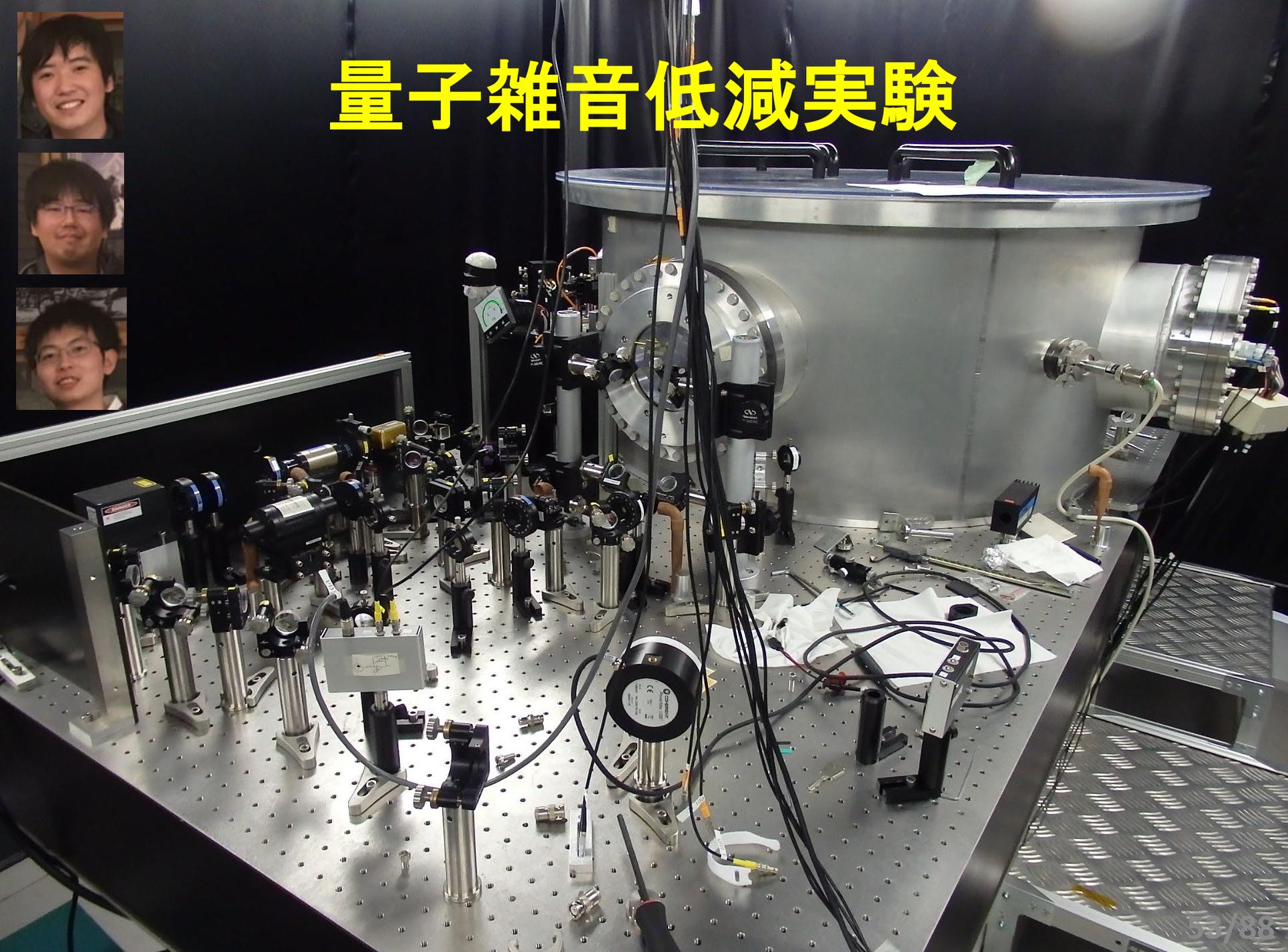
iKAGRA 動作成功(2016)



入出射光学系クリーンルーム

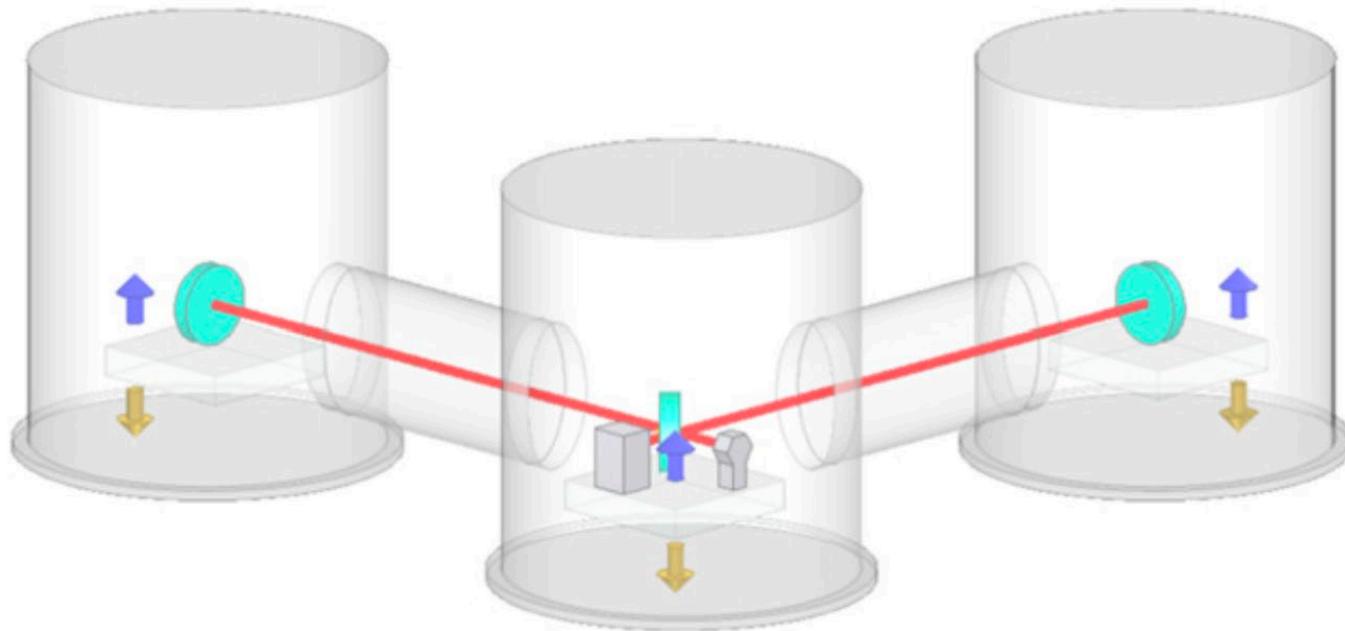


量子雑音低減実験

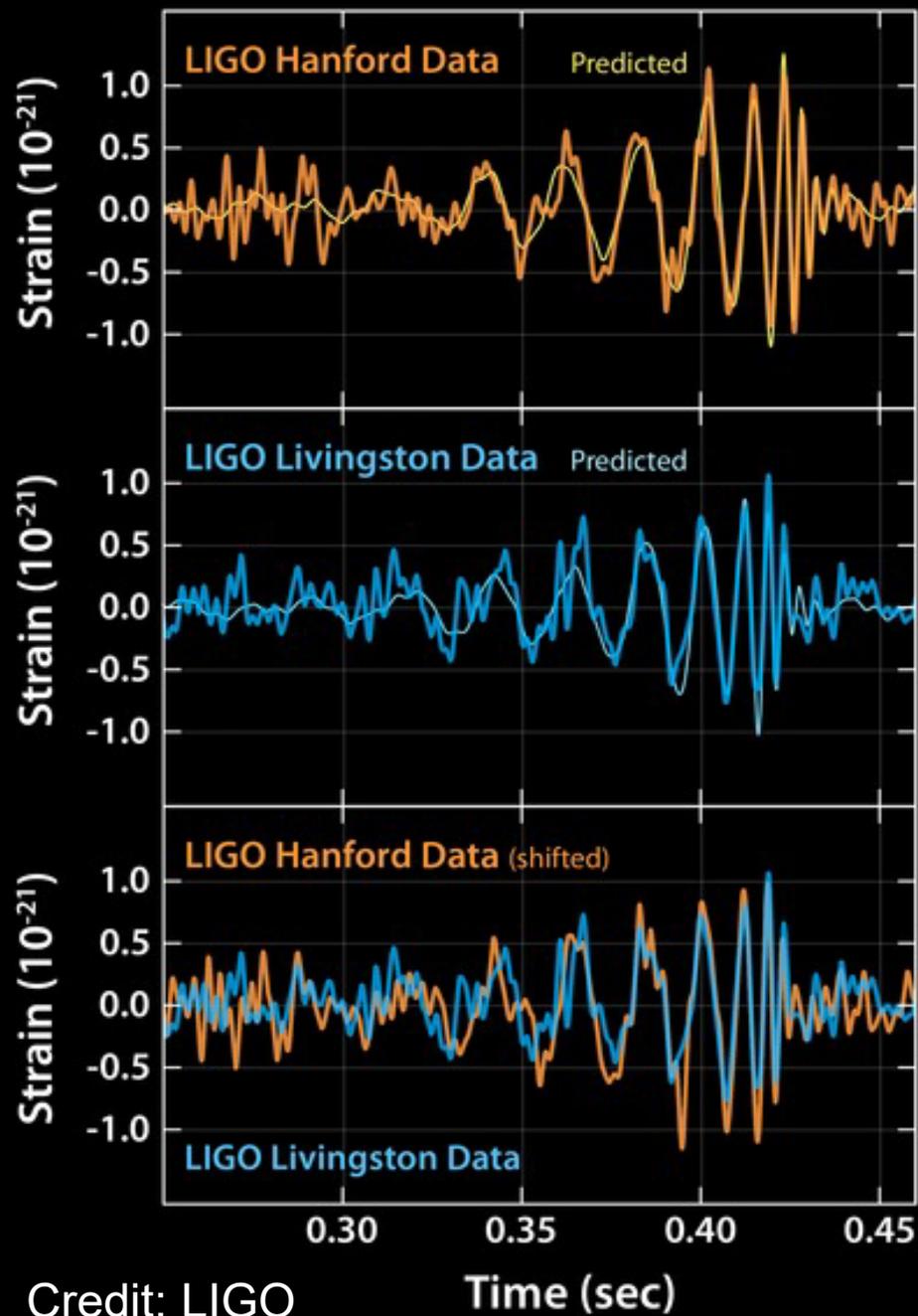


Juggled interferometer for the detection of gravitational waves around 0.1–10 Hz

D Friedrich¹, M Nakano², H Kawamura³, Y Yamanaka⁴,
S Hirobayashi⁵ and S Kawamura²

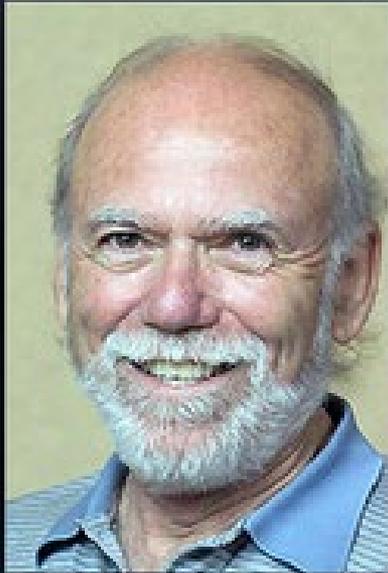


重力波初検出



NHKおはよう日本(2016年6月23日放送)

著作権の都合により画像を削除いたしました。



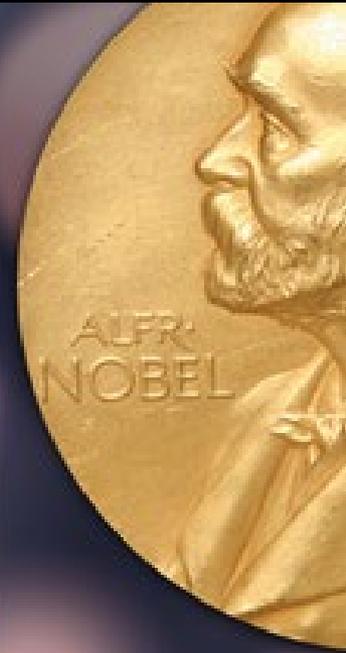
Barry C. Barish (Caltech)



Kip S. Thorne (Caltech)



Rainer Weiss (MIT)



2017 Nobel Prize in Physics

NHKニュース(2017年10月3日放送)

著作権の都合により画像を削除いたしました。

日テレNEWS(2017年10月4日放送)

著作権の都合により画像を削除いたしました。

2107年発行
(実は2007年)

THE ASTRONOMICAL HERALD
天文月報

THE ASTRONOMICAL HERALD 特集
CONTENTS

表紙製作 額谷宙彦

200 巻記念特集	二百年目を迎えるブラックホール天文学	福江 凜	3
	重力波天文学の誕生から隆盛まで	爺・セラム・和歌	12
	計算天文学の現在		16
ASTRO EXPRESS FOR 2107			
	Mapping the Extrasolar Terrestrial Planet EXTP-7: Discovery of the Ocean and Continents		
	系外地球型惑星 EXTP-7 の撮像観測: 海洋と大陸の発見	海風潮美+まほろば計画チーム	15
200 巻記念特集	月面南天天文台より	Massimo G. IYE	18
	コスモスな日々—2108	銀河旅人	21
書評	Introduction to Standard Cosmology (標準宇宙論入門)	杉谷真名押	28
	月報だより		29
	付表		30

【表紙説明】

第3世代宇宙電波干渉計 VSOP-X ドコカが撮像した銀河系中心のモンスター「いて座 A* おぼろ」(提供 旧国立天文台/O. Pi. Takahashi)。2010年代に活躍した VSOP2 カナタノの波長では吸収が強すぎて惜しくも撮像できませんでしたが、サブミリ波帯で分解能も向上したドコカでついに激写に成功しました。半世紀前からの予想どおり、高温プラズマの光る衣を背景にして、モンスターブラックホールの影が浮かび上がりました。半円にみえるシルエットの大きさは、左右がブラックホールの直径の3倍強、上下が2倍弱あります。このシルエットはブラックホールでゆがめられた時空のシルエットですが、その解析から、ブラックホールの質量は373万太陽質量、スピニングが0.26であることがわかりました。

(「二百年目を迎えるブラックホール天文学」記事参照)

重力波天文学の誕生から隆盛まで

爺・セラム・和歌

(重力波天文台 日本支部)

重力波天文学はどのようにして誕生し、どのようにして発展してきたのであろうか？ 本解説記事では、この100年間に起こった重力波天文学の誕生から隆盛に至るまでの歴史を簡単に紹介する。

1. はじめに

いやはやこの20年間はまさに重力波天文学の独壇場であった。今でこそ、あたりまえのことであるが、世界の天文学者の約半数が重力波天文学者となるほどに重力波天文学が光り輝くものになるとは、100年前の天文学者には全く想像すべしできなかったであろう。『重力波天文学を創成するぞ！』などと威勢のいいことを言っても、「まず一発でも検出することが先でしょう。」といわれた時代である。しかし今日の重力波天文学の隆盛は、100年前に重力波天文学の創成を夢見て頑張ってきた人々の献身的とさえいえるような努力があってこそなされたものであることは間違いない。もし筆者の生まれるのが100年早かったとしても、信号のない天文学に何年も何十年も人生をつぎ込むことはとてもできないと思う。まさに彼らの執念は敬服に値するものである。

さて今回の天文月報は記念すべき第200巻である。そこで筆者は100年前の重力波検出実験（まだ重力波天文学にはなっていない！）の世界がどんな様子であったかを、もう少し詳しく調べるため100年前頃の天文月報を眺めてみた。すると何と天文月報100巻記念の特別付録として『第200巻の創作』というおもしろい企画があったのである。「どれどれ、100年前の重力波の先駆者たちはいったいどれほどの想像力をもっているのでは

うか？」興味津々でその企画の重力波の記事を読んだ筆者は愕然とした。そこに書かれていたことは、この100年の歴史をほぼ忠実に予言していたのである。まさに『前生畏るべし』である。

ということで、本解説記事では、この100年間に起こった重力波天文学の誕生から隆盛に至るまでの歴史を簡単に紹介し、先人の切り開いてきた道をもう一度たどってみることにしよう。

2. 地上観測機による重力波の初検出と重力波天文学の創成

100年前、すなわち2007年の時点で重力波はまだ検出されていなかった。重力波検出実験に携わった先人たちは、地上に数キロメートルの長さをもつレーザー干渉計を建設し重力波の検出を目指していた。当時、最高感度であったアメリカ（当時はまだ地球は多数の国から成り立っていた）の重力波検出器 LIGO は16メガパーセクの遠方で起こる中性子星連星の合体を検出できる感度をもっていたが、それではまだ重力波の検出には不十分であった。

その数年後、LIGOの感度を1桁上げた Advanced LIGO や日本の LCGT が完成し、2015年、ついに人類初の重力波の検出がなされたのである。そしてその後の10年間で、年間10回程度の中性子星連星の合体イベントをとらえることができただけでなく、太陽質量の10倍程度のブラッ

クホール連星の合体、超新星爆発、パルサーなどからの重力波も検出され、重力波天文学が一気に開花したのである。

3. スペース重力波アンテナの活躍と重力波天文学の発展

その次に重力波天文学の発展に大きな寄与をしたのが、スペース重力波アンテナであった。2022年に旧 NASA と旧 ESA（現在の Earth-SA の前身）によりスペース重力波アンテナ LISA が打ち上げられ、中質量-大質量ブラックホール連星の公転運動および合体からの重力波が大量に検出され、銀河中心にある巨大ブラックホール形成のメカニズムが判明したことにより、重力波天文学の重要性とスペース重力波アンテナの有用性が一段と深く認識されるようになった。

LISA の後を受けて登場したのが、DECI-BO（デサイボ）であった。DECI-BO は日本で考案された DECIGO と米欧の BBO とが融合した究極のスペース重力波アンテナである。当初の予定よりは少し遅れたようであるが、2038年、日米欧の国際協力でスペース重力波アンテナ DECI-BO が打ち上がった。この検出器は10年間の稼働期間の間に、中性子星連星の合体の観測から宇宙膨張の加速度を精密に計測しダークエネルギーのモデルに重要な制限をつけ、さらにインフレーションからの重力波を検出しインフレーション理論の確認と特徴づけを行うことに成功したのである。またこのとき、当時の常識からはそのメカニズムが全く想像できないような不思議な波形をもつ重力波天体も見つかり、理論家の間でこの正体について激しい議論がなされたが、結局この謎の星（現在のグラグラ星）の正体がわかったのは何と2090年代に入ってからであった。

4. 『重力波ホイホイ』の登場と重力波天文学の隆盛

何とんでも重力波天文学を今日の隆盛に導い

たのは、超高感度小型重力波検出器の登場であろう。100年前にすでに始まっていた当時でいうところの第三世代重力波検出器の開発は、例えば量子非破壊計測に関しては10 dB 程度のショットノイズの低減がせいぜいであった。しかし、長い間の地道な研究の末ようやく2060年代に入って、重力波検出器の重要な技術分野である、量子非破壊計測、低温技術、そして変位雑音キャンセル技術においてそれぞれ画期的なブレイクスルーが見つかったのである。これらの技術革新により、量子雑音、熱雑音、変位雑音のそれまでにないレベルでの低減が可能となり、その後の20年間で重力波検出器の感度はそれ以前と比べて約10桁改善されるに至った。このおかげで、超高感度小型重力波検出器が廉価に製作できるようになり、それらを大量生産し地球上に設置することにより、重力波の弱点であった指向性の問題も解消し、バースト重力波に対しても現在の最高レベルの光学望遠鏡と同程度の角度分解能をもつようになった。そして2087年、重力波検出器を地球上に1万個敷き詰めた重力波検出ネットワーク、いわゆる『重力波ホイホイ』がついに完成したのである。

この装置を使い、過去20年の短期間の間に今日の重力波天文学の隆盛をもたらしたさまざまな発見が続々となされてきた。まず、インフレーションのさらに前の宇宙誕生の瞬間（プランク時間）からの重力波の観測に成功し、2053年に提唱された多次元確定論統一理論 (Multi-dimensional Absolutely Deterministic Unified Theory; MAD-UniT) の正当性が確認され、宇宙誕生の謎が一気に解き明かされた。また、100年前にはおそらく小さすぎて測定不可能と思われていた、重力波信号の余剰次元への染み出しの測定に成功し、その存在を確認した。さらに、グラグラ星についても重力波による詳細な観測の結果、発見後50年経ってやっとそのメカニズムがグラグラボン効果によるものであるとわかったのはご存知のとおりである。ほかにも、100年前には想像すべくな

重力波とは何か

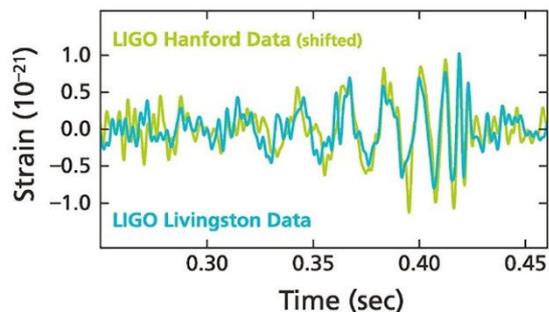
アインシュタインが奏でる
宇宙からのメロディー

川村 静児
Kawamura Seiji

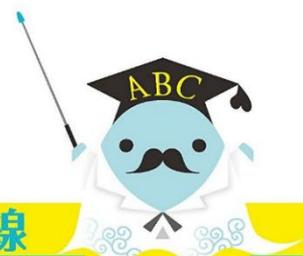
427

「重力波とは何か アインシュタインが奏でる宇宙からのメロディー」川村静児
幻冬舎 (2016)

重力波物理の最前線



川村静児 [著]



基本法則から読み解く物理学最前線

須藤彰三 [監修]
岡 真

17

共立出版

「重力波物理の最前線」須藤彰三 監修・岡 真 監修・川村 静児 著
共立出版 (2018)

送別会



2017年～ 名古屋大学



U研







Meidai Watch 名大ウォッチ



新聞社で長く科学報道に携わってきたジャーナリストが、学内を歩きながら、大学の今を自由な立場で綴っていきます。

重力波のヒーローがやって来た

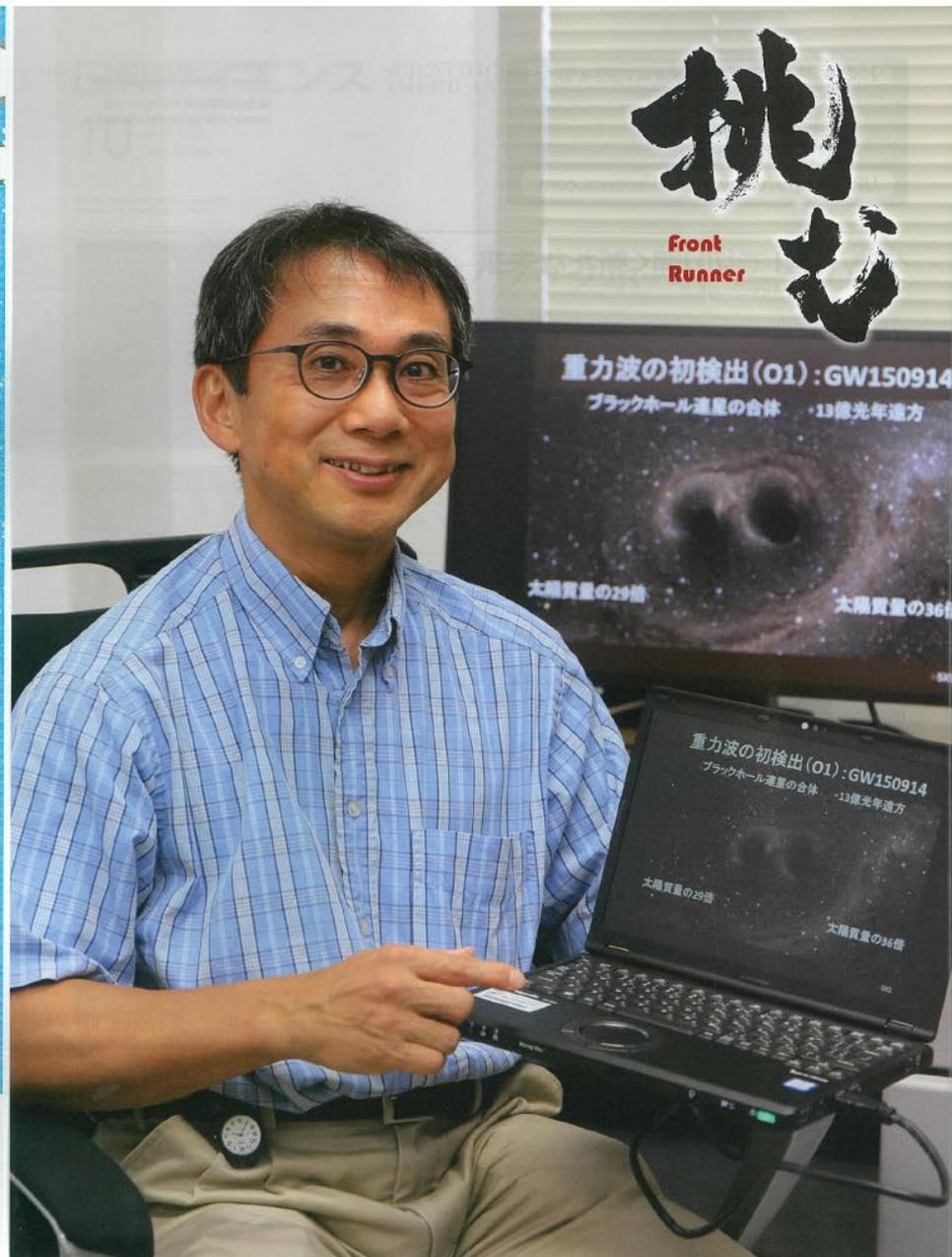
昨年秋、重力波を初めて観測した米国の研究者たちがノーベル物理学賞を受賞したというニュースは国内でも大きな話題になった。その米国チームから功労者として讃えられたのが東大宇宙線研究所の川村静児教授だ。岐阜県の神岡鉱山の地下で建設中の大型低温重力波観測装置「KAGRA（かぐら）」の主要メンバーでもある。

KAGRAは初観測では米国に先を越されたものの、来年には観測を始め、これから本格化する重力波天文学の第一線に躍り出ようとしている。

KAGRAでインタビューを受けていた姿の記憶も新しい川村さんが昨年12月半ば、KAGRAを離れ、名大理学部教授として着任した。

そう聞いて、驚いた。いったいなぜ名古屋へ？





第85回
写真：村山直孝

川村 静児

名古屋大学教授

(かわむら・せいじ) 1958年高知市生まれ。早稲田大学理工学部卒。東京大学大学院理学系研究科博士課程修了後、カリフォルニア工科大学へ、国立天文台准教授。東京大学宇宙線研究所教授を経て2017年から現職。著書に、「重力波とは何か」(幻冬舎、2016年)、『重力波物理の最前線』(共立出版、2018年)などがある。

重力波初検出の立役者 目標は宇宙の産声探索

2015年、米観測施設が世界で初めて重力波の観測に成功した観測を妨げる様々なノイズを取り除きノイズハンターと呼ばれる初観測の立役者が今目指しているのは宇宙での重力波観測だ

「宇宙誕生直後の産声を知りたい」。名古屋大学教授の川村静児は宇宙のインフレーションで生じた重力波を検出するため宇宙に浮かぶ重力波天文台を提唱する。重力波を初観測した米国の観測施設LIGO(ライゴ)の実現に貢献し、その手腕とアイデアを生かして今、LIGOをはるかに凌駕する観測に挑もうとしている。(文中敬称略)

川村は昨年12月、およそ6年半在籍した東京大学宇宙線研究所を離れて名古屋大学理学部教授に着任した。岐阜県の神岡鉱山での大型低温重力波観測装置(KAGRA=カグラ)の建設はやりがいのある大仕事だった。1990年代、米カリフォルニア工科大学(カルテック)でのレーザー干渉計重力波天文台(LIGO)の開発において「ノイズハンター」として活躍した経験を生かす好機でもあった。

しかし、「自分のやりたいことに挑戦したい」との思いは日に日に強まっていた。巨大な観測装置の建設と保守管理のため「やらなきゃいけないこと」のリストには常に50くらい項目があり、一番下の項目にまでは生きてい

る間に届きそうになかった。しかも自分がやりたいことはリストには含まれていなかった」と川村は述懐する。

川村が手がけたいこと。それは、宇宙空間に浮かぶ「0.1ヘルツ帯干渉型重力波天文台(DECIGO=ディサイゴ)」を実現して、宇宙誕生からわずか10のマイナス34乗秒後に起きたインフレーションからの重力波をとらえることだ。「インフレーションは仮説であり本当にあったのかはわからない。そもそも、仮説を検証する手段があるとは多くの人が思っていなかっただろう」。

日本の研究仲間と計画立案

2000年代はじめ、川村は京都大学名誉教授の中村卓史、京大助教授の瀬戸直樹、東大准教授の安東正樹ら仲間の研究者たちとDECIGOを立案し設計に取り組んだ。そのころは「KAGRAが建設できるかどうかまだわからなかった時期だ」。2015年にLIGOがブラックホール連星の合体から生じる重力波の直接観測に初めて成功し、KAGRAも観測開始を控えた今、重力

波天文学の発展の先を見据えたプロジェクトとしてDECIGOを復活、前進させるべきだと川村は考えた。

KAGRAやLIGOなどレーザー干渉計型の重力波観測装置は、直交する長い2本の「腕(基線)」の中でレーザー光を精密に同期して往復させる。重力波による空間の歪みが装置に届くと2本のレーザー光の間でわずかな位相のズレが生じる。腕が長いほどズレをとらえる観測精度は上がる。

長さ4kmの腕を持つLIGOが2015年にとらえた空間の歪みは10のマイナス21乗ほどの大きさ、地球から太陽までの距離で水素原子1個分の変化が生じる程度だ。極めて精密な観測技術が求められ、装置の内部であれ外部環境からであれ、あらゆる振動が重力波の微小な信号を覆い隠すノイズ(雑音)となる。量子世界の揺らぎでさえ精密観測の妨げになる。

米国内に2つの観測装置を持つLIGO、フランスとイタリアがイタリア国内に建設したVirgo(基線長3km)、そして日本のKAGRA(同3km)と、少なくとも4台の重力波天

Status, Results, and Future Plans for LIGO and Virgo

Closed

KMI Colloquium 📅 2018-02-23 10:00

David Shoemaker 🗣️ other

The LIGO and Virgo gravitational-wave detectors, supported by the LIGO Scientific Collaboration and Virgo Collaboration, have now detected both a handful of binary black holes as well as a fortuitous capture of signals from a binary neutron star, enabling a world-wide electromagnetic followup. The technique and the fundamental physics challenges to the detectors will be presented, a summary of the astrophysics results given, and a roadmap for future detectors sketched.

<https://www.kmi.nagoya-u.ac.jp/eng/seminar/1045/> 2024/3/5



Gravitational Wave Astronomy: We can hear the dark universe!

Closed

KMI Colloquium 📅 2018-02-26 13:00

Karsten Danzmann 🗣️ KMI Science Symposia (ES635)

For thousands of years we have been looking at the universe with our eyes. But most of the universe is dark and will never be observable with electromagnetic waves. Since September 14th, 2015, everything is different: Gravitational waves were discovered by ground-based detectors! We have obtained a new sense and finally we can listen to the dark side of the universe. In 2017 ESA has selected the LISA mission concept for the L3 large mission flight opportunity with a foreseen launch in 2034. LISA will comprise 3 spacecraft at the corners of an equilateral triangle with 2.5 million km arms in a heliocentric orbit trailing the earth. It will form a laser interferometer with 3 arms and 6 laser links, observing low-frequency gravitational waves with frequencies from less than 0.1 mHz up to more than 0.1 Hz.

<https://www.kmi.nagoya-u.ac.jp/eng/seminar/1050/> 2024/3/5





<https://mond.how/ichiroterasaki>
2024/3/18

物理学基礎 I



<https://blog.miraikan.jst.go.jp/author/t-ayatsuka/>
2024/3/18

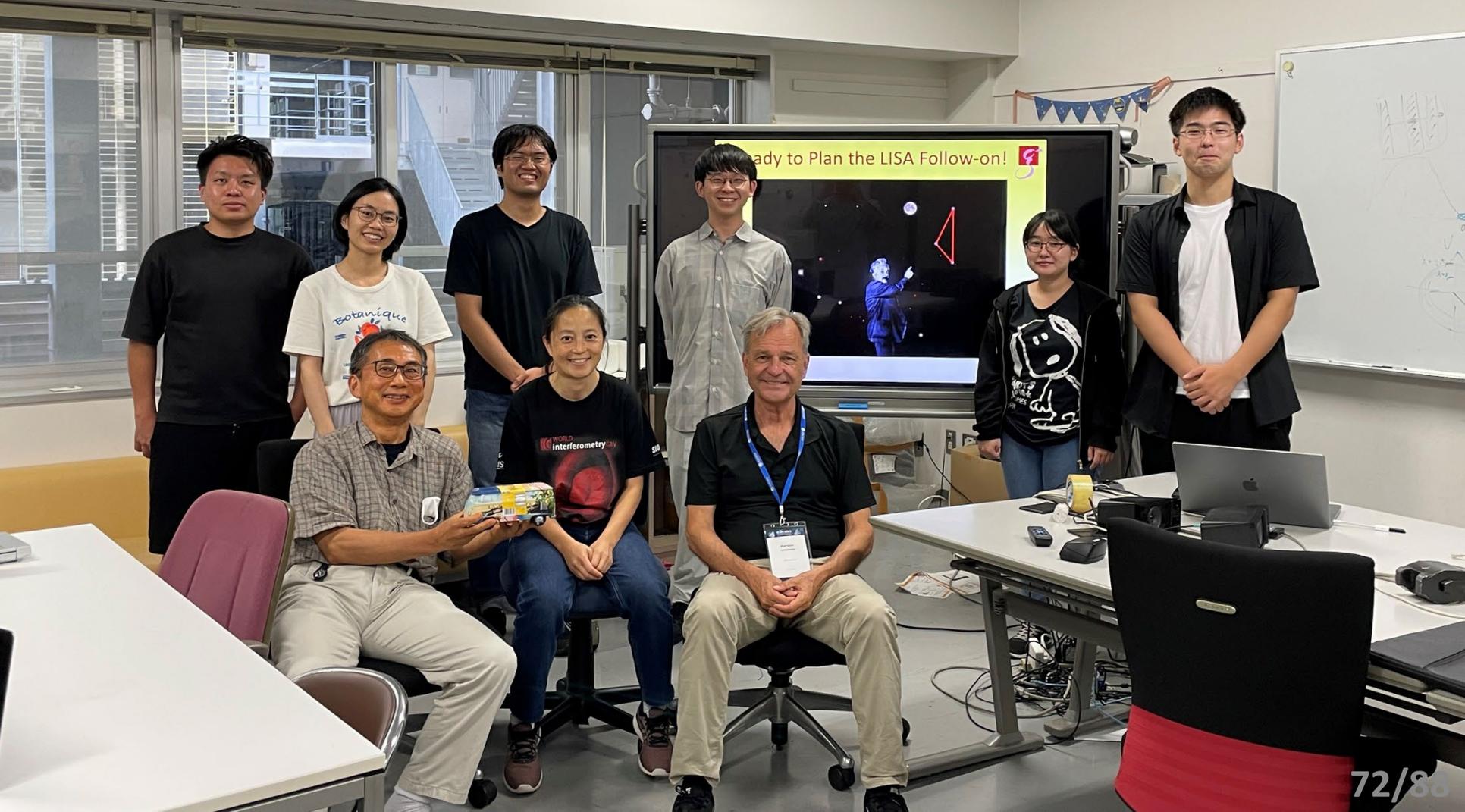
名大 理学部の授業のぞいてみた！ ～物理学基礎 I～ (撮影年：2022年)



力のモーメント加えます

<https://www.philosophia.sci.nagoya-u.ac.jp/motion/page/2/> 2024/3/5

Karsten Danzmannと川添さん



Zong-Hong Zhu



Gerhard Heinzl



還曆祝い



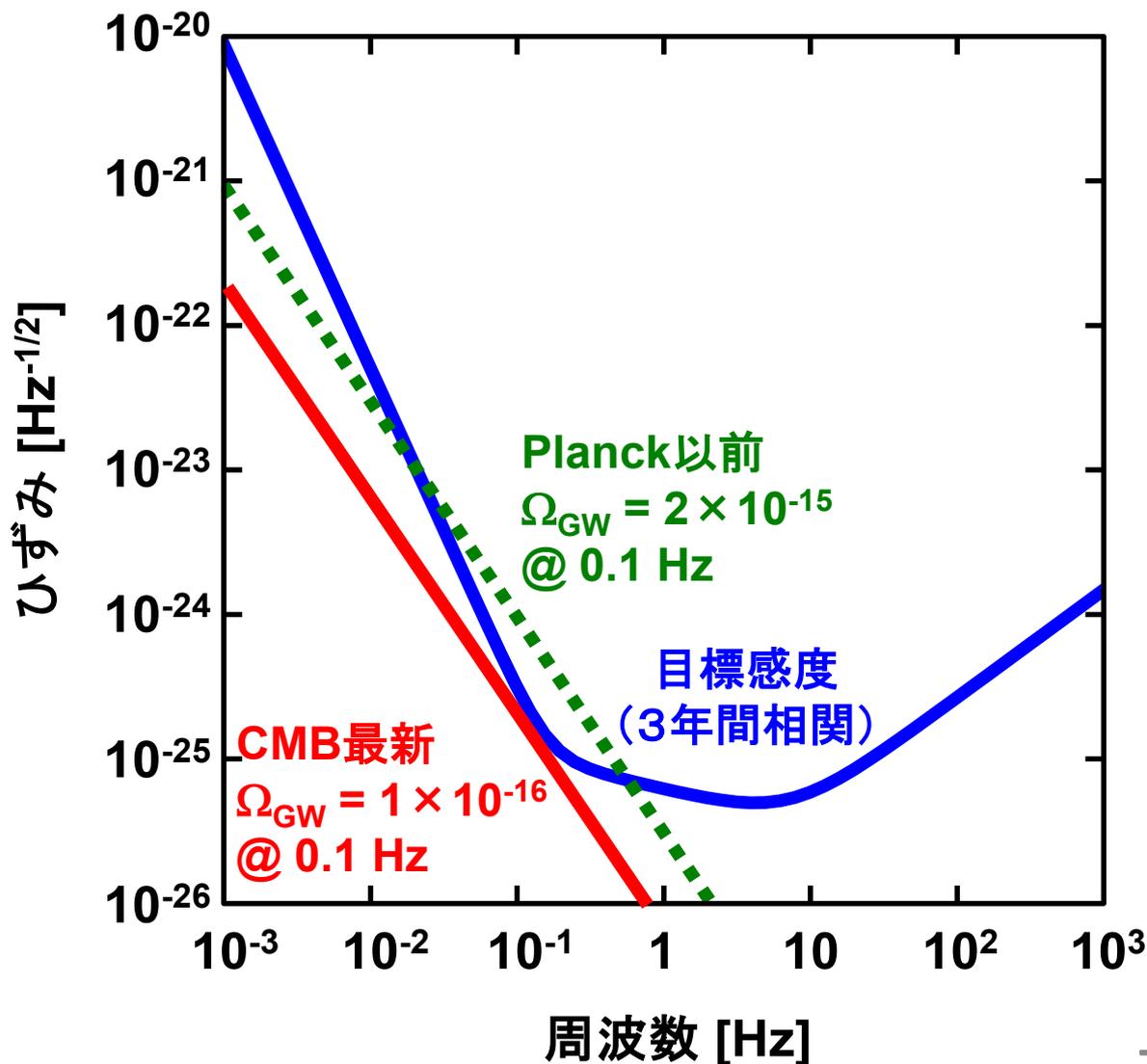
最初の学生



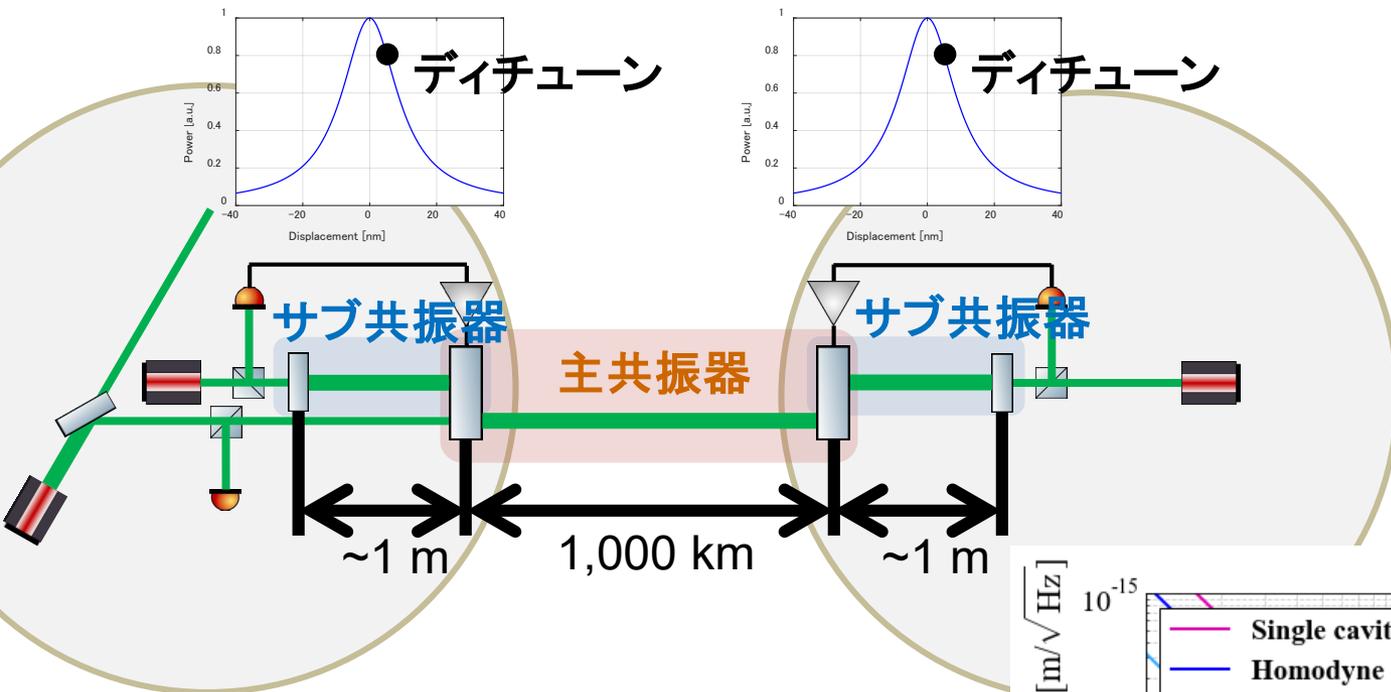
DECIGOの目標感度と 原始重力波の上限値

パラメータの最適化:

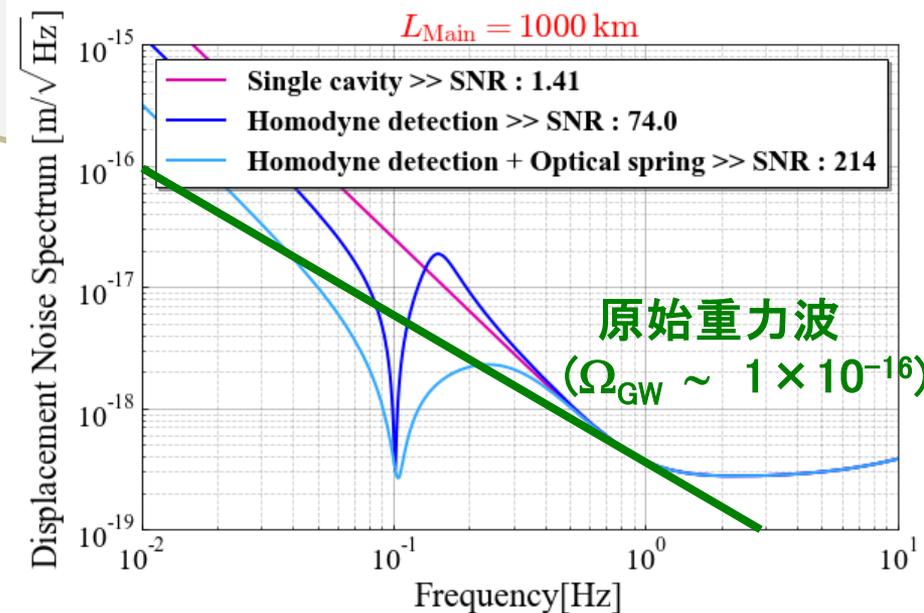
- ◆ Iwaguchi, et al.,
Galaxies, 2021
- ◆ Ishikawa, et al.,
Galaxies, 2021
- ◆ Kawasaki, et al.,
Galaxies, 2022



光バネ量子ロッキング

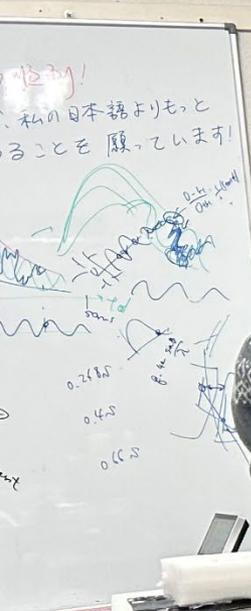


- ◆ Yamada, et al., PLA, 2020
- ◆ Yamada, et al., PLA, 2021
- ◆ Ishikawa, et al., PRD, 2023
- ◆ Tsuji, et al., Galaxies, 2023

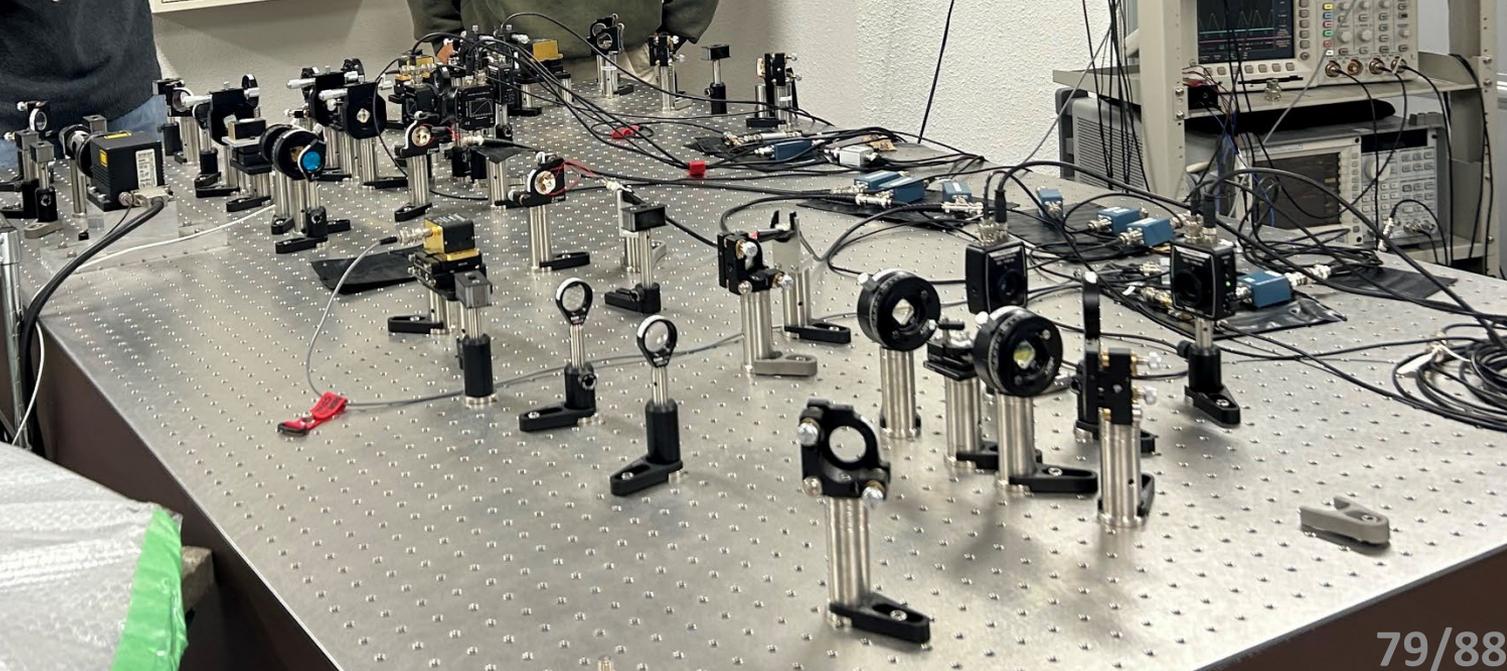


光バネ量子ロッキング

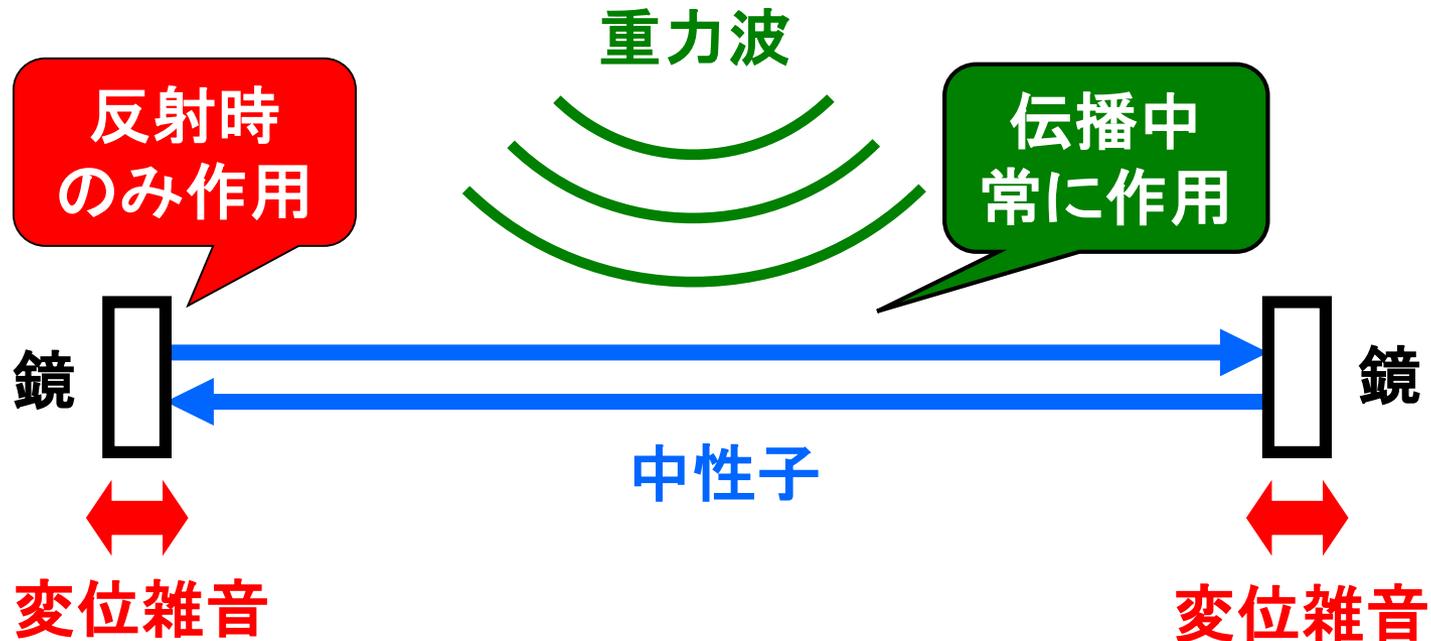
勝利!
私の日本語よりもっと
ることを願っています!



0.25 μs
0.4 μs
0.6 μs



変位雑音フリー中性子干渉計



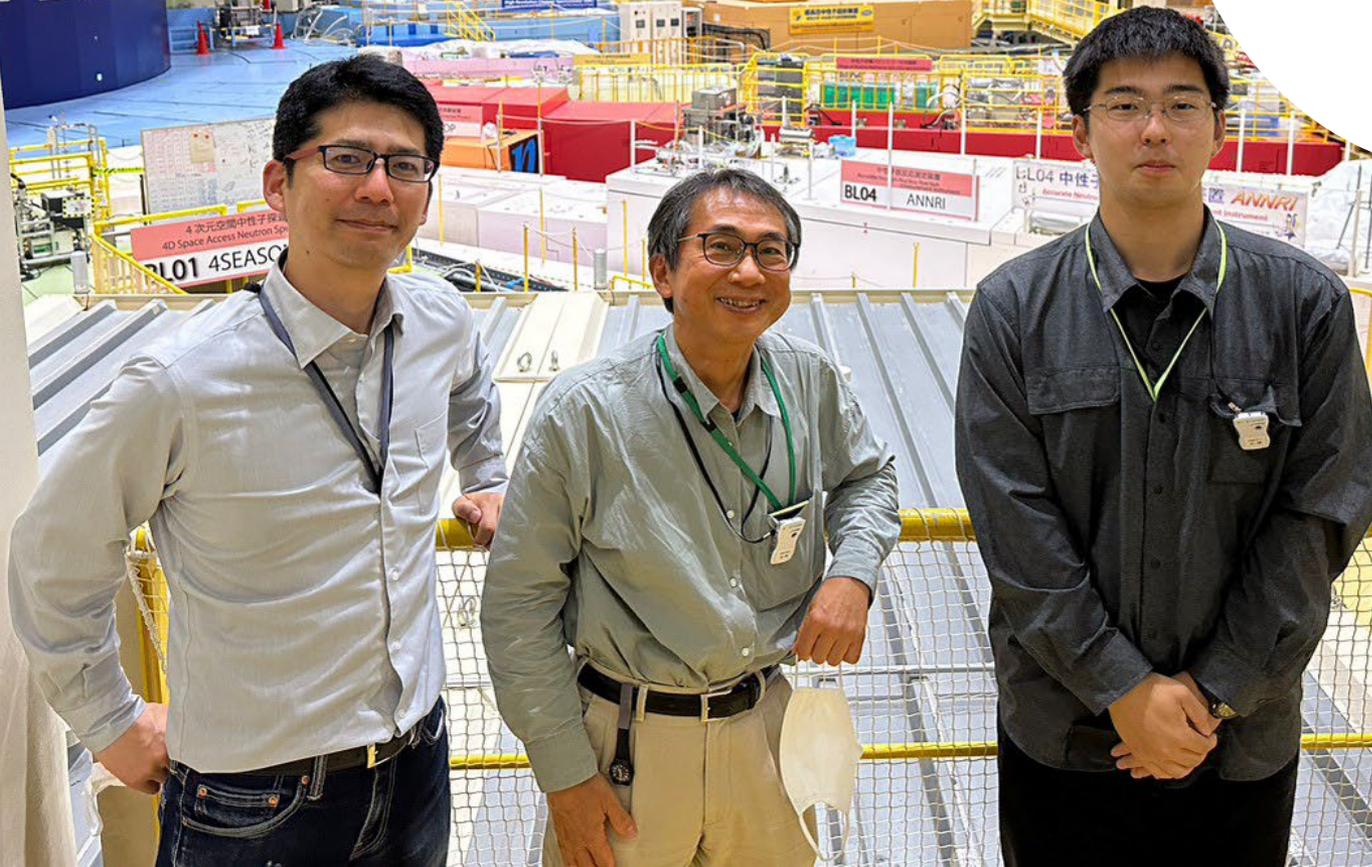
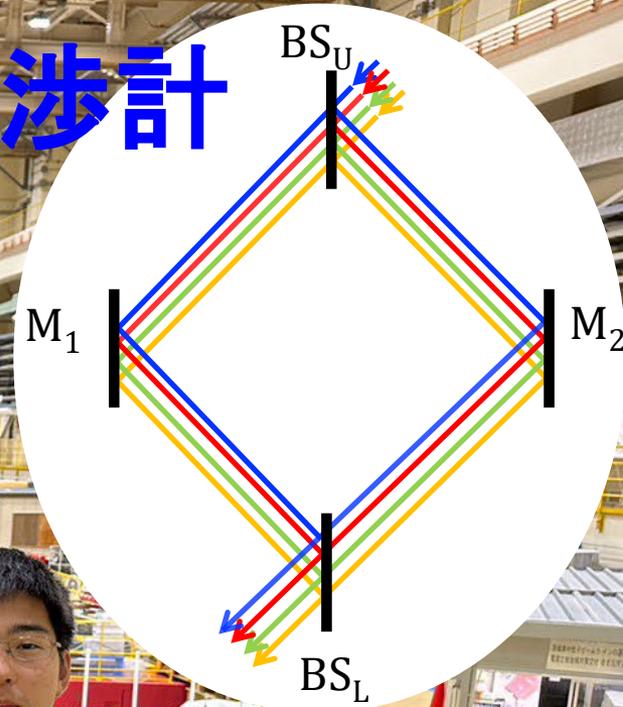
光：速すぎて有効周波数が高すぎる（アーム長3kmで10 kHz）



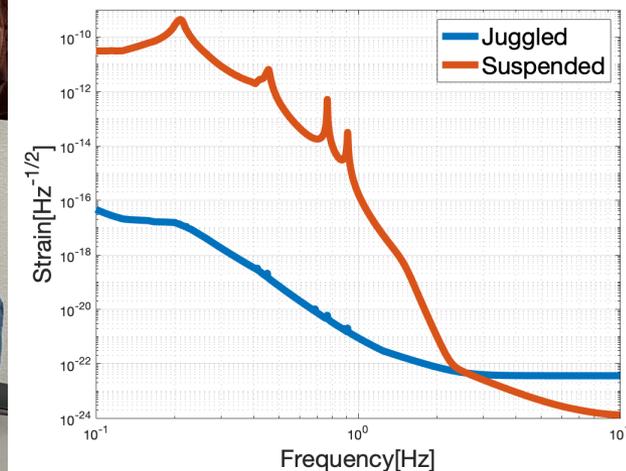
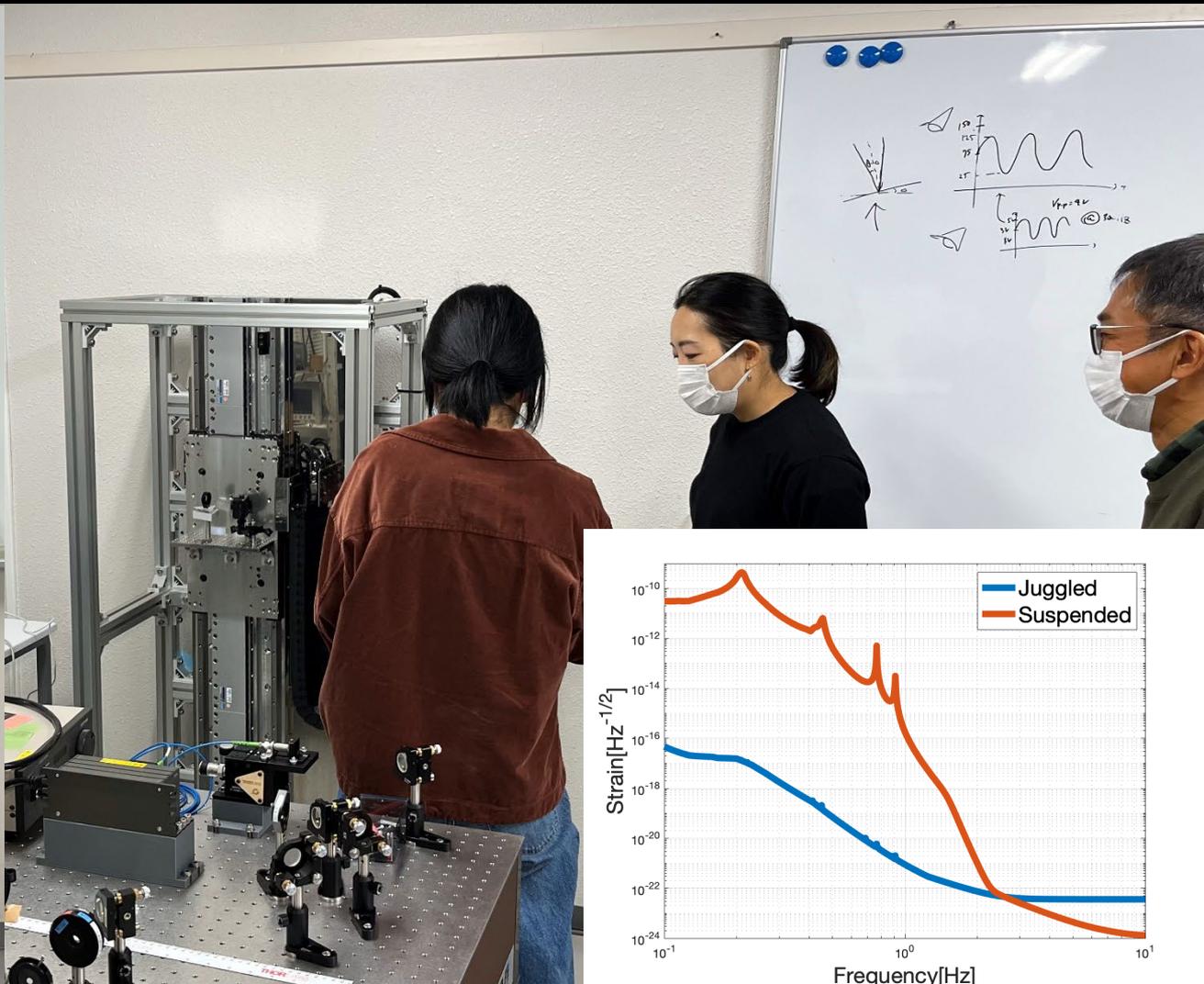
中性子：遅いので有効周波数を1 Hz程度まで低くできる

- ◆ Iwaguchi, et al., PLA, 2022
- ◆ Nishizawa, et al., PRD, 2022
- ◆ Iwaguchi, et al., PLA, 2022

変位雑音フリー中性子干渉計

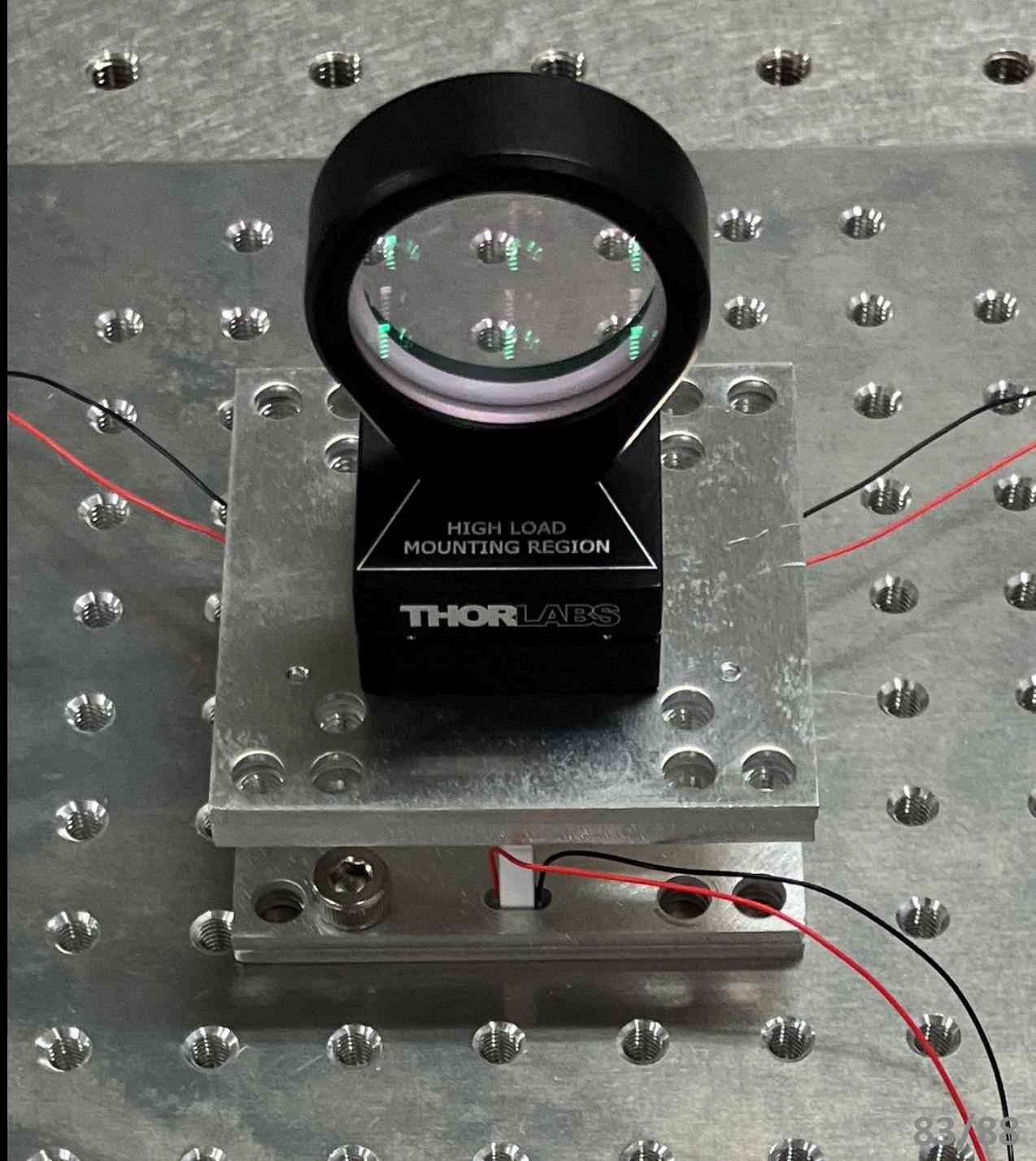


ジャグリング干渉計



ジグリング 干渉計

高速ジャグリング
(~ 100 Hz)

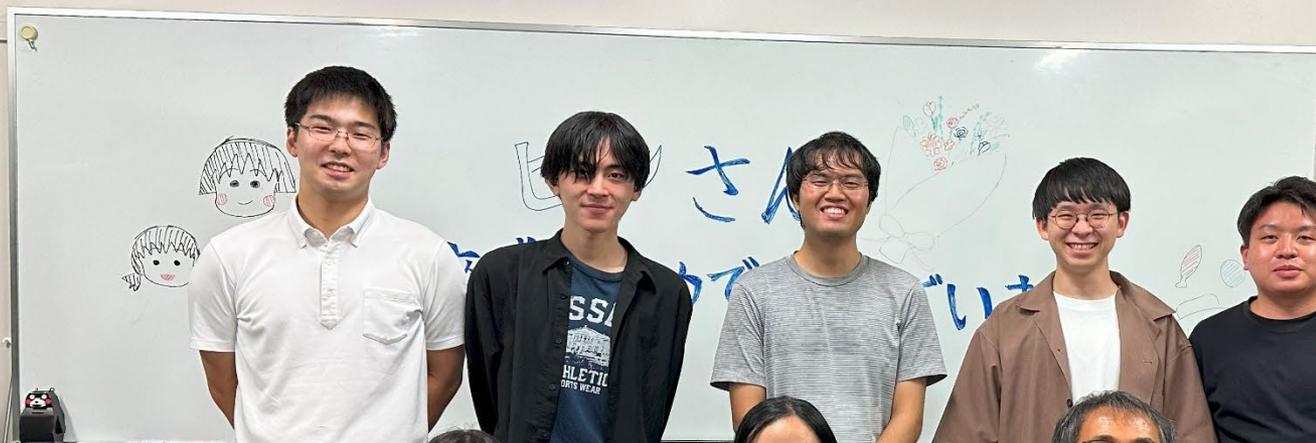


最強学生軍団

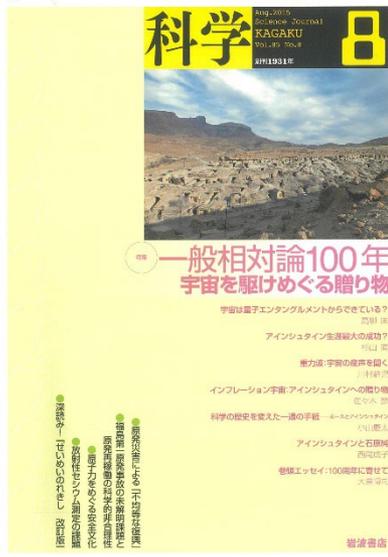
6年3か月間に、11人の学生を指導

- 理学部長顕彰: 3名
- 総長顕彰: 2名
- 理学研究科顕彰: 3名 (さらに、候補者1名)
- Nakamura Usui Award: 1名
- 赤崎学生奨励賞: 1名
- 日本物理学会学生優秀発表賞: 3名
- 学振DC1: 2名
- 学生の筆頭著者論文: 11本 (さらに、査読中3本)

学生たち



退職後は？



2015年発行（まだ初検出の前）

特集一般相対論 100年

重力波：宇宙の産声を聞く

川村 静児 かわむら せいじ
東京大学宇宙線研究所・重力波推進室



いつかどこかで

ア「ついに、ついに、重力波の音が聞けたのう。」

龍「いやあ、ほんま感動的やったきに。次はいよいよ、宇宙の産声を聞きたいもんぜよ。」

ア「それにはまだまだ技術的に乗り越えなくてはいけない壁がたくさんあると言われてい
るようじゃが。」

龍「『世の人はわれをなにともゆはゞいへわがなすことはわれのみぞしる』の精神で頑張
っちゃったら絶対にいつかは聞くことができると信じちゅうきに。」

ア「そうじゃのう。これから先は、重力波天文学をますます充実させていってほしいもの
じゃ。ところで、君はこれから何をするんじゃ？」

龍「わしか。そうさな、重力の波にのって余剰次元の海援隊でもやりますかいのう。」

宇宙の産声を聴く

新しい手法を

独自に考える！