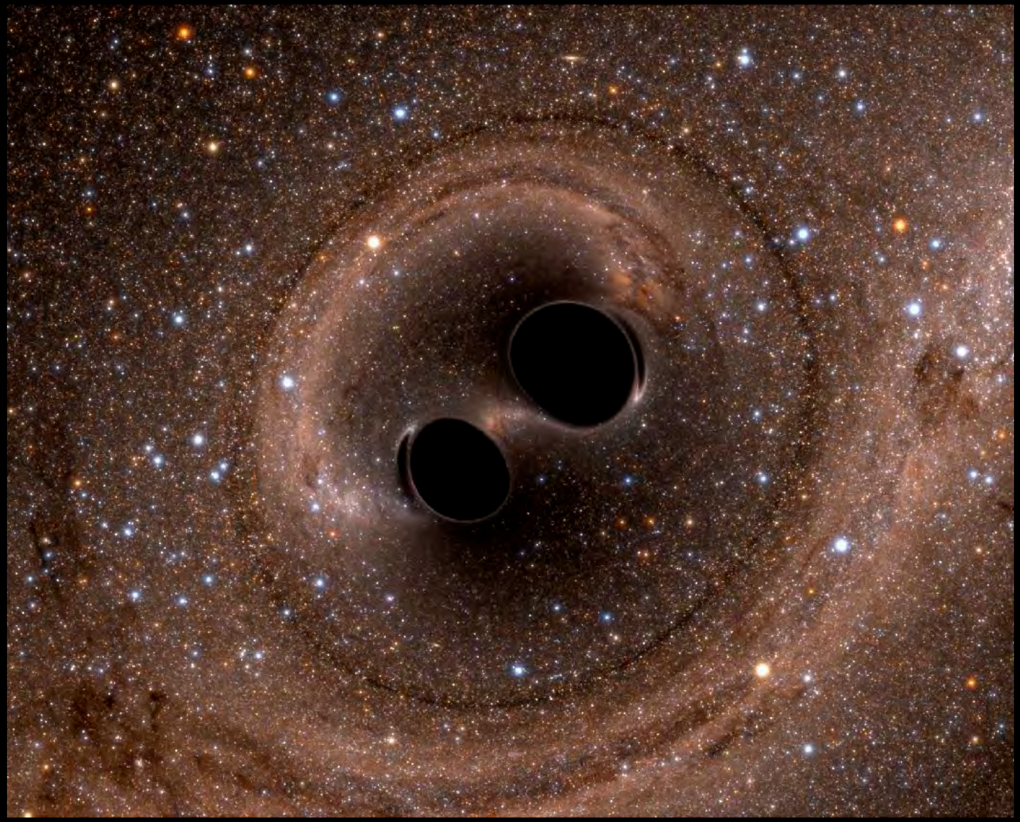
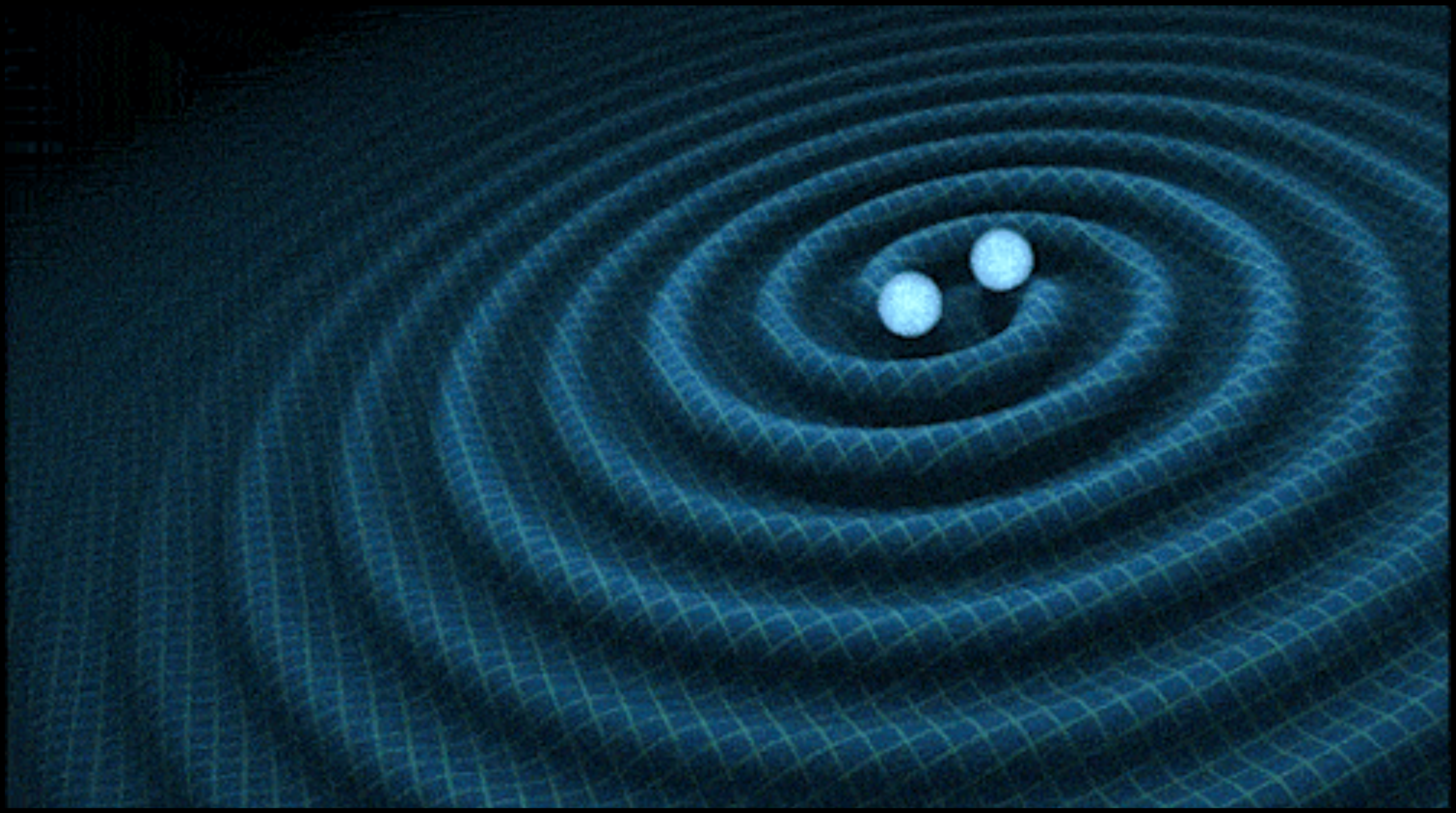
ブラックホールを観る
ブラックホールを聴く





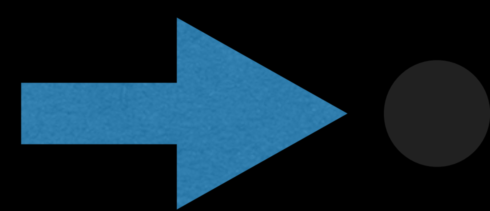
真貝寿明・大阪工業大学
（しんかい　ひさあき）
http://www.oit.ac.jp/is/shinkai/

2019/12/7　舞鶴高専ジュニアドクター育成塾　講演

今日の話の内容

1．ブラックホールとは？

★何でも吸い込む．光も脱出できない重い星



ここ

2．見えないはずでは？

⇒　見えたんです　(2019年4月)

3．音も聞こえないはずでは？

⇒　重力波で聴こえたんです（2015年9月)

今日の話の内容

１．ブラックホールとは？

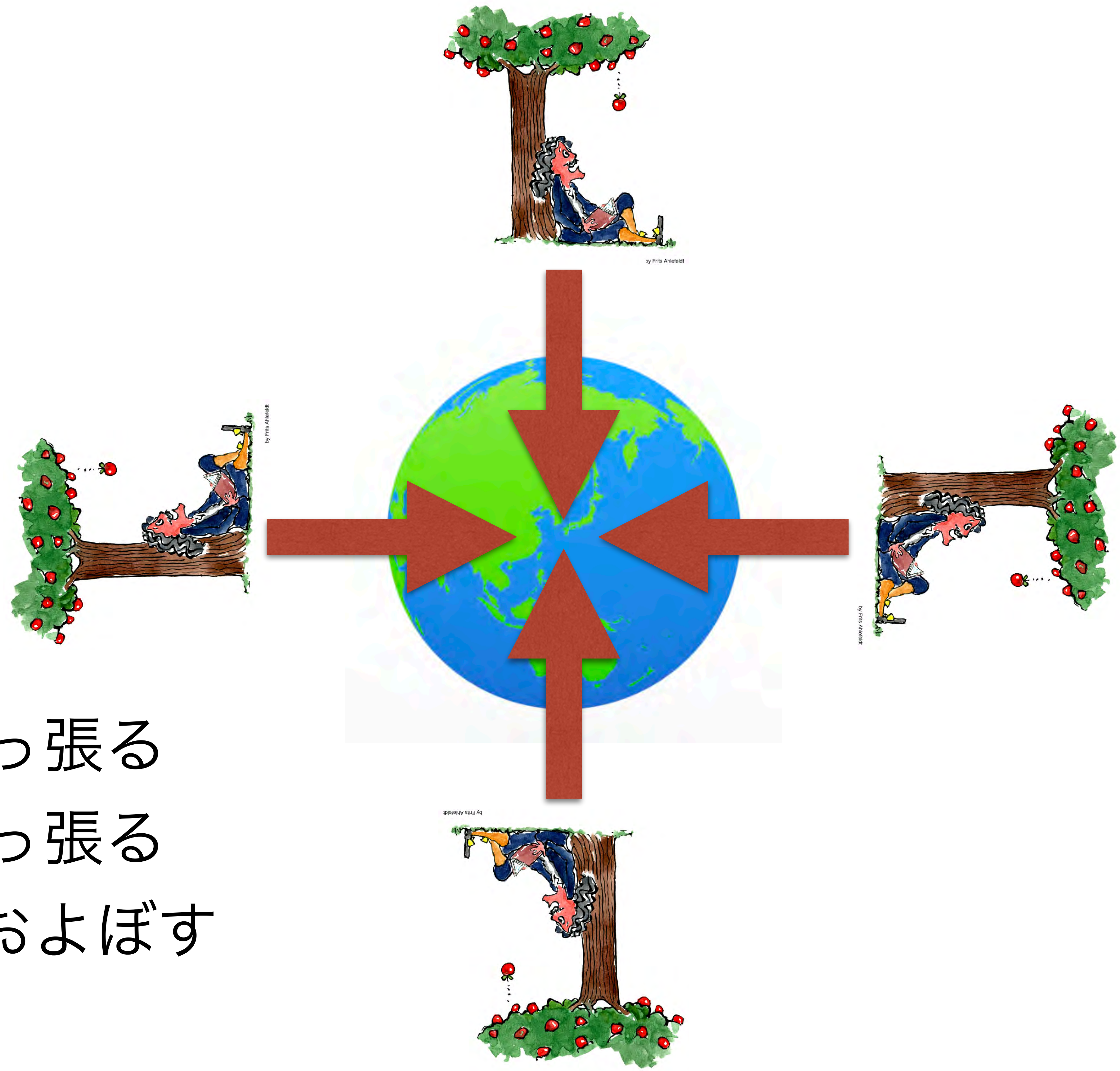
★何でも吸い込む．光も脱出できない重い星

★大きな恒星が燃え尽きた最後の姿

★アインシュタインの相対性理論が予言

重力の正体は？

ニュートン



地球がリンゴを引っ張る

リンゴも地球を引っ張る

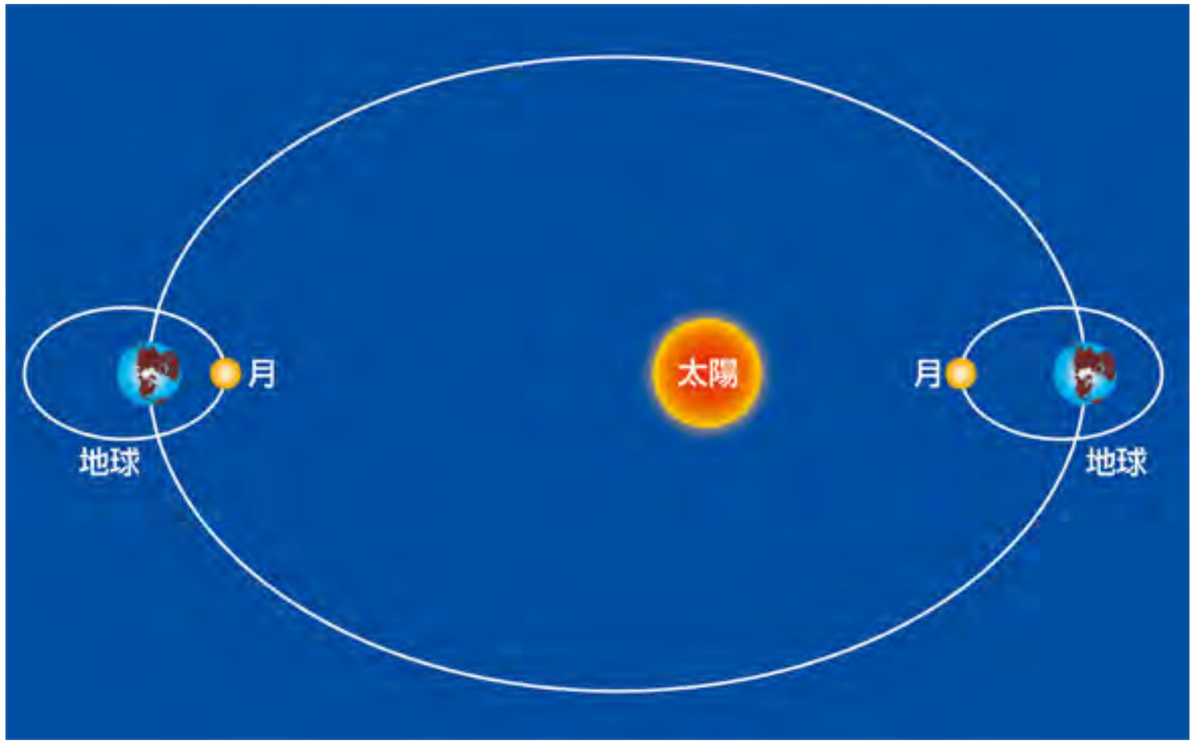
⇒すべてが引力をおよぼす

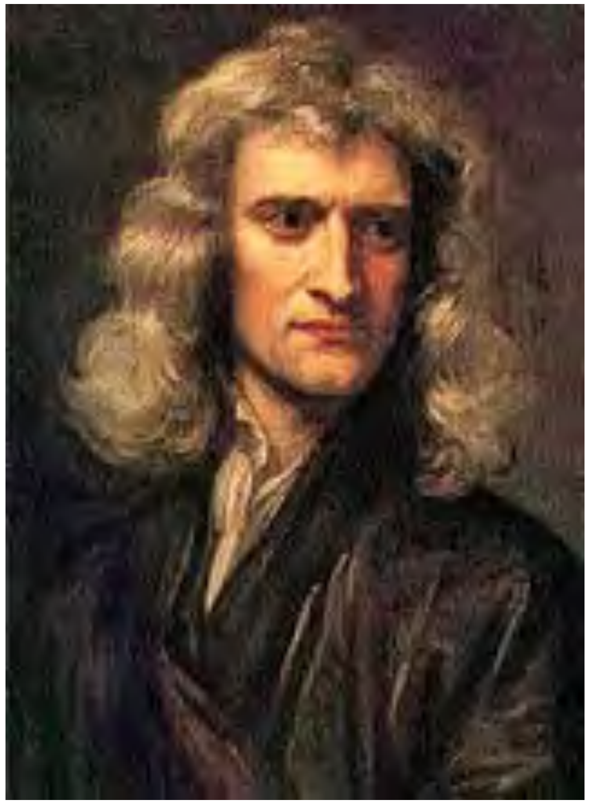
（万有引力）

重力の正体は？

万有引力　$F = G\frac{Mm}{r^2}$

＝すべてのものは引力で引き合う





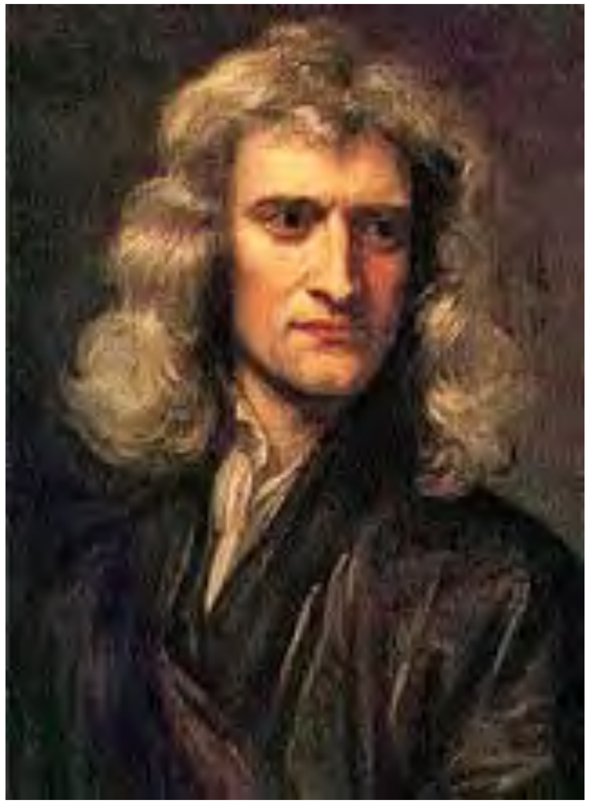
ニュートン

「月はどうして地球に落下しないのか？」

重力の正体は？

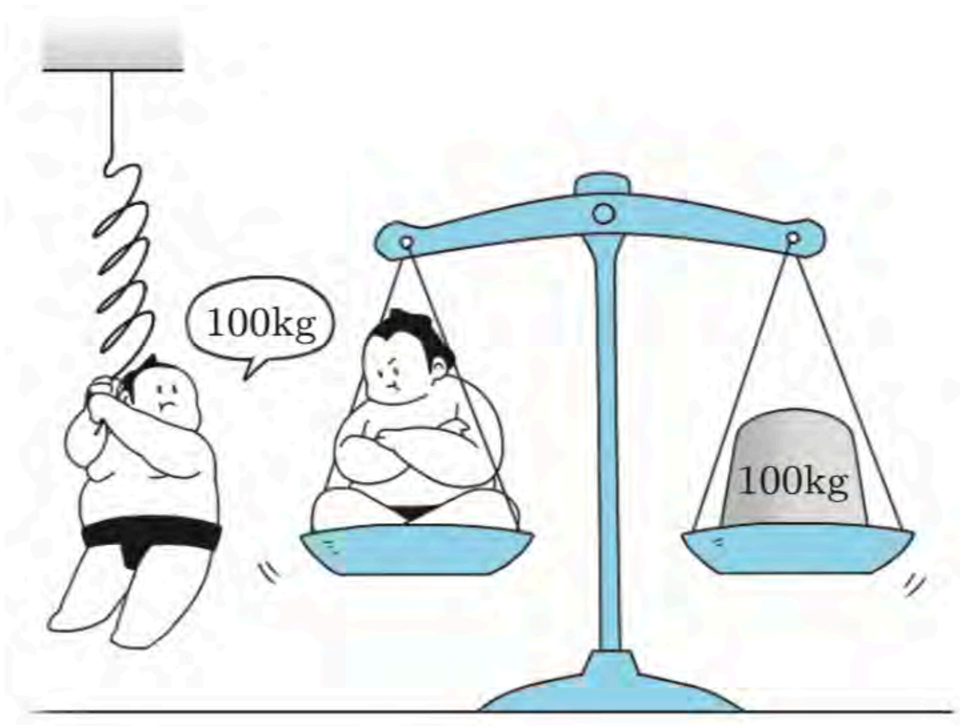
万有引力　$F = G\frac{Mm}{r^2}$

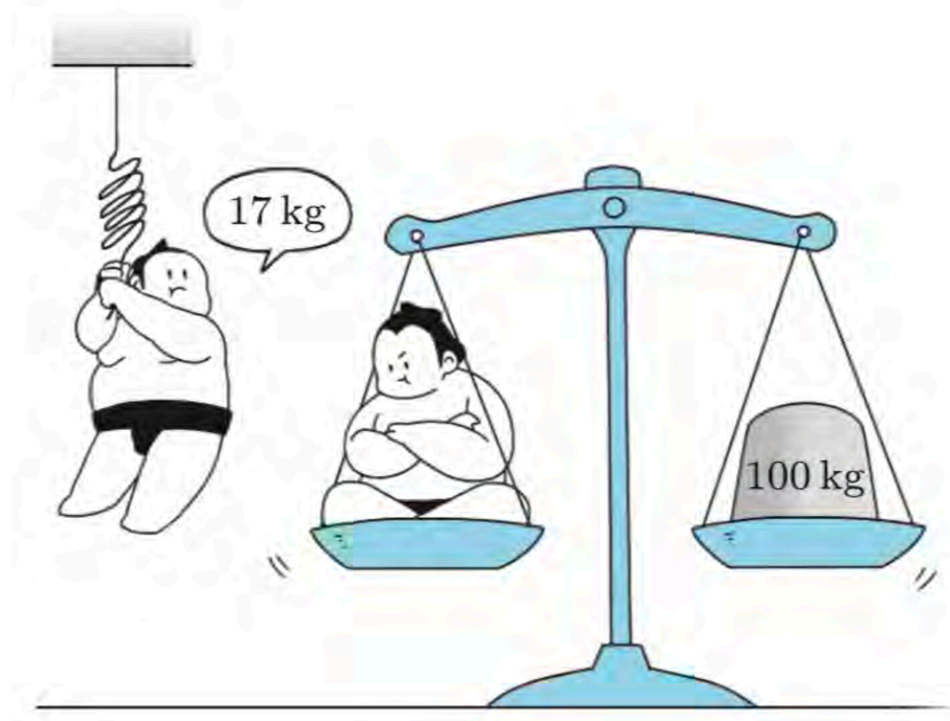
＝すべてのものは引力で引き合う

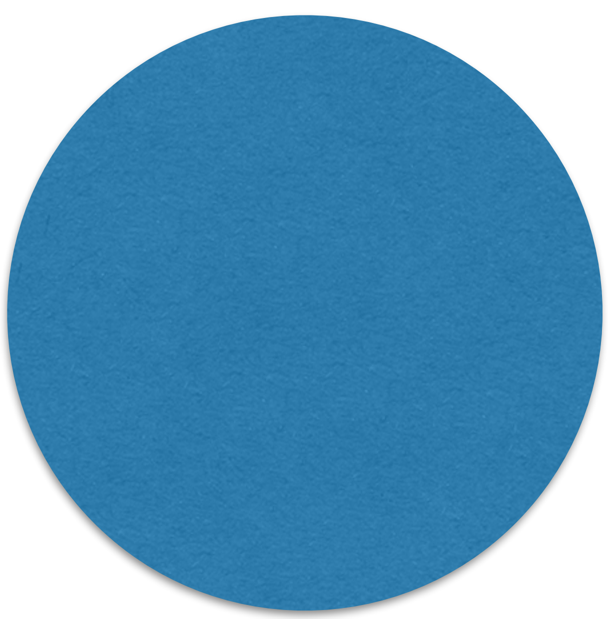


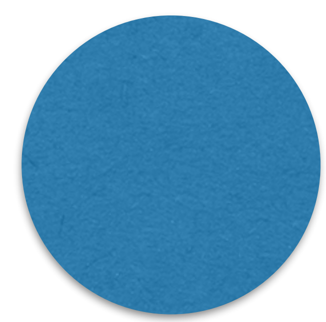
ニュートン

「月はどうして地球に落下しないのか？」







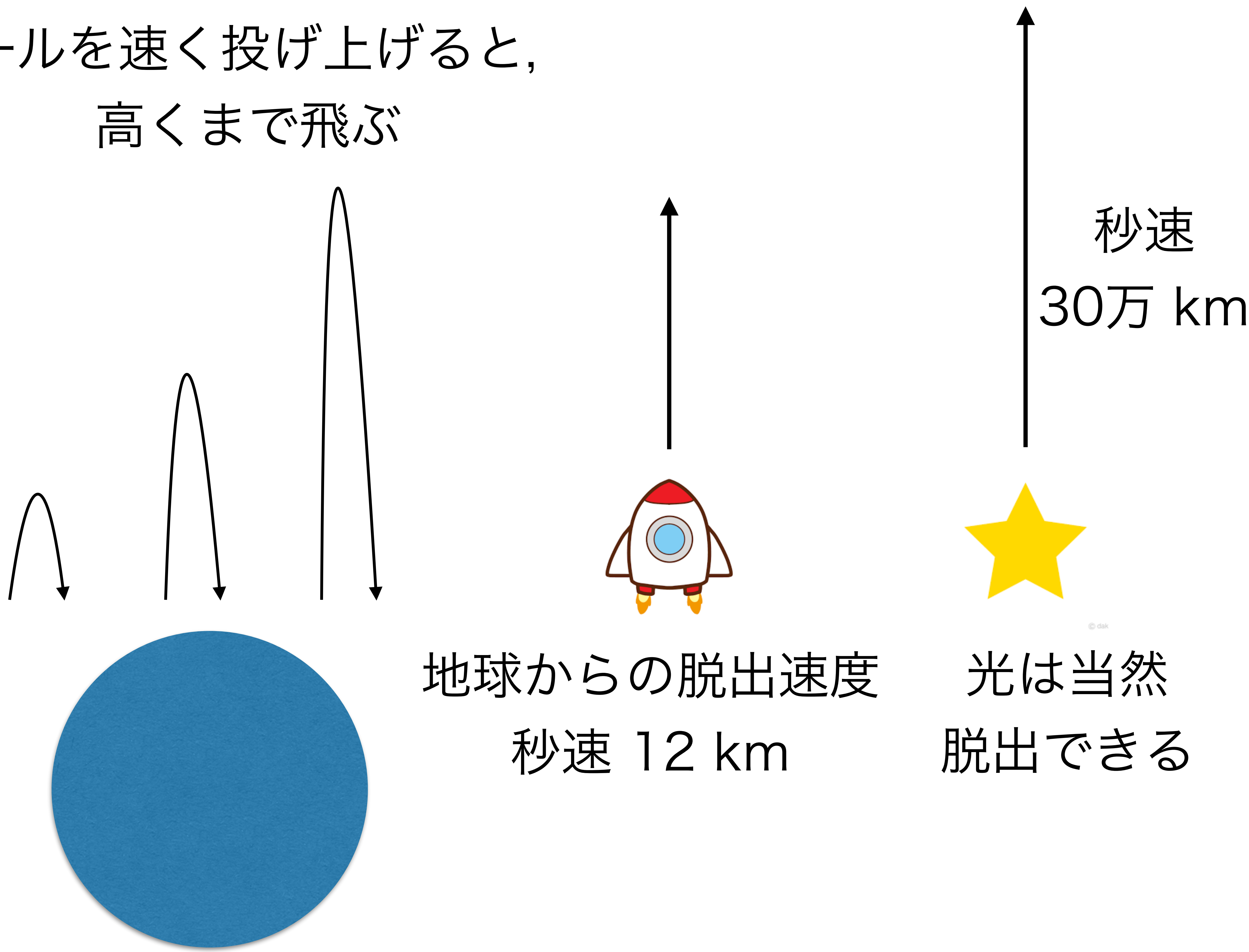


月では 17kg に

地球で100kgの体重は

木星では 250kg に

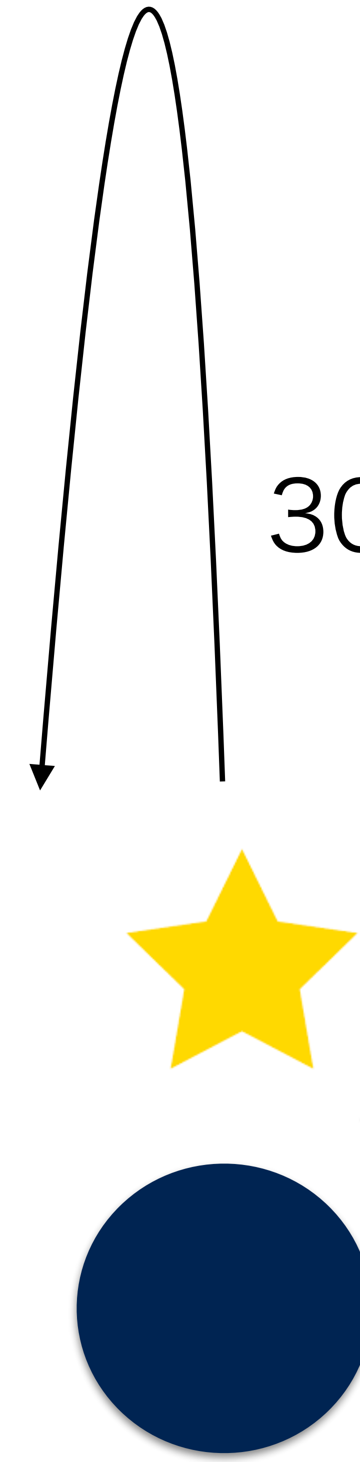
ボールを速く投げ上げると,
高くまで飛ぶ

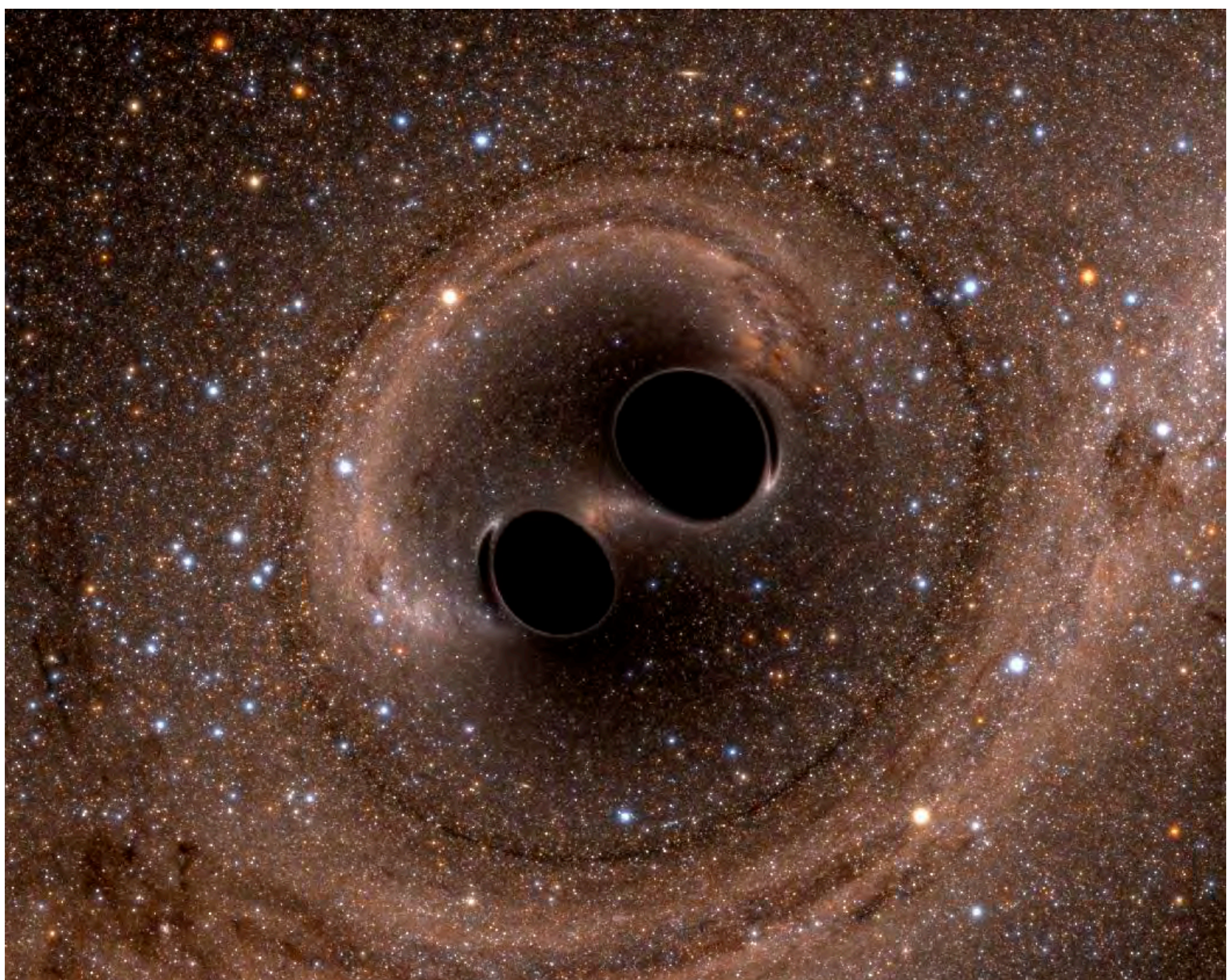


とてつもなく重くて小さな天体では

秒速
30万 km

光も
脱出できない





◀ブラックホール
（シミュレーション）

重力の正体は？

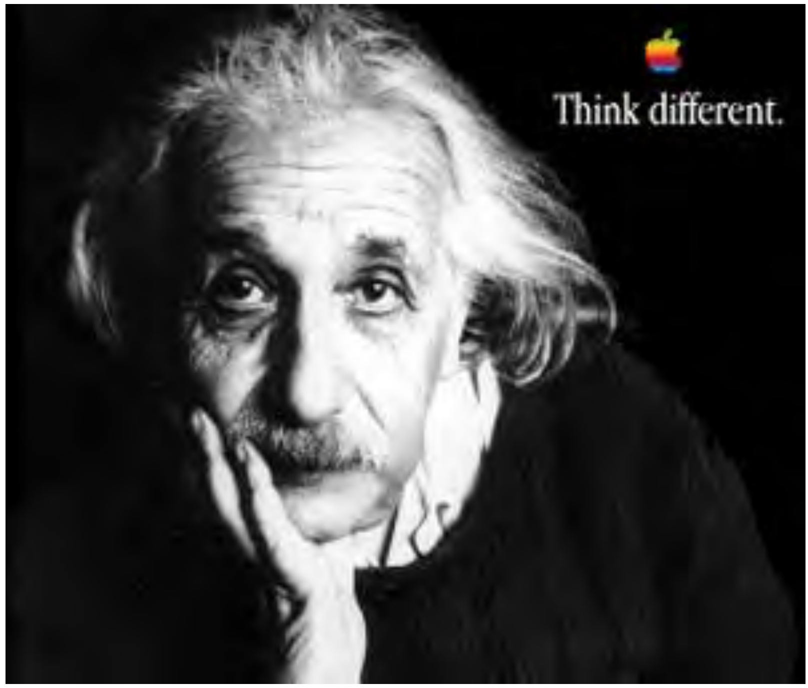
「万有引力があるからだ」（ニュートン , 1687）

$$F = G\frac{Mm}{r^2} \qquad m\frac{d^2x}{dt^2} = F$$

「時空のゆがみだ」

（アインシュタイン , 1915）

一般相対性理論



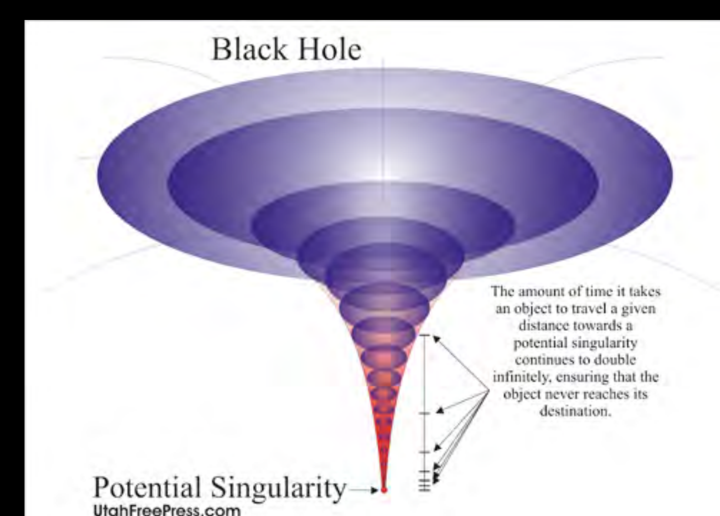
$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}Rg_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4}T_{\mu\nu}$$

$$\frac{d^2\xi^\mu}{d\tau^2} = R^\mu{}_{\nu\rho\sigma}\frac{d\xi^\nu}{d\tau}\frac{d\xi^\rho}{d\tau}\xi^\sigma$$

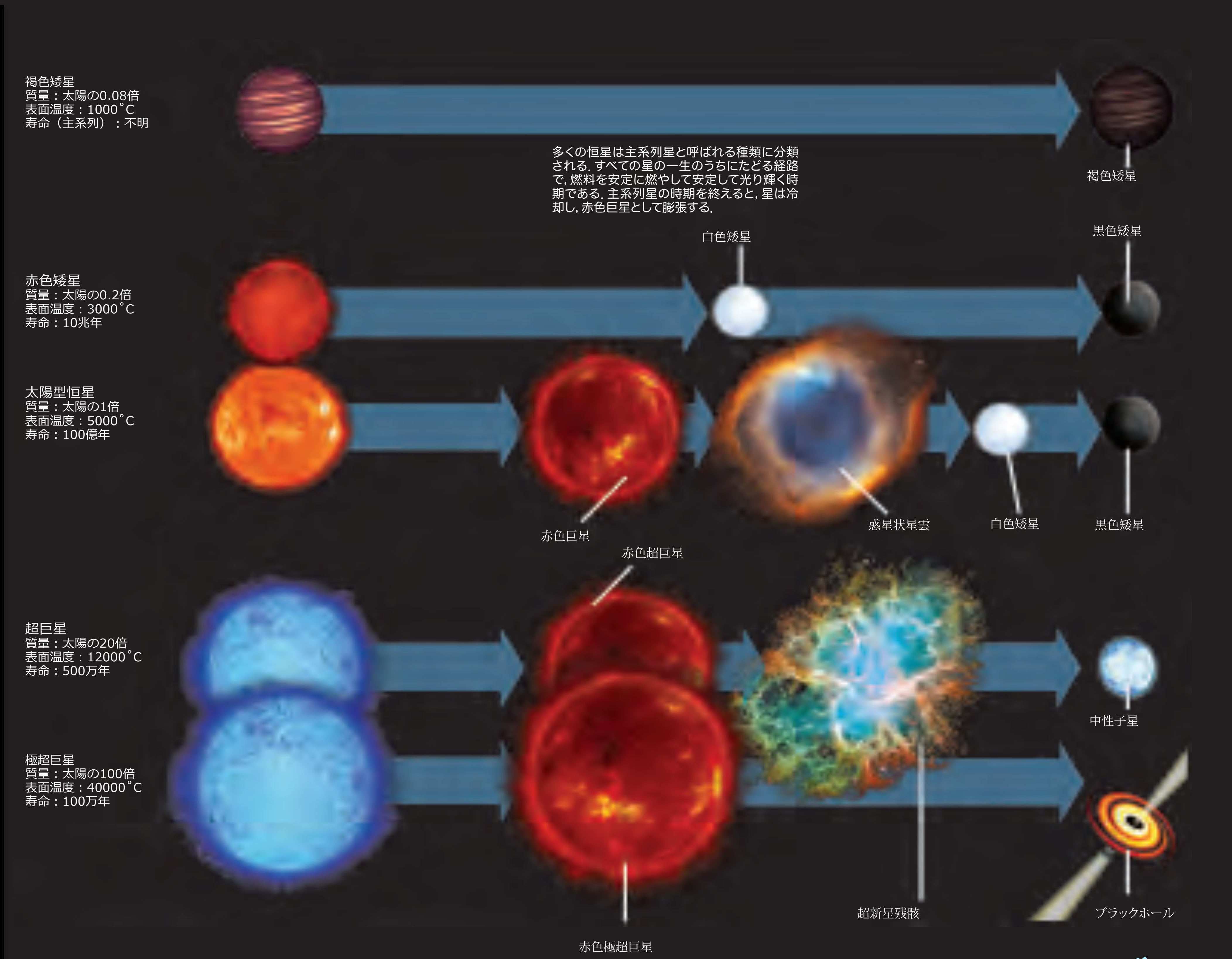

IT'S A RIPPLE IN THE FABRIC OF SPACE AND TIME.
IMAGINE THAT SPACE IS A GIANT SHEET OF RUBBER...
THINGS THAT HAVE MASS CAUSE THAT RUBBER SHEET TO BEND, LIKE A BOWLING BALL ON A TRAMPOLINE.
THE MORE MASS, THE MORE THAT SPACE GETS BENT AND DISTORTED BY GRAVITY.
JORGE CHAM © 2016
FOR EXAMPLE, THE REASON THE EARTH GOES AROUND THE SUN IS THAT THE SUN IS VERY MASSIVE, CAUSING A BIG DISTORTION OF THE SPACE AROUND IT.
IF YOU JUST TRY TO MOVE IN A STRAIGHT LINE AROUND SUCH A BIG DISTORTION, YOU WILL FIND YOURSELF ACTUALLY MOVING IN A CIRCLE.
THAT'S HOW ORBITS WORK: THERE'S NO ACTUAL FORCE PULLING THE PLANETS AROUND, JUST A BENDING OF THE SPACE.


FailsShot


Subscribe


Black Hole
The amount of time it takes an object to travel a given distance towards a potential singularity continues to double infinitely, ensuring that the object never reaches its destination.
Potential Singularity
UtahFreePress.com

重い星が燃え尽きると　中性子星やブラックホールに



白色矮星

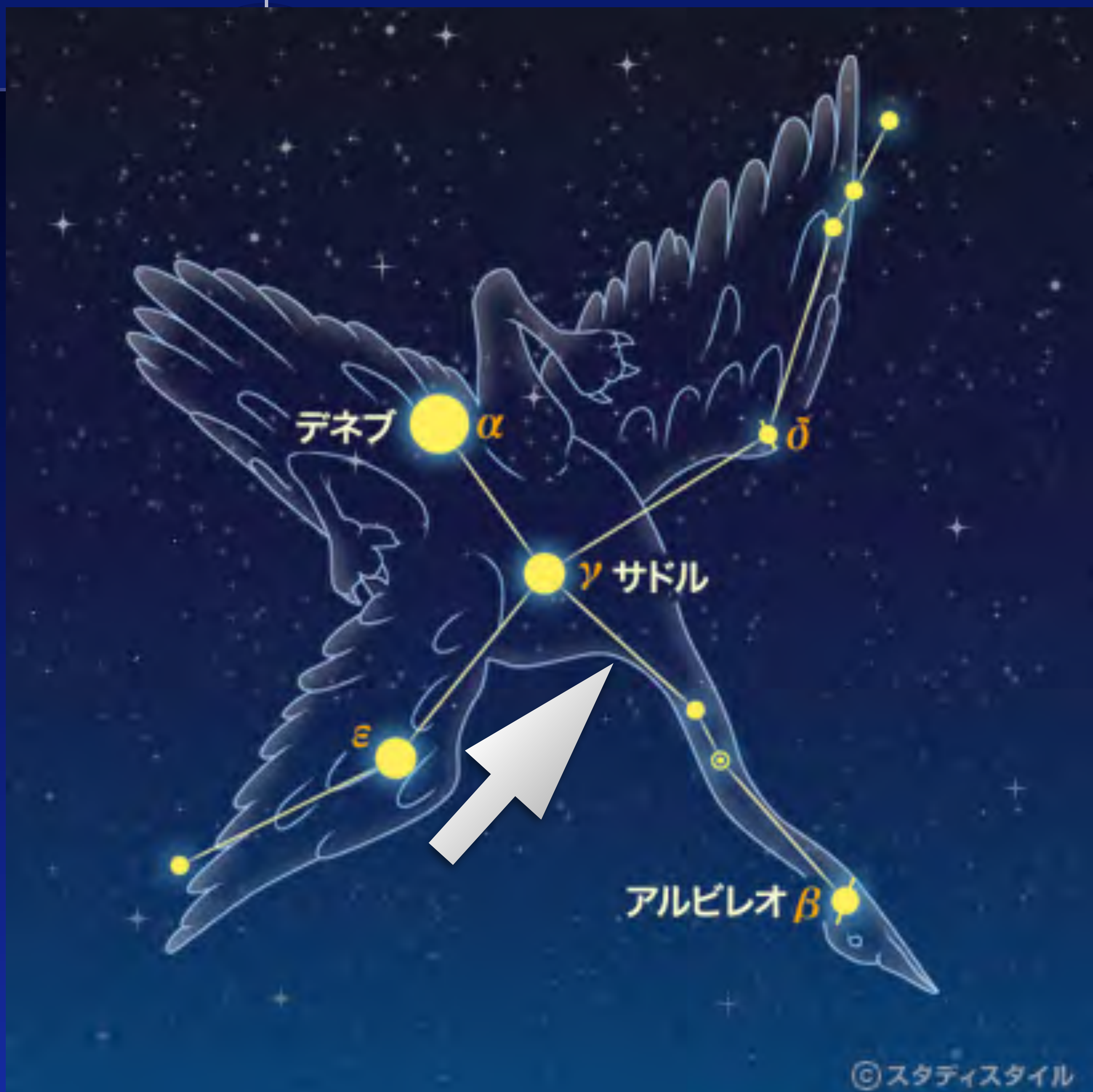
$\leq 1.4 M_\odot$

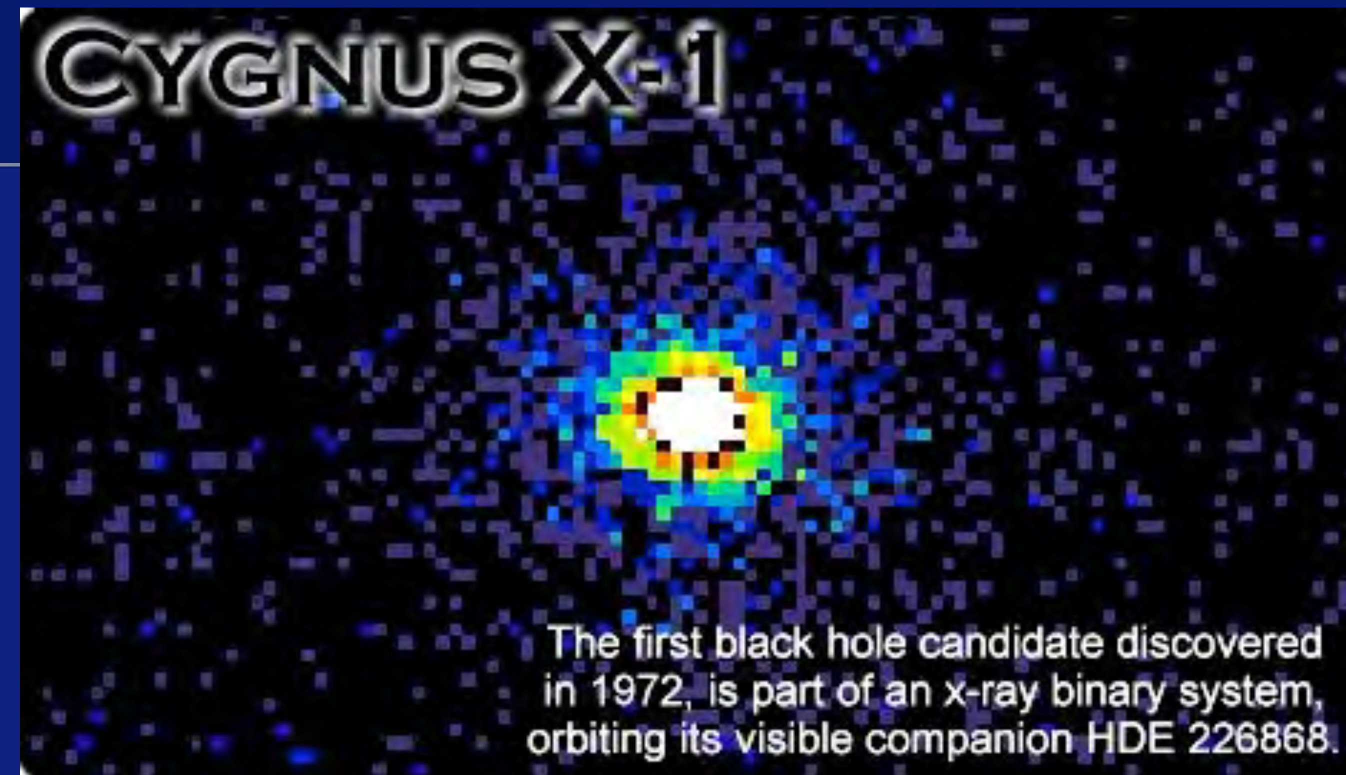
中性子星

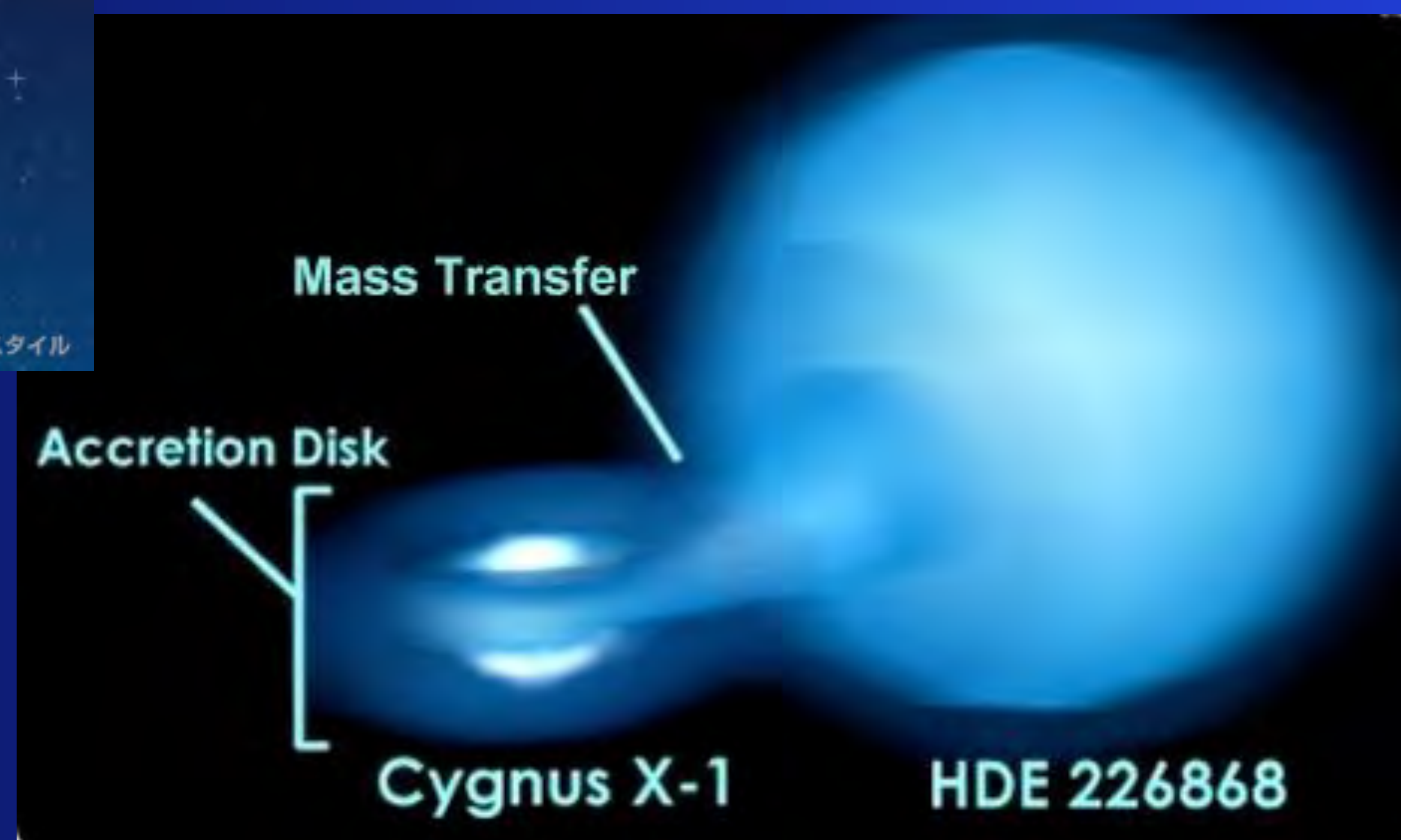
$\leq 2.4 M_\odot$

ブラックホール

はくちょう座 X-1はブラックホール



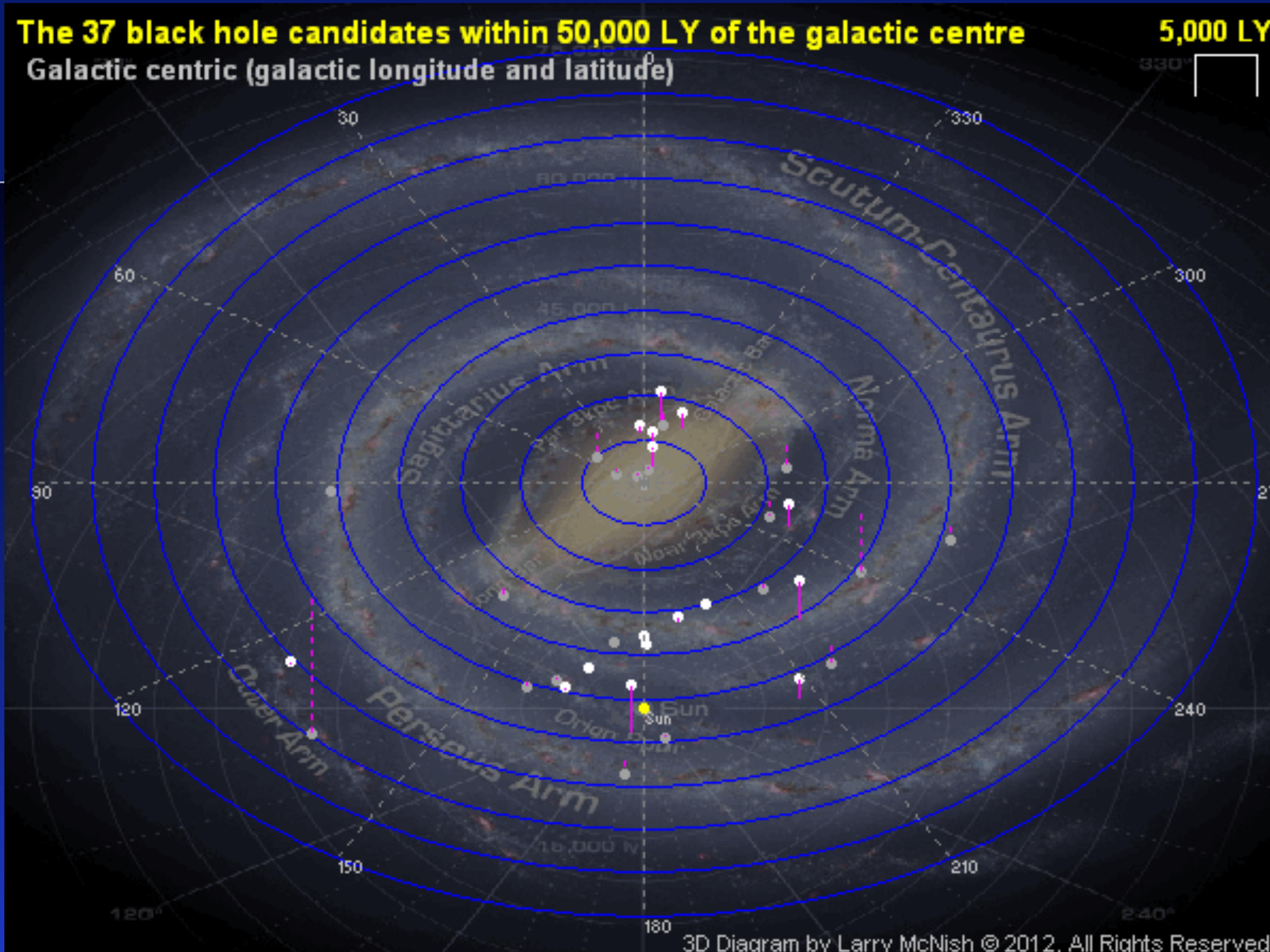




6000光年先

天の河銀河 (Milky Way)

http://shop.nationalgeographic.com/ngs/product/maps/wall-maps/space-maps/the-milky-way-map%2C-laminated
http://ernstgraphics.wordpress.com/page/2/

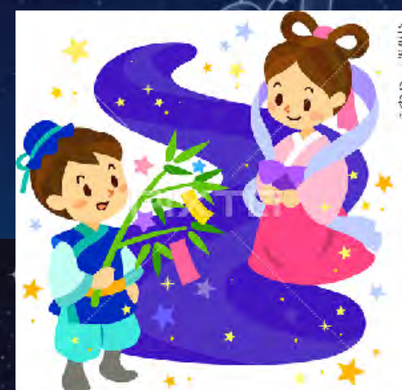


http://calgary.rasc.ca/blackholes.htm

はくちょう座

こと座

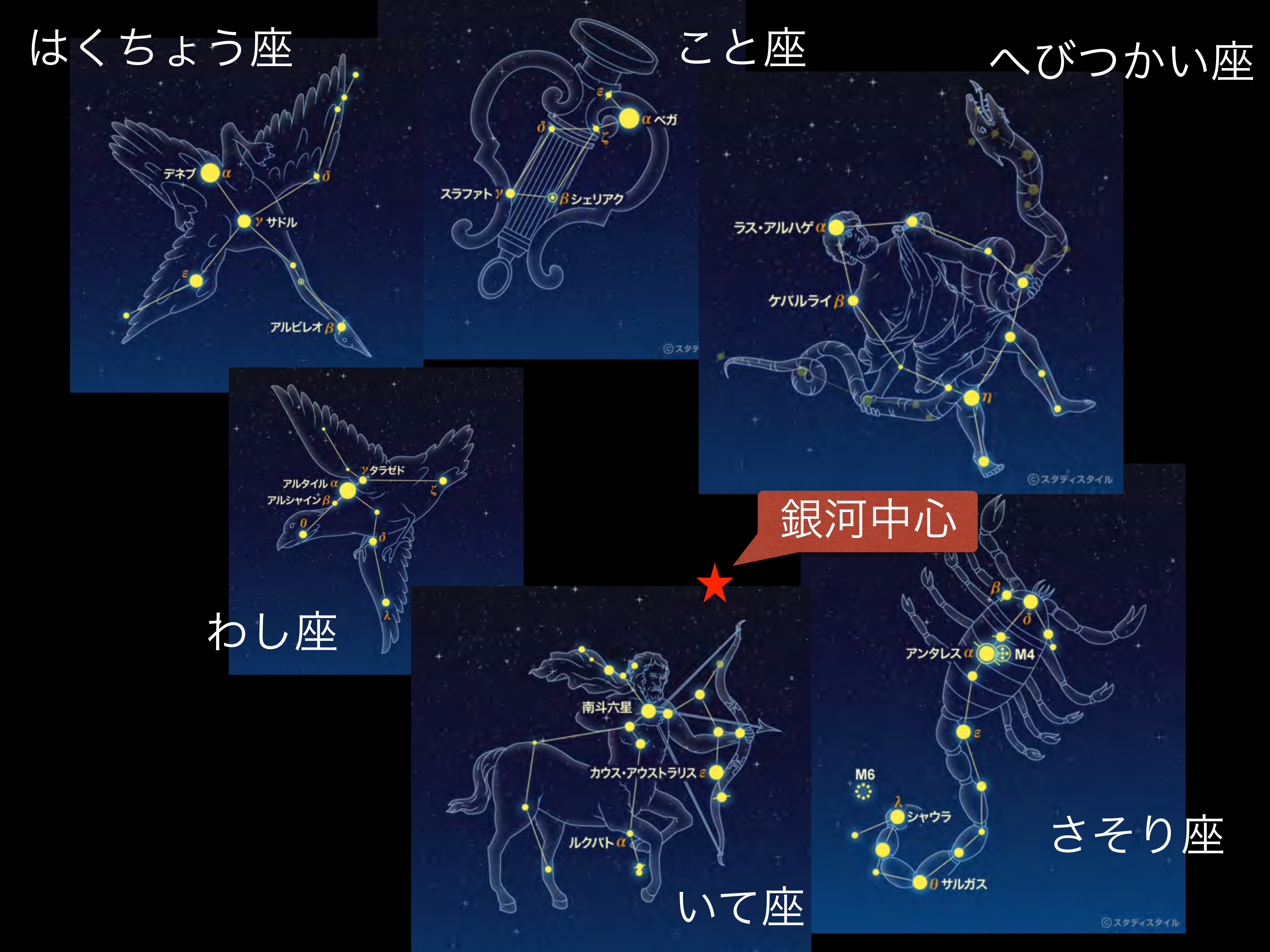
へびつかい座



わし座

いて座

さそり座



はくちょう座
デネブ α
δ
γ サドル
ε
アルビレオ β
こと座
ε
α ベガ
δ
ζ
スラファト γ
β シェリアク
へびつかい座
ラス・アルハゲ α
ケバルライ β
η
©スタディスタイル
わし座
γ タラゼド
アルタイル α
アルシャイン β
θ
δ
ζ
λ
銀河中心
いて座
南斗六星
カウス・アウストラリス ε
ルクバト α
さそり座
β
δ
アンタレス α
M4
ε
M6
λ
シャウラ
θ サルガス
©スタディスタイル

天の河銀河 (Milky Way)

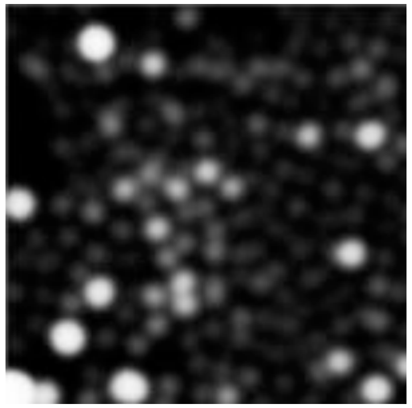
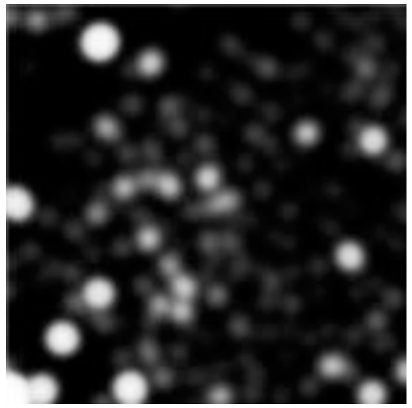
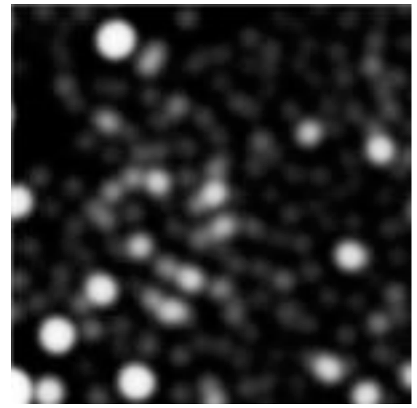
http://shop.nationalgeographic.com/ngs/product/maps/wall-maps/space-maps/the-milky-way-map%2C-laminated
http://ernstgraphics.wordpress.com/page/2/

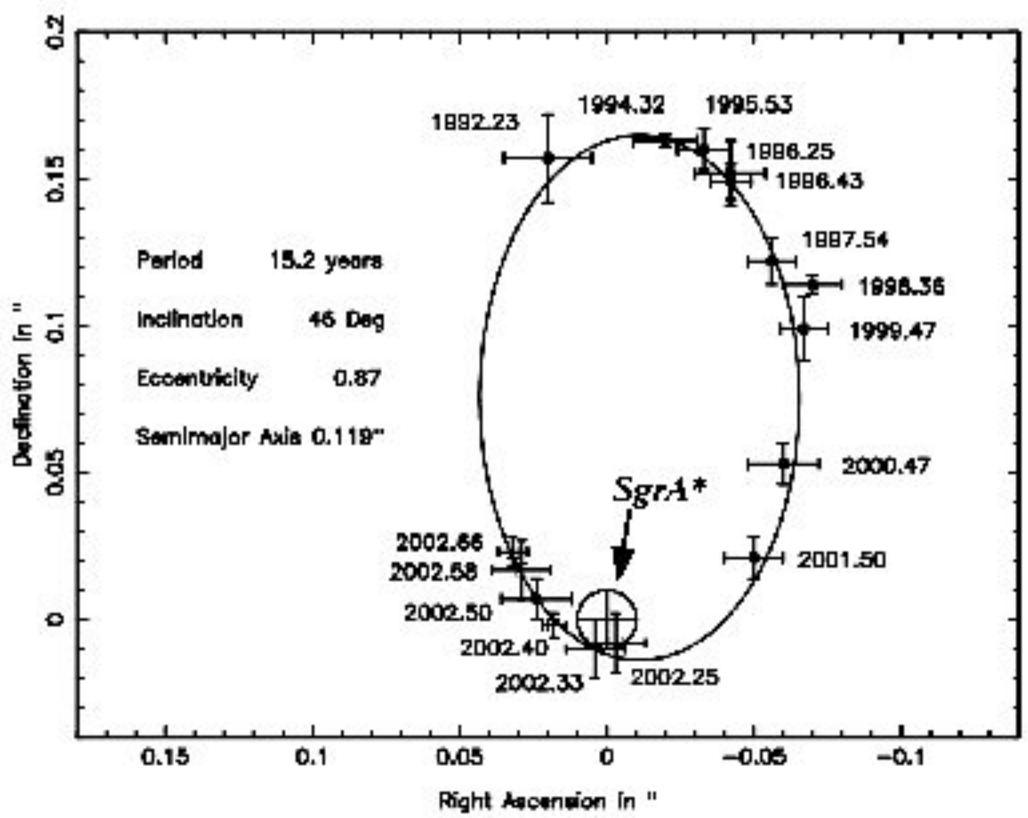
銀河中心へ向かって ズームイン

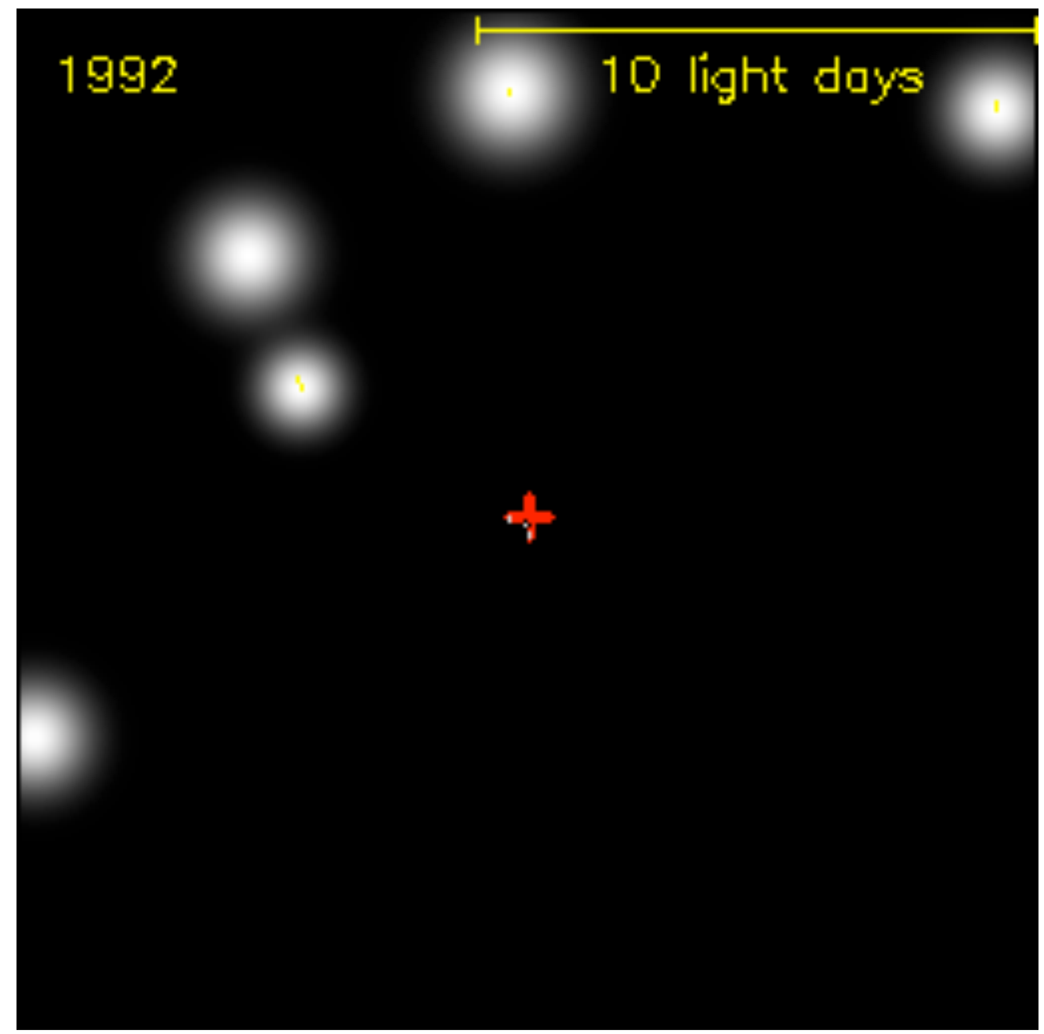
Zooming in on the centre of the Milky Way

http://www.youtube.com/watch?v=XhHUNvEKUY8 (1:15)

銀河中心 SgrA* の近くの星 S2 の動き

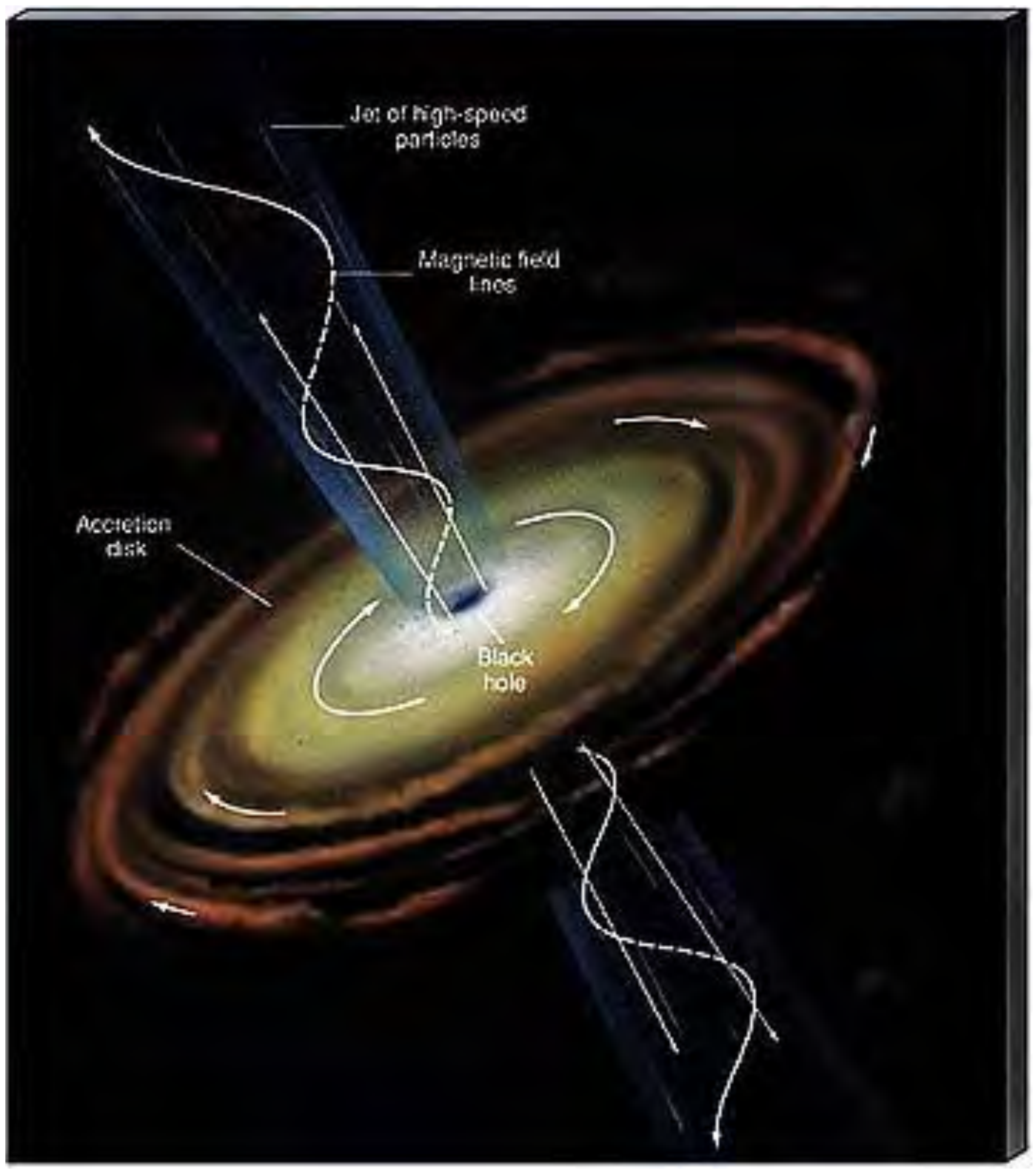





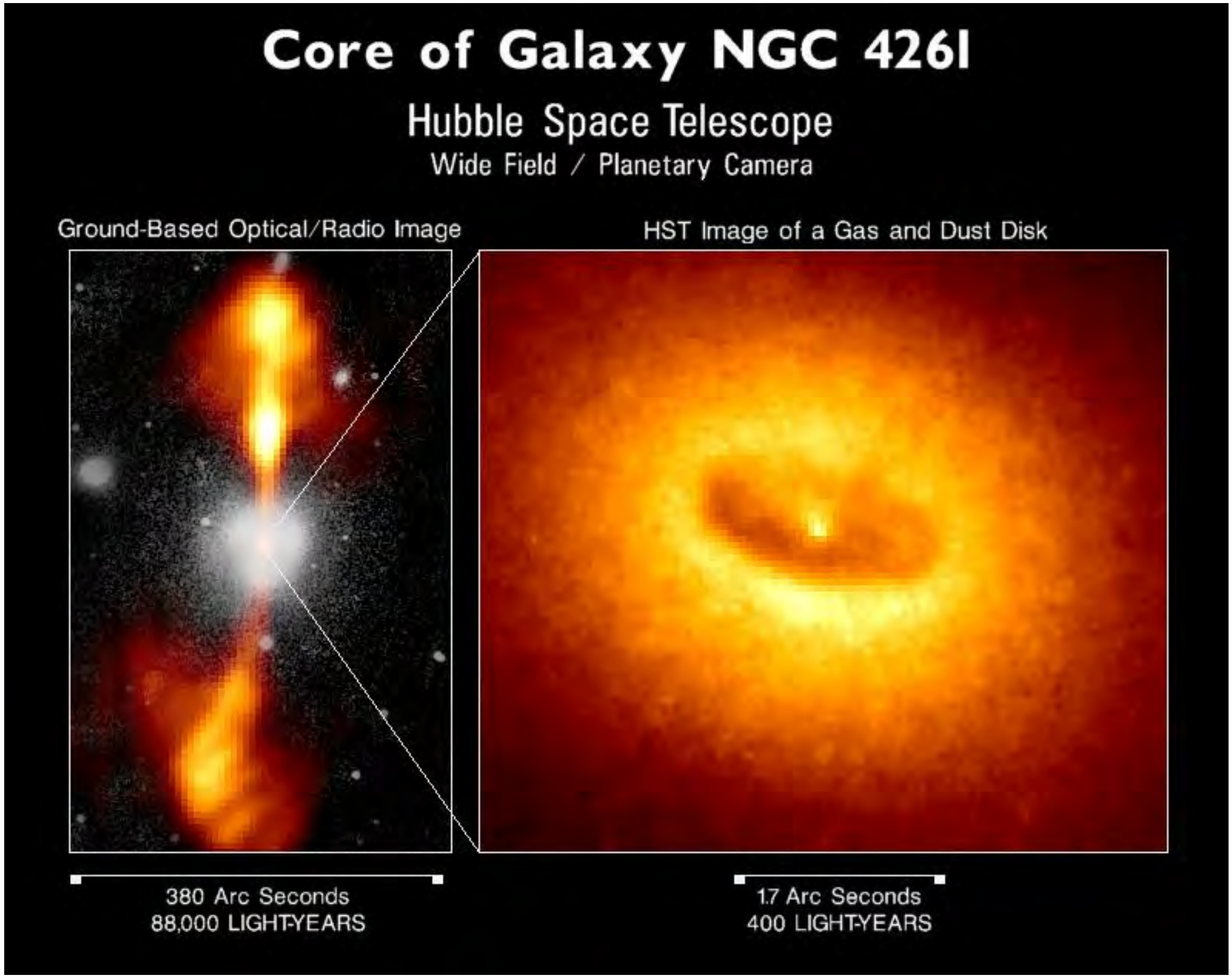
我々の銀河中心には,
太陽の420万倍の質量の
ブラックホール！

http://www.extinctionshift.com/SignificantFindings08.htm
http://www.brighthub.com/science/space/articles/13435.aspx#

活動銀河核 (AGN, active galactic nuclei)



http://www2.astro.psu.edu/users/rbc/a1/lec26n.html　想像図



銀河中心からジェットが吹き出す

今日の話の内容

1．ブラックホールとは？

★何でも吸い込む．光も脱出できない重い星

★大きな恒星が燃え尽きた最後の姿

★アインシュタインの相対性理論が予言

★天文学では「明るい天体」（エネルギー源）

今日の話の内容

1．ブラックホールとは？

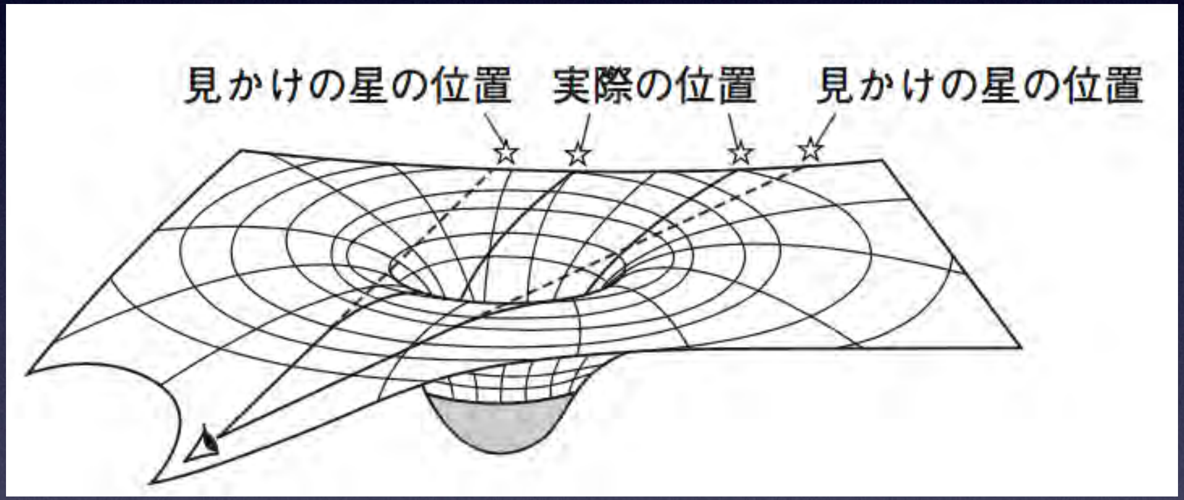
2．見えないはずでは？

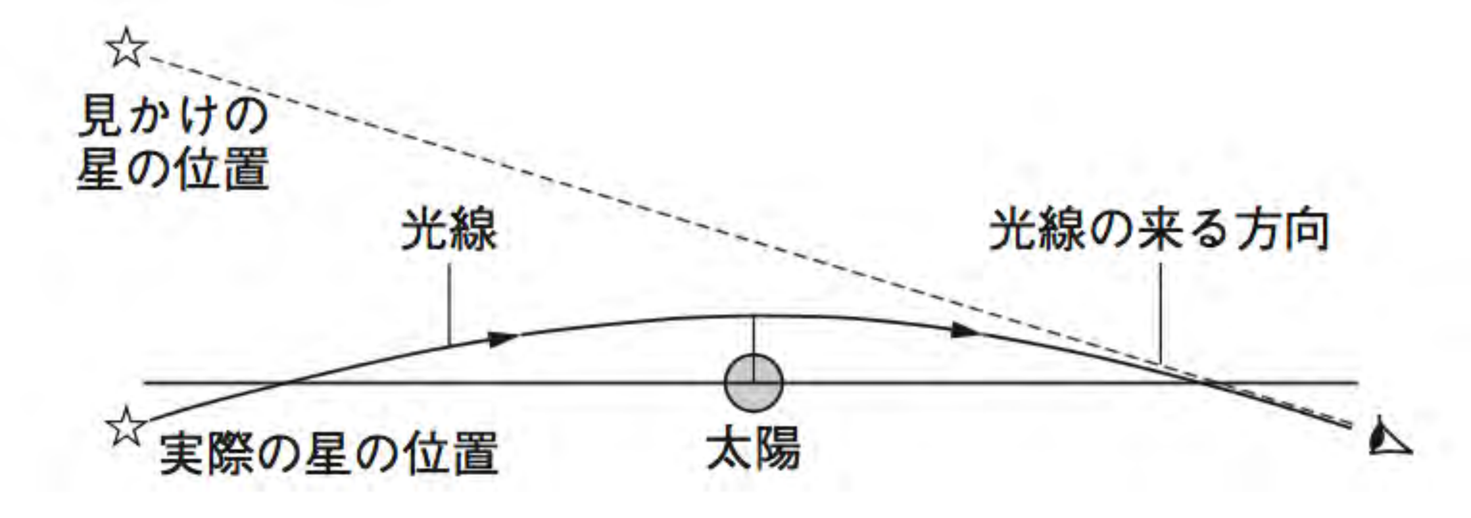
★ まわりのガスや天体の動きから
ブラックホールの存在がわかる！

★ブラックホールの近くでは光も曲がって進む
（重力レンズ）

一般相対性理論の予言【光の曲がり】

光は時空を直進するが，重い天体の周りでは，
時空の歪みにより，曲がって進むことになる．





1919年，エディントンが，
皆既日食を利用して，光の
曲がりを確認（0.875秒角）

Taken from the 22 November 1919 edition of the Illustrated London News.

Coverage in the (more excitable) New York Times.

LIGHTS ALL ASKEW IN THE HEAVENS

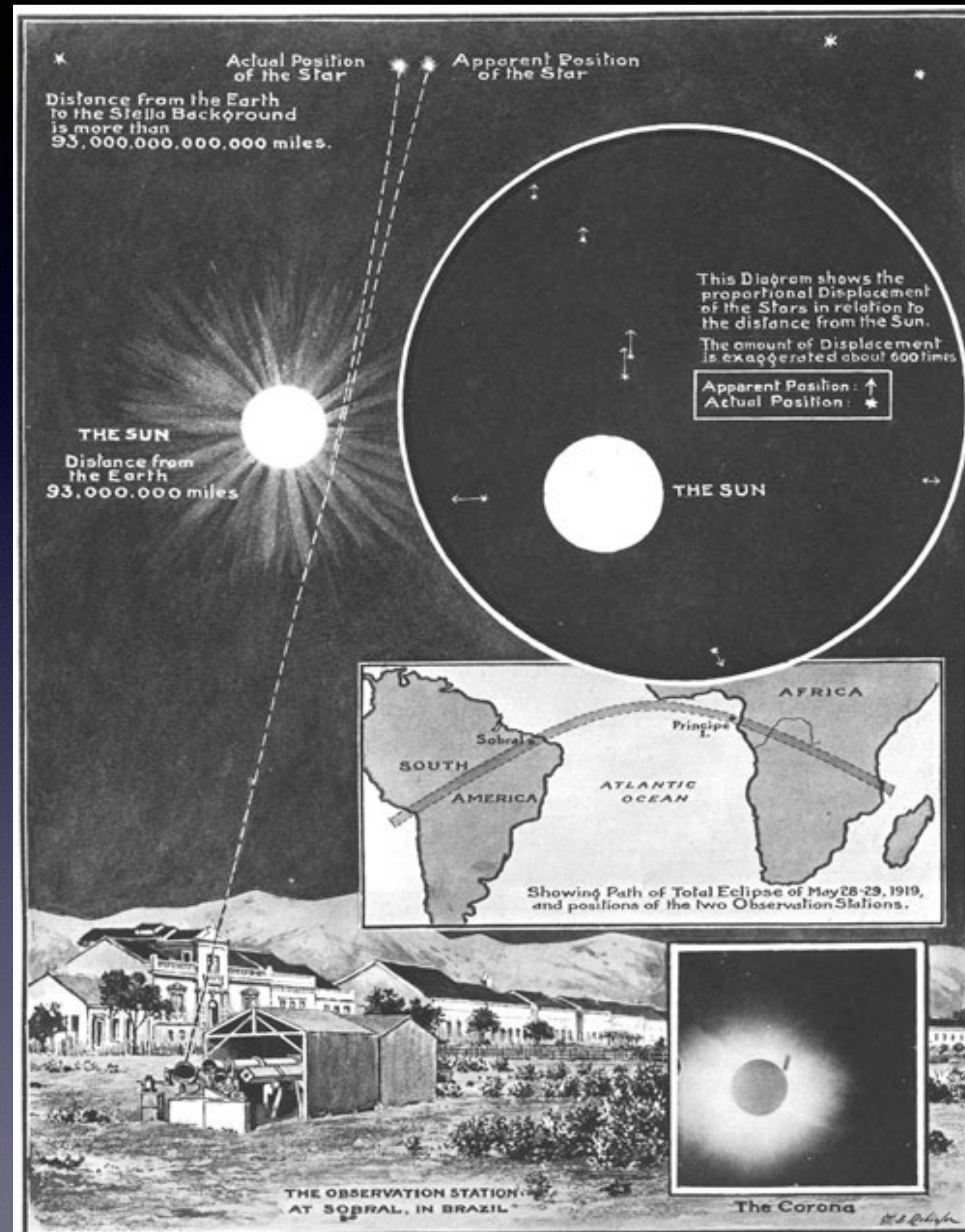
Men of Science More or Less Agog Over Results of Eclipse Observations.

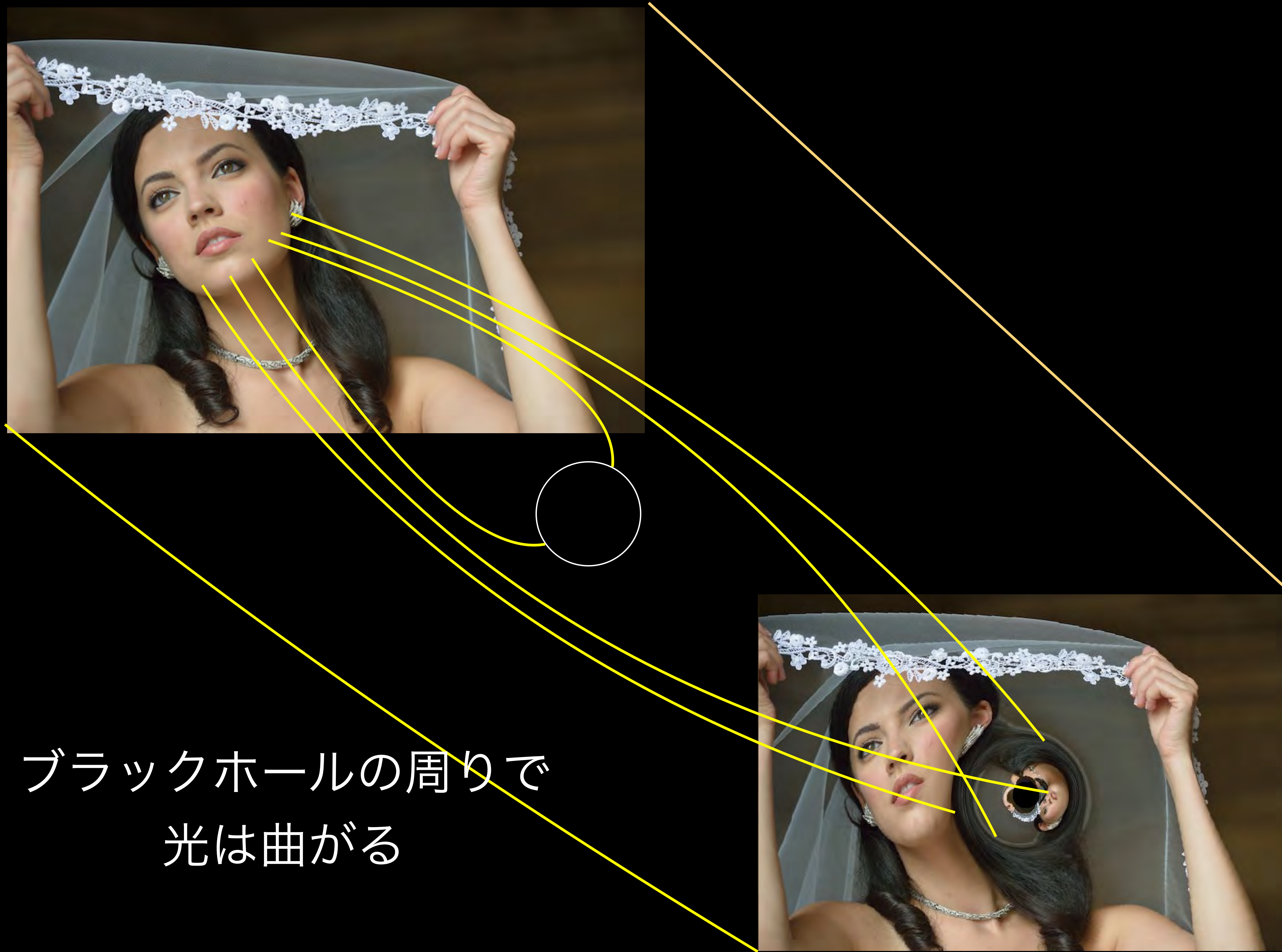
EINSTEIN THEORY TRIUMPHS

Stars Not Where They Seemed or Were Calculated to be, but Nobody Need Worry.

A BOOK FOR 12 WISE MEN

No More in All the World Could Comprehend It, Said Einstein When His Daring Publishers Accepted It.




ブラックホールの周りで
光は曲がる

大阪工業大学 元学長　井上正崇　名誉教授

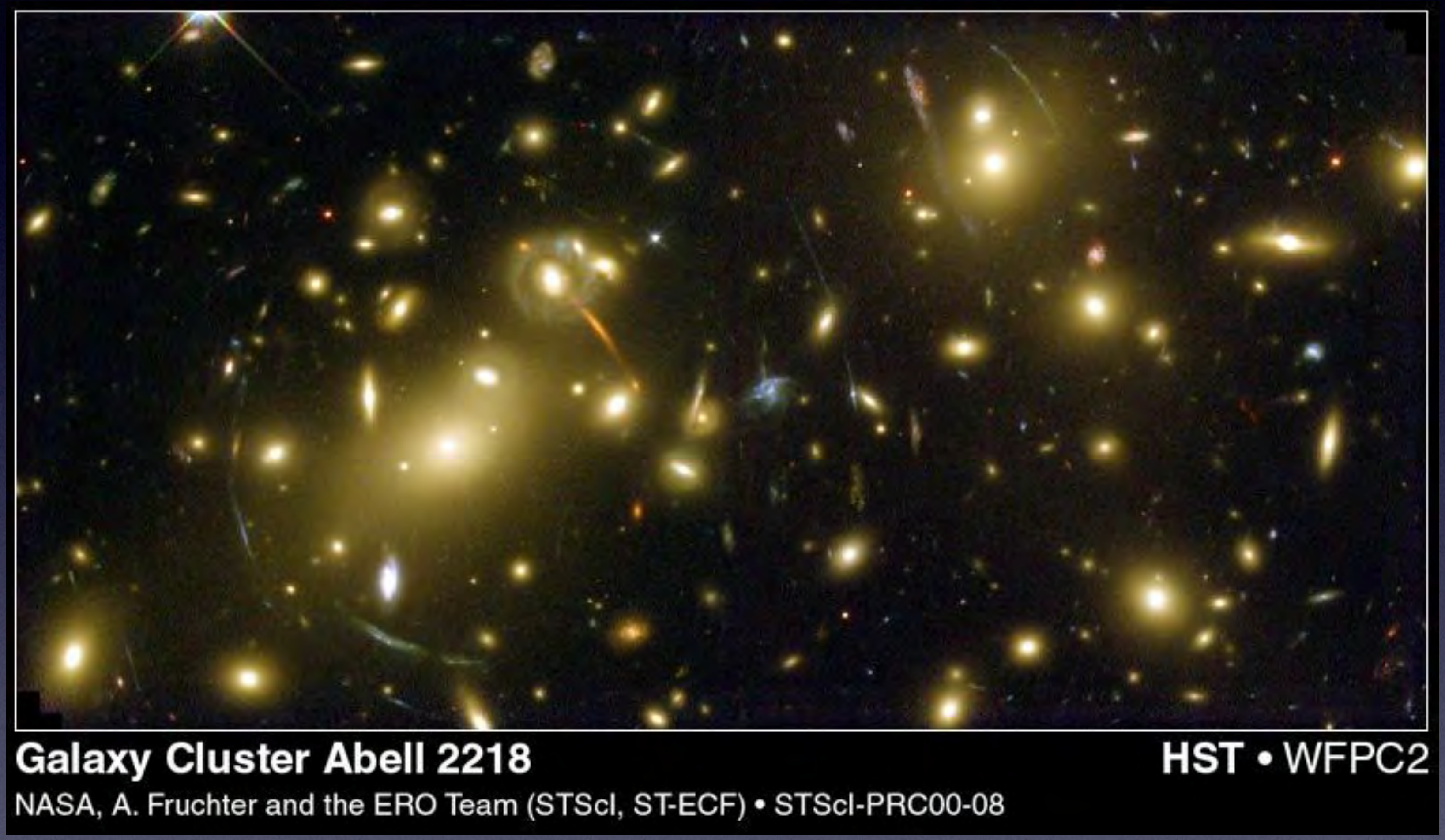
2015年８月　工学実感フェアにて撮影，重力レンズプログラムで画像処理

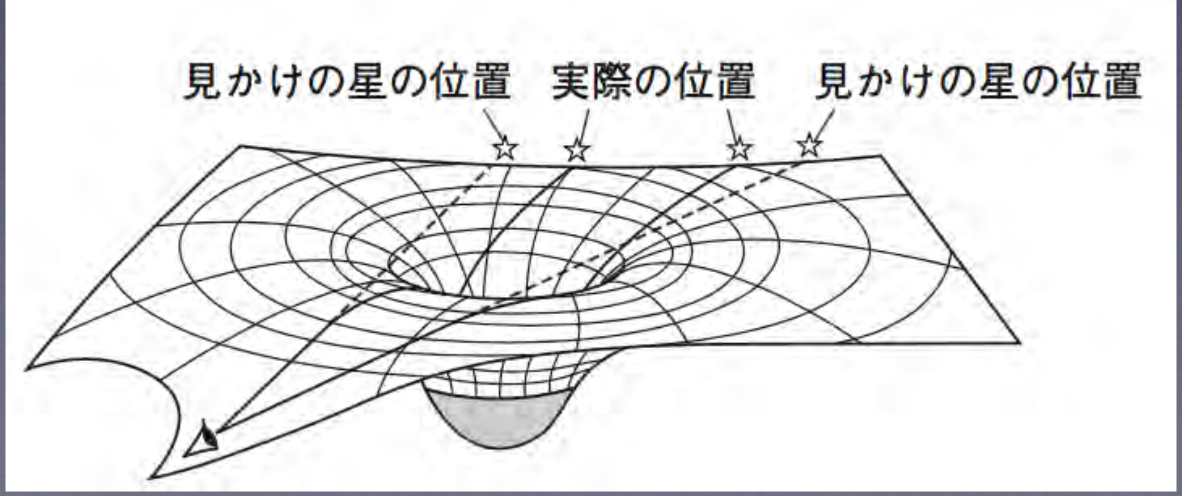
大阪工業大学 前学長　西村泰志 教授

2015年８月　工学実感フェアにて撮影，重力レンズプログラムで画像処理

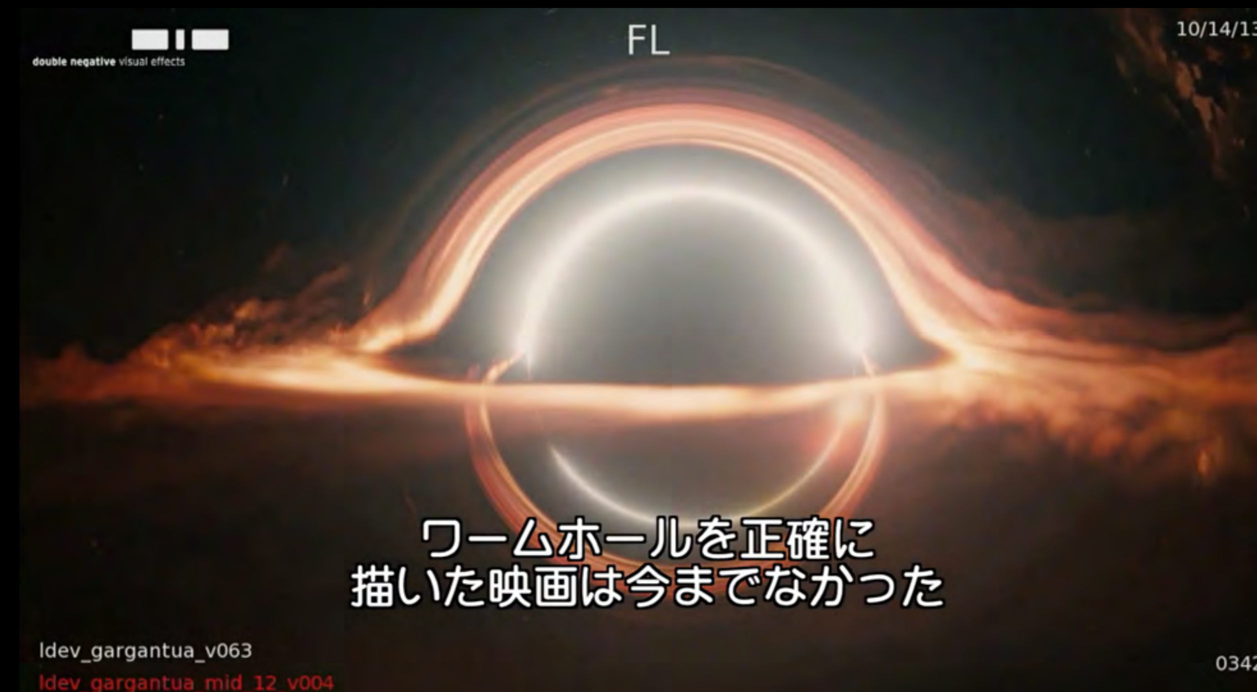
一般相対性理論の予言【光の曲がり】

重力レンズ





映画　インターステラー（2014）



映画　インターステラー（2014）

Interstellar (2014)

Executive Producer: Kip Thorne

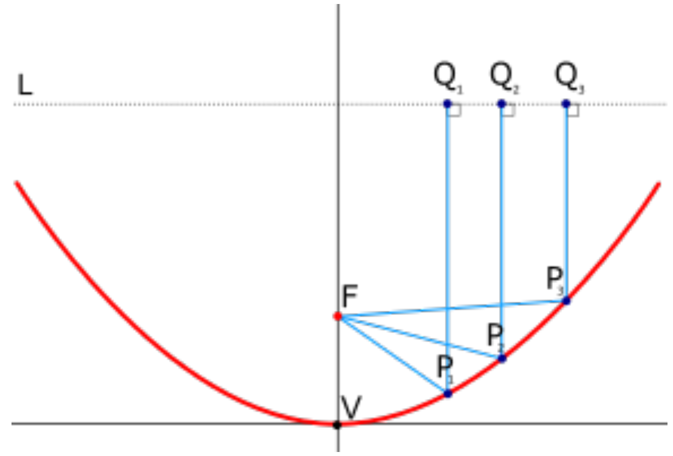
https://www.youtube.com/watch?v=qZZ9jRan9eo

2019年4月10日，国立天文台グループ「ブラックホールの直接撮像に初めて成功」

地球から5500万光年

https://alma-telescope.jp/news/press/eht-201904

パラボラ（parabolla）＝　放物線



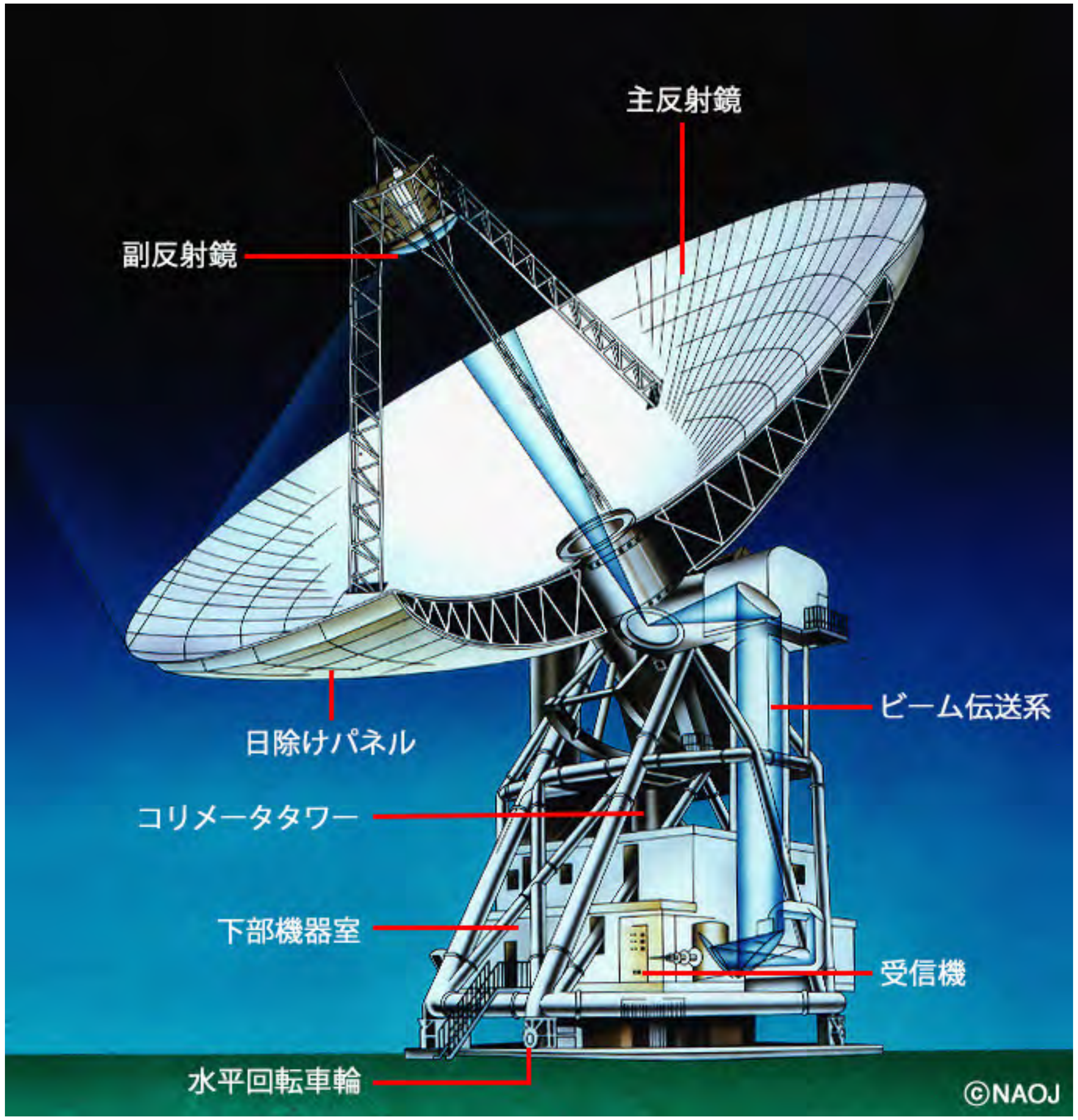
NHK「大科学実験」

みんなここに集まってくる

Click on Start, 3min

http://www2.nhk.or.jp/school/list/clip_freeword.cgi?kw=みんなここに集まってくる

電波望遠鏡　口径が大きいほど集光力高い，分解能高い



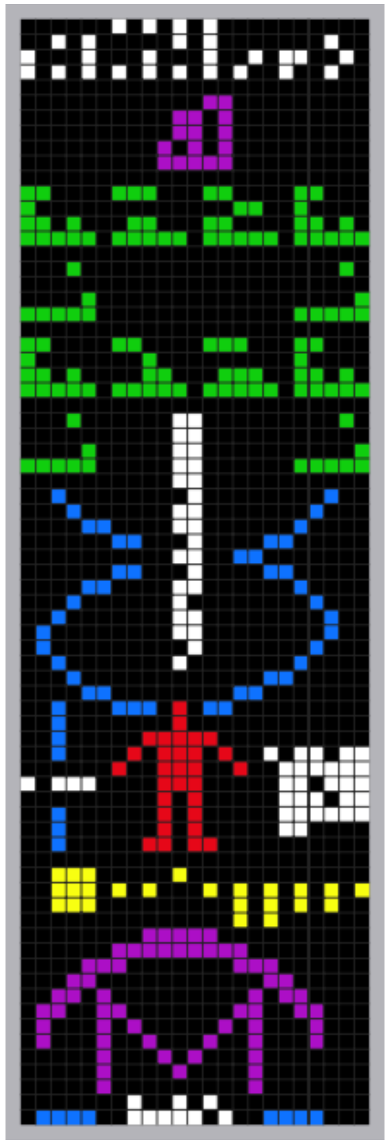
野辺山45m望遠鏡

分解能＝波長/口径

http://www.mitsubishielectric.co.jp/me/dspace/column/c1805_2.html

アレシボ電波望遠鏡　305メートル球面電波望遠鏡（1963ー）

（Arecibo Observatory，プエルトリコ）



1964　水星の自転周期55日の発見
1968　かにパルサー中心に中性子星発見
1974　連星中性子星発見
1989　小惑星カスタリア直接観測
1992　パルサーを公転する太陽系外惑星発見

アレシボ・メッセージ (1974)
SETI (1999ー)

中国「天眼（FAST）」 500メートル球面電波望遠鏡（2016ー）

（Five-hundred-meter Aperture Spherical radio Telescope: FAST）

中国南西部の貴州省，185億円，天頂から40度の範囲を観測可能，
１万人強制移住，半径５km以内携帯電話禁止

http://japanese.china.org.cn/business/txt/2016-07/04/content_38806293.htm

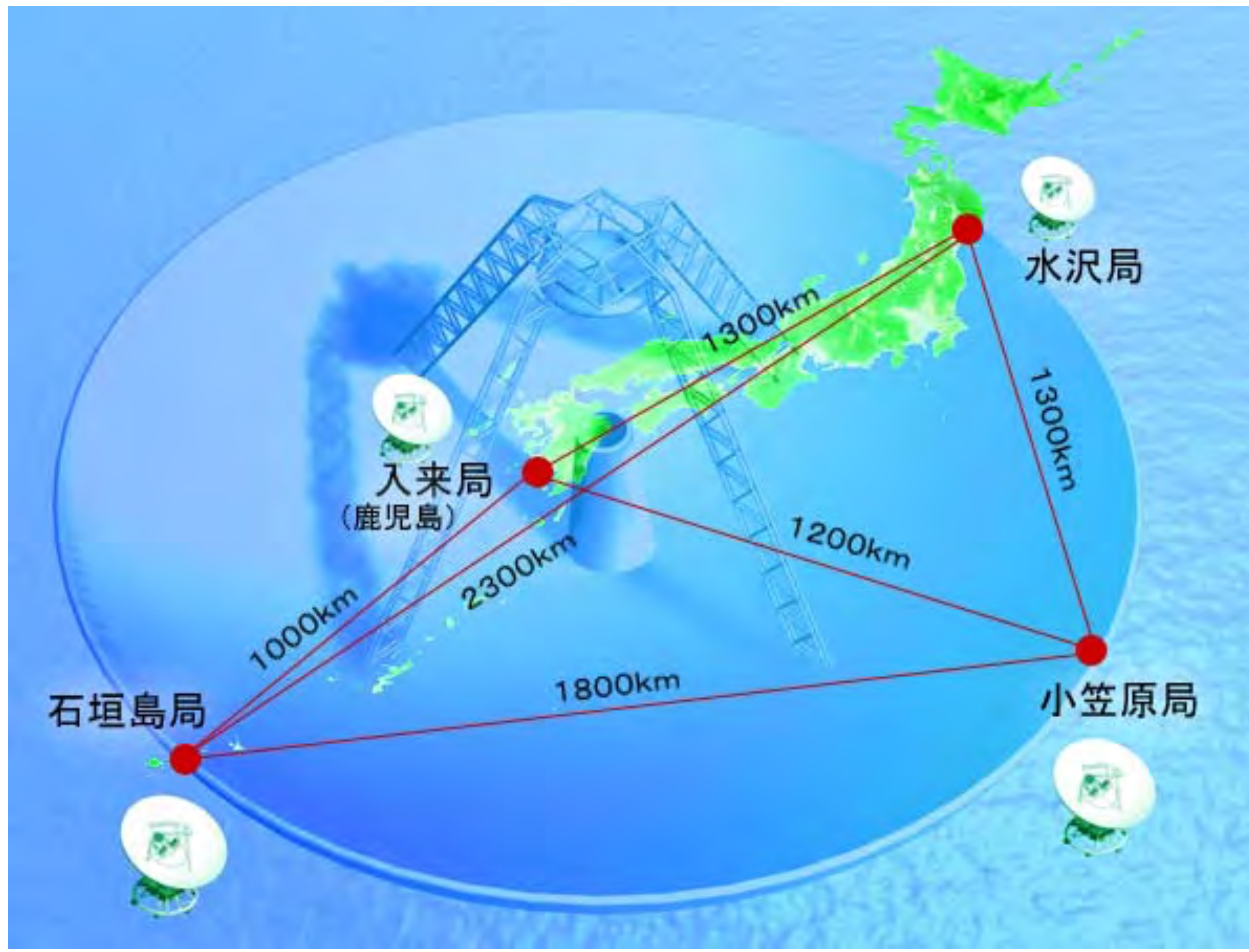
電波干渉計

NOBEYAMA

国立天文台 野辺山宇宙電波観測所

VLBI = Very Long Baseline Interferometer

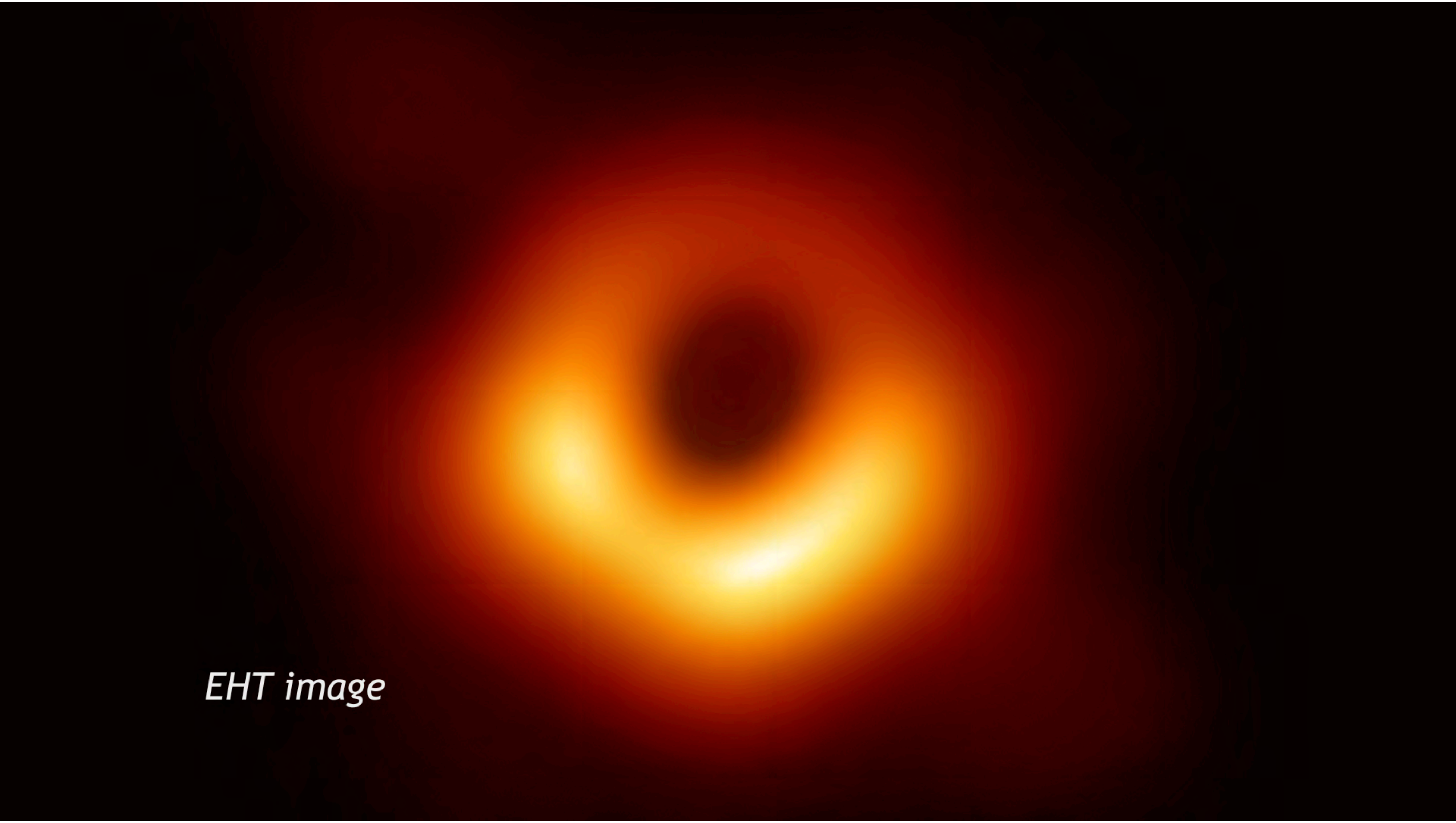
VERA = VLBI Exploration of Radio Astrometry



http://veraserver.mtk.nao.ac.jp/system/index.html

https://www.nao.ac.jp/news/science/2019/20190410-eht.html

ブラックホールシャドウのメカニズム解説映像



https://www.nao.ac.jp/news/sp/20190410-eht/videos.html 0’58”

太陽の25億倍の質量をもつブラックホール，5000万光年先のM87銀河中心

今日の話の内容

1．ブラックホールとは？

2．見えないはずでは？

★ まわりのガスや天体の動きから
ブラックホールの存在がわかる！

★ブラックホールの近くでは光も曲がって進む
（重力レンズ）

★ 見えたんです　(2019年4月)
まわりの光で黒い部分が見えた!!!

今日の話の内容

1．ブラックホールとは？

2．見えないはずでは？

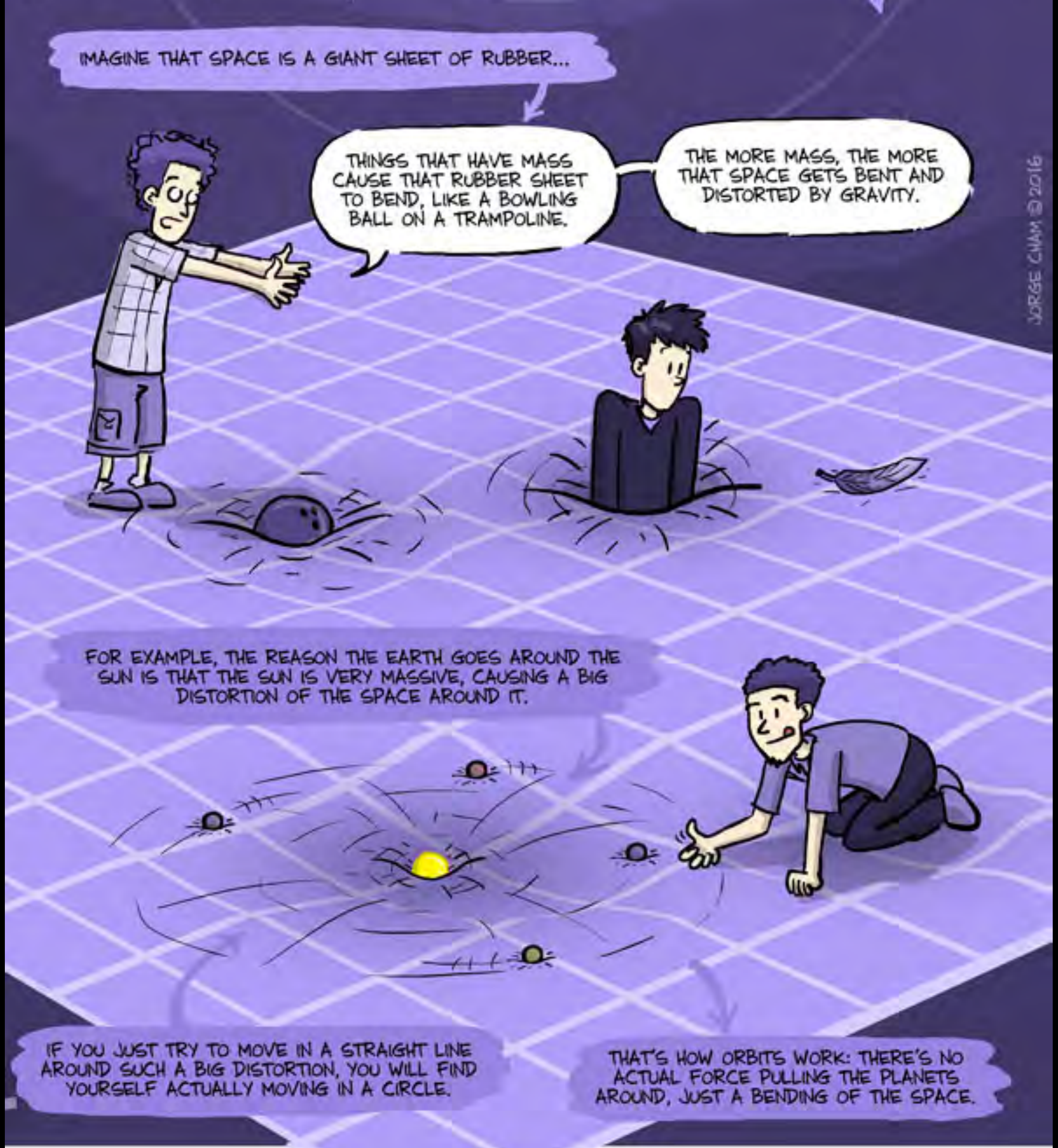
3．音も聞こえないはずでは？

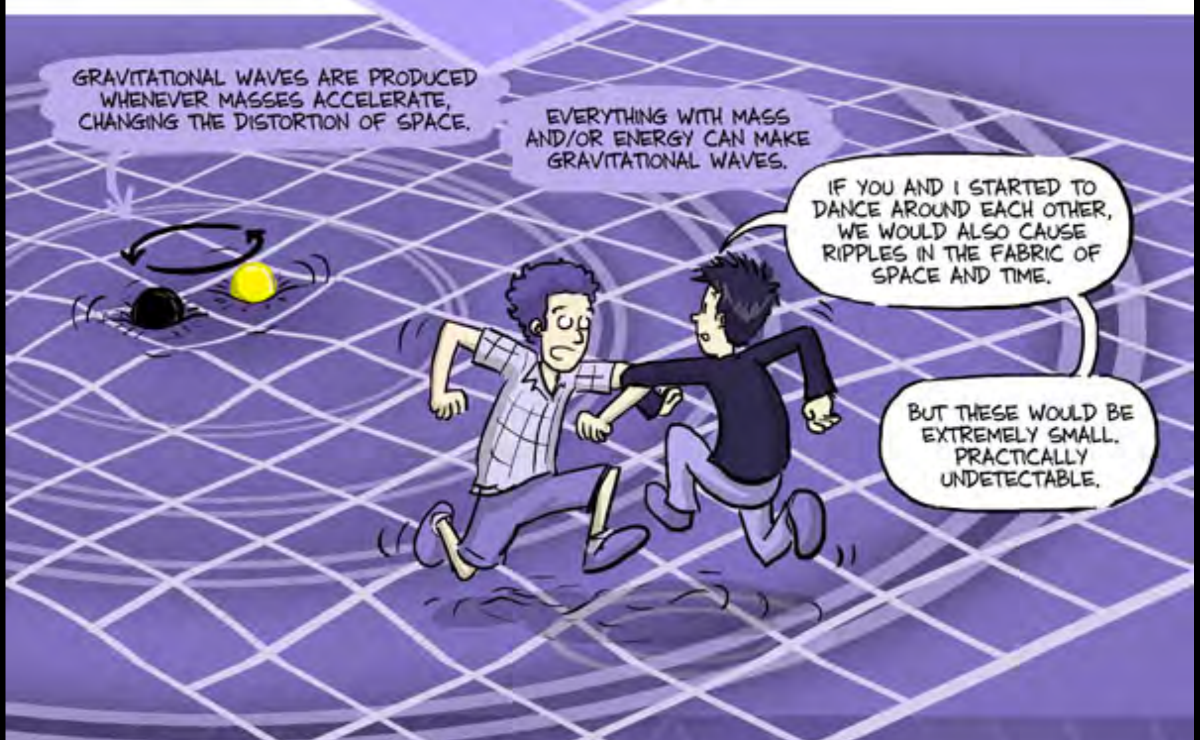
★ 重力波をつかまえた（2015年9月)

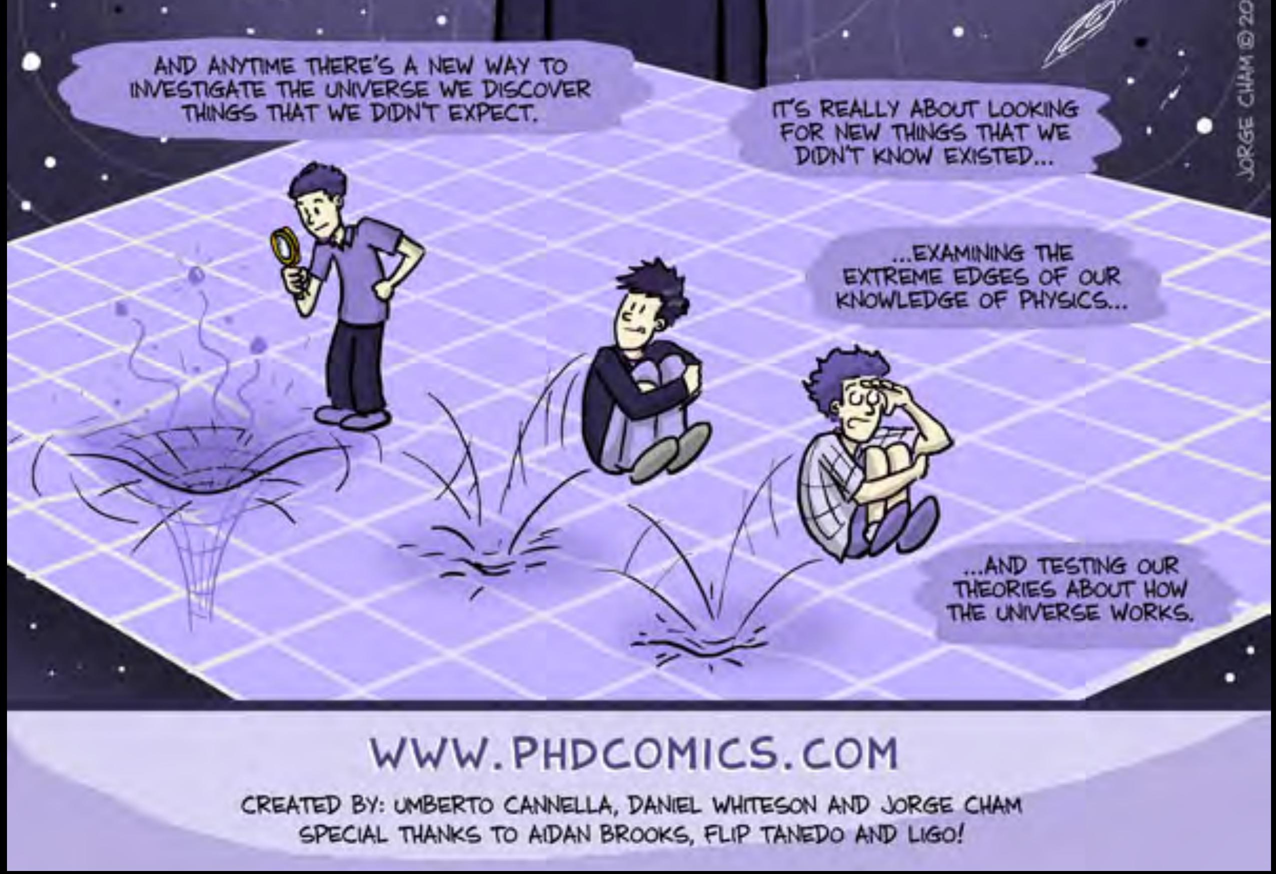
重力波

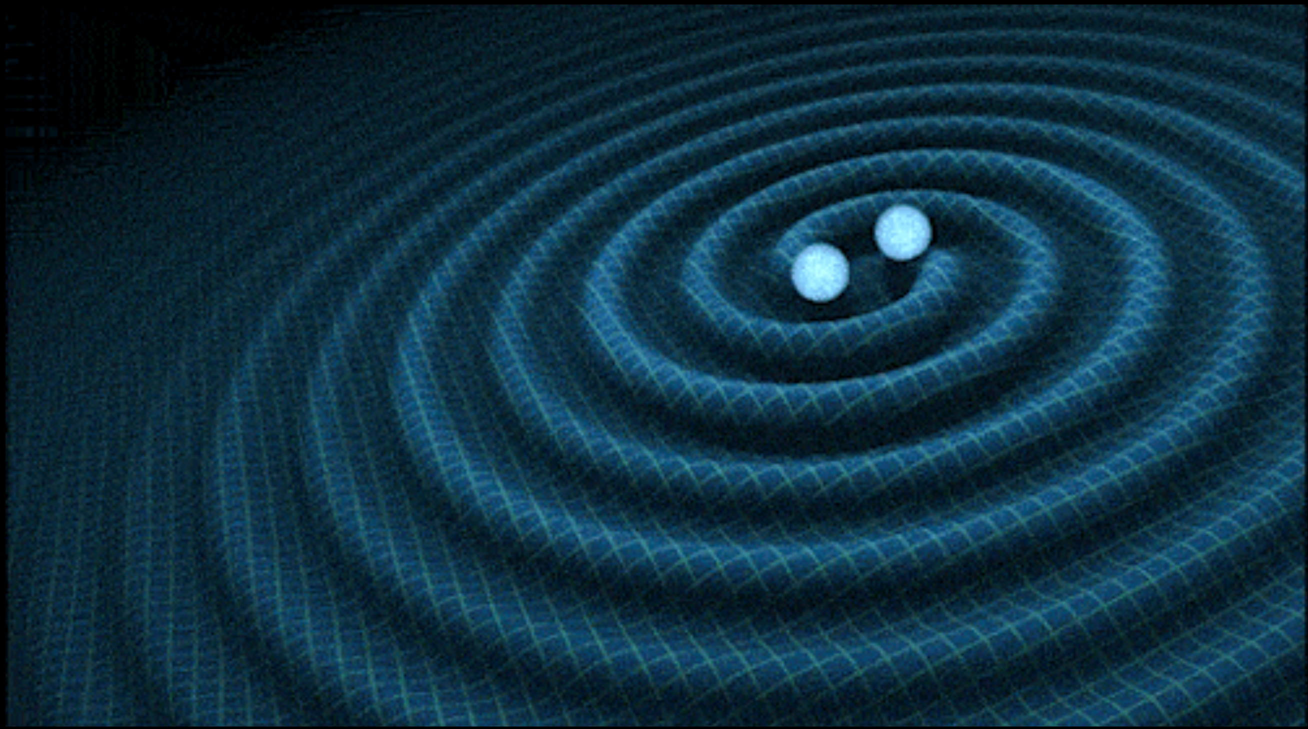
＝時空のゆがみ（トランポリンのゆれ）が

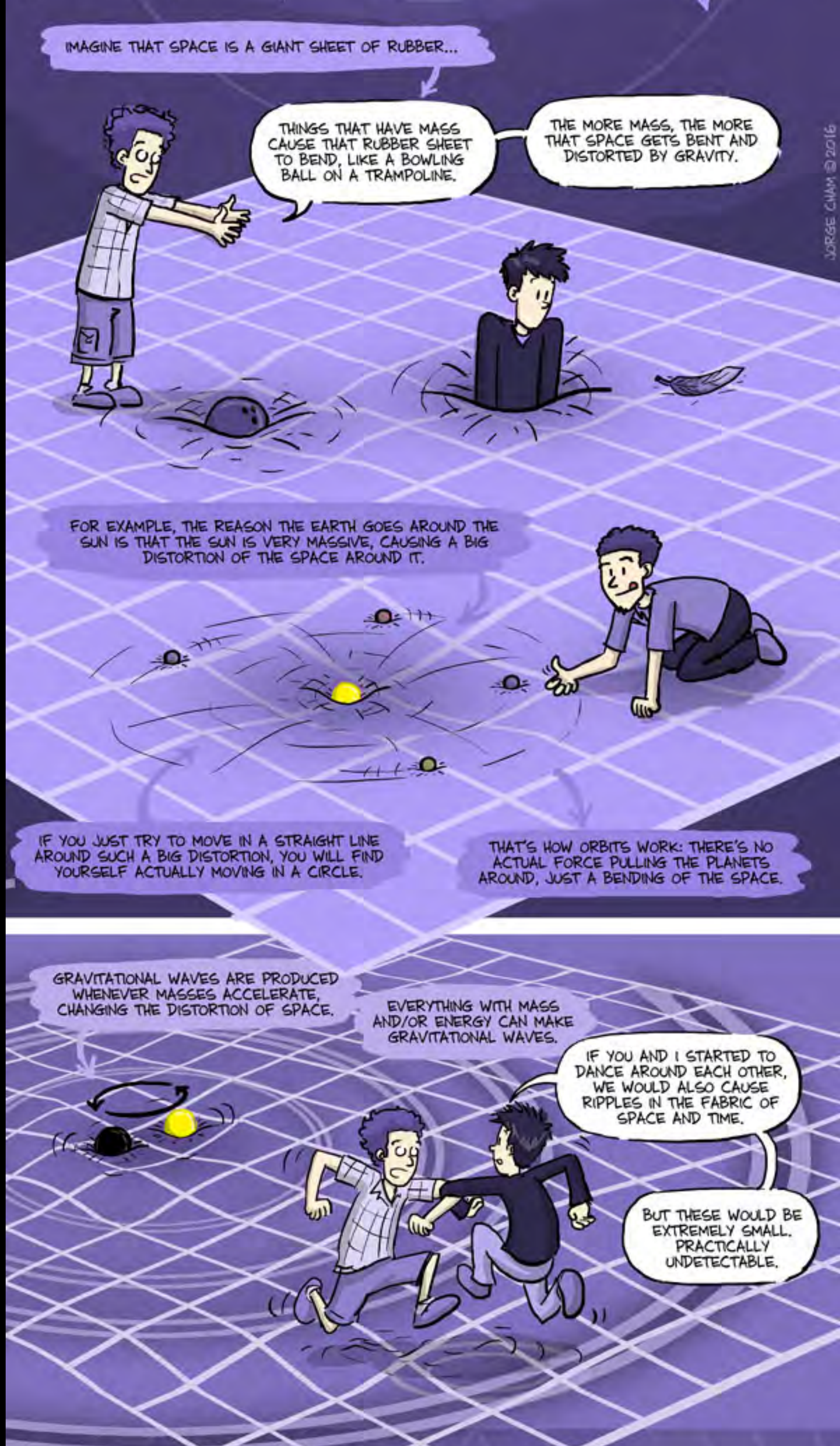
波として伝わる

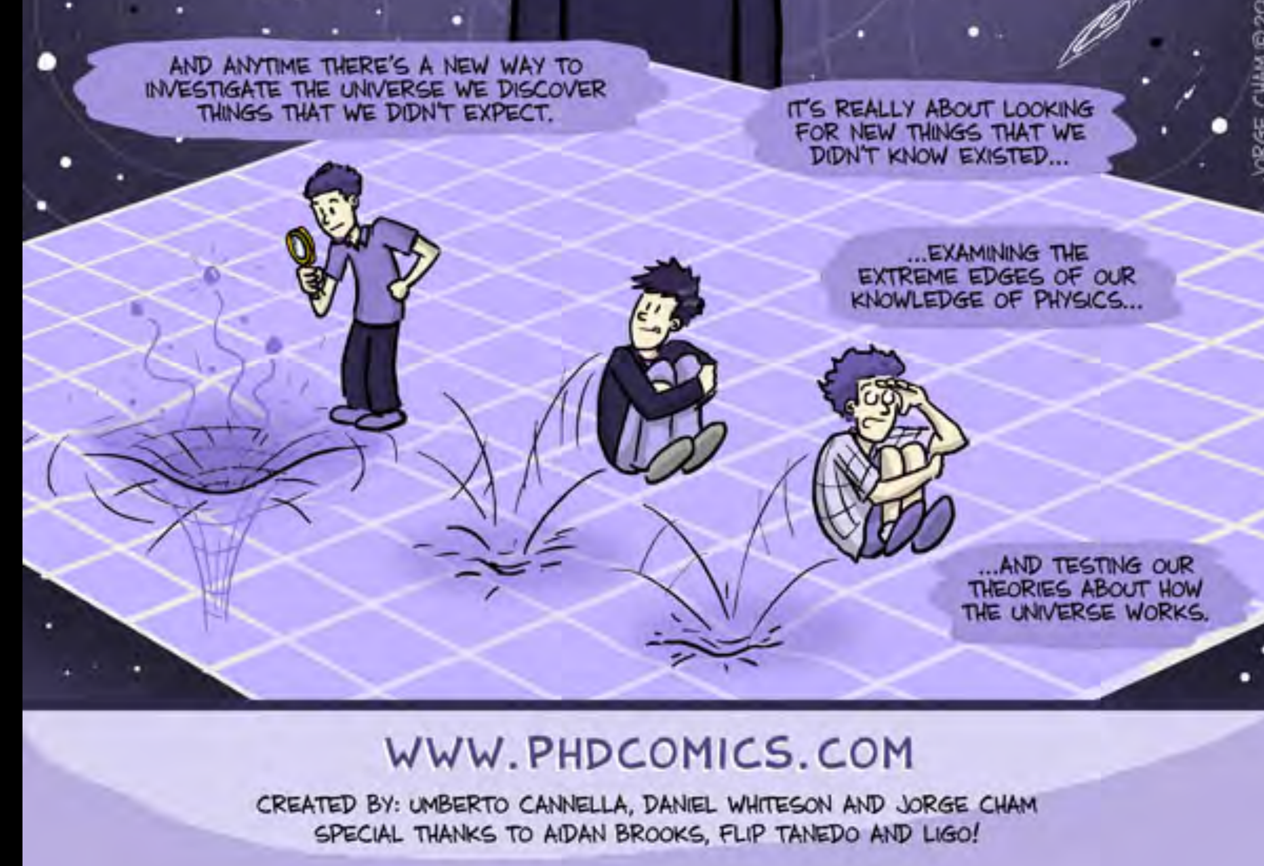

IMAGINE THAT SPACE IS A GIANT SHEET OF RUBBER...
THINGS THAT HAVE MASS CAUSE THAT RUBBER SHEET TO BEND, LIKE A BOWLING BALL ON A TRAMPOLINE.
THE MORE MASS, THE MORE THAT SPACE GETS BENT AND DISTORTED BY GRAVITY.
JORGE CHAM © 2016
FOR EXAMPLE, THE REASON THE EARTH GOES AROUND THE SUN IS THAT THE SUN IS VERY MASSIVE, CAUSING A BIG DISTORTION OF THE SPACE AROUND IT.
IF YOU JUST TRY TO MOVE IN A STRAIGHT LINE AROUND SUCH A BIG DISTORTION, YOU WILL FIND YOURSELF ACTUALLY MOVING IN A CIRCLE.
THAT'S HOW ORBITS WORK: THERE'S NO ACTUAL FORCE PULLING THE PLANETS AROUND, JUST A BENDING OF THE SPACE.


GRAVITATIONAL WAVES ARE PRODUCED WHENEVER MASSES ACCELERATE, CHANGING THE DISTORTION OF SPACE.
EVERYTHING WITH MASS AND/OR ENERGY CAN MAKE GRAVITATIONAL WAVES.
IF YOU AND I STARTED TO DANCE AROUND EACH OTHER, WE WOULD ALSO CAUSE RIPPLES IN THE FABRIC OF SPACE AND TIME.
BUT THESE WOULD BE EXTREMELY SMALL. PRACTICALLY UNDETECTABLE.


AND ANYTIME THERE'S A NEW WAY TO INVESTIGATE THE UNIVERSE WE DISCOVER THINGS THAT WE DIDN'T EXPECT.
IT'S REALLY ABOUT LOOKING FOR NEW THINGS THAT WE DIDN'T KNOW EXISTED...
...EXAMINING THE EXTREME EDGES OF OUR KNOWLEDGE OF PHYSICS...
...AND TESTING OUR THEORIES ABOUT HOW THE UNIVERSE WORKS.
WWW.PHDCOMICS.COM
CREATED BY: UMBERTO CANNELLA, DANIEL WHITESON AND JORGE CHAM
SPECIAL THANKS TO AIDAN BROOKS, FLIP TANEDO AND LIGO!

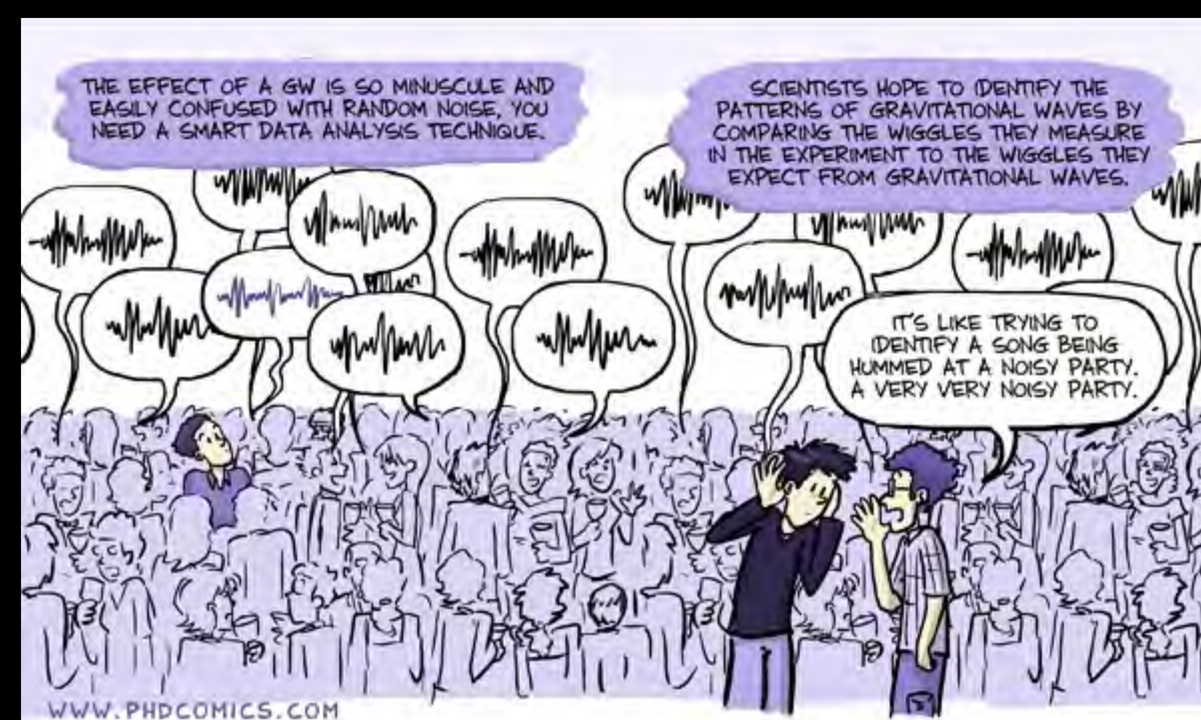






www.phdcomics.com

“gravitational waves explained”



大原三千院
寂光院
貴船神社
鞍馬寺
国立京都国際会館
比叡山
延暦寺
上賀茂神社
高山寺
正伝寺
光悦寺
金閣寺
仁和寺
高雄神護寺
化野念仏寺
祇王寺
常寂光寺
二尊院
落柿舎
龍安寺
等持院
北野天満宮
大覚寺
大徳寺
北大路通
植物園
下鴨神社
修学院
日吉大社
堅田浮御堂
びわ湖大橋
今出川通
西陣織会館
丸太町通
京都御所
銀閣寺
京都大学
哲学の道
平安神宮
永観堂
三井寺
近江大橋
二条城
御池通
三条通
四条通
六角堂
南禅寺
知恩院
八坂神社
高台寺
清水寺
大津I.C
瀬田唐橋
法輪寺
松尾大社
西本願寺
東本願寺
京都タワー
五条通
七条通
三十三間堂
智積院
清水焼団地
東福寺
石山寺
西芳寺（苔寺）
桂離宮
東寺
九条通
十条通
京都南I.C
京都駅
八条口
グランビア
アバンティ
名神高速
月桂冠
大倉記念館
伏見稲荷大社
泉涌寺
伏見桃山城
随心院
醍醐寺
日野法界寺
万福寺
城南宮
宇治川
京滋バイパス
木津川
一休寺
平等院
石清水八幡宮
花の寺
大原野神社
正法寺
なりひら寺
善峰寺
R9
R1
R24
至大阪
至奈良

除夜の鐘
1年間の煩悩を払いのけ、新たな年を迎えます。

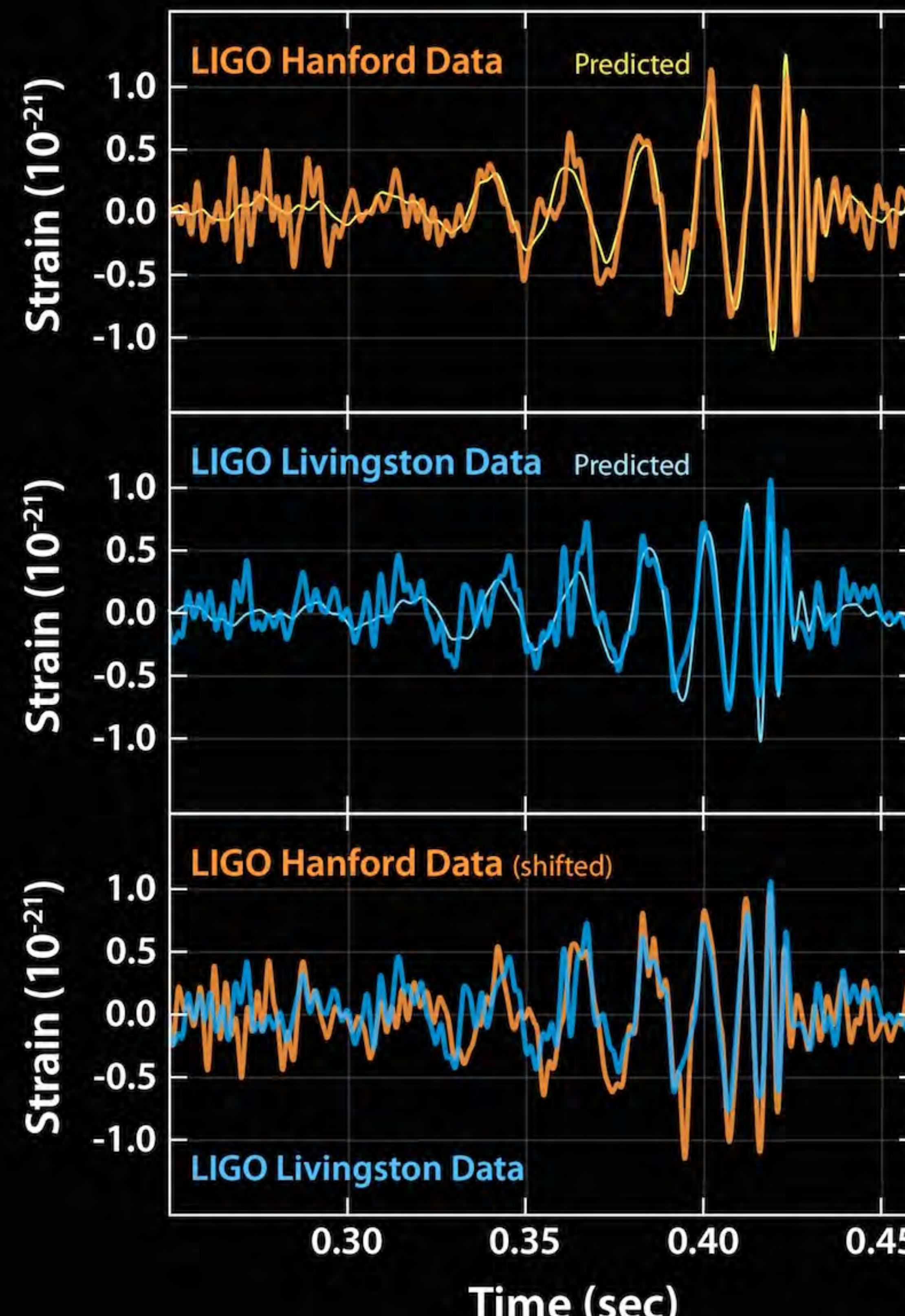
東大寺
若草山
興福寺
大仏館
正倉院
二月堂
三月堂
大仏殿
鐘楼
手向山八幡宮
南大門
依水園
氷室神社
県新公会堂
奈良国立博物館
一の鳥居
浮見堂
飛火野
鹿苑
春日大社
若宮神社
志賀直哉旧宅
頭塔
新薬師寺
五重塔
三重塔
猿沢池
県立美術館
文化会館
近鉄奈良駅
奈良女子大
漢国神社
奈良市観光センター
ならまちセンター
元興寺（極楽坊）
今西家書院
福智院
十輪院
奈良オリエント館
JR奈良駅
JR桜井線
一条通り
三条通り
鷺池

2016年2月，LIGOが重力波を初めて検出した，と発表した

四国新聞だけ
ちがった．．．残念（笑）

2016年2月，LIGOが重力波を初めて検出した，と発表した

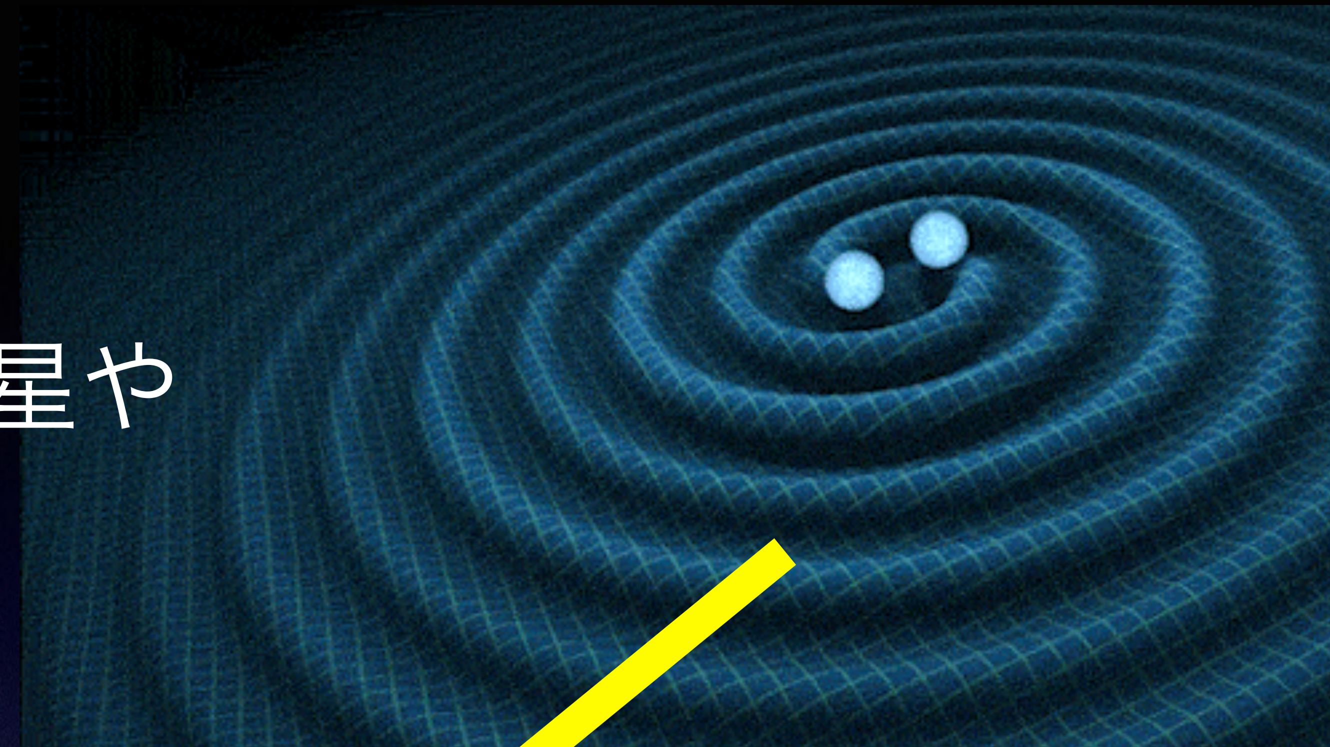
2015年9月14日

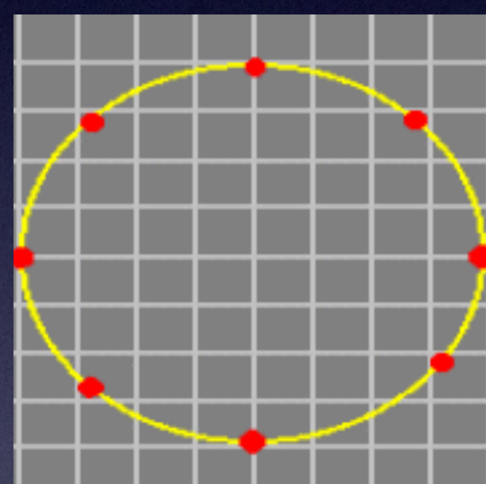


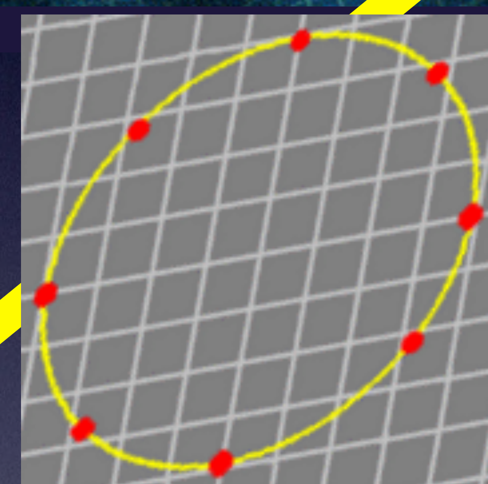
ブラックホール連星の合体
によって生じた重力波だった

重力波の発生と伝播

ブラックホール連星や
中性子星連星





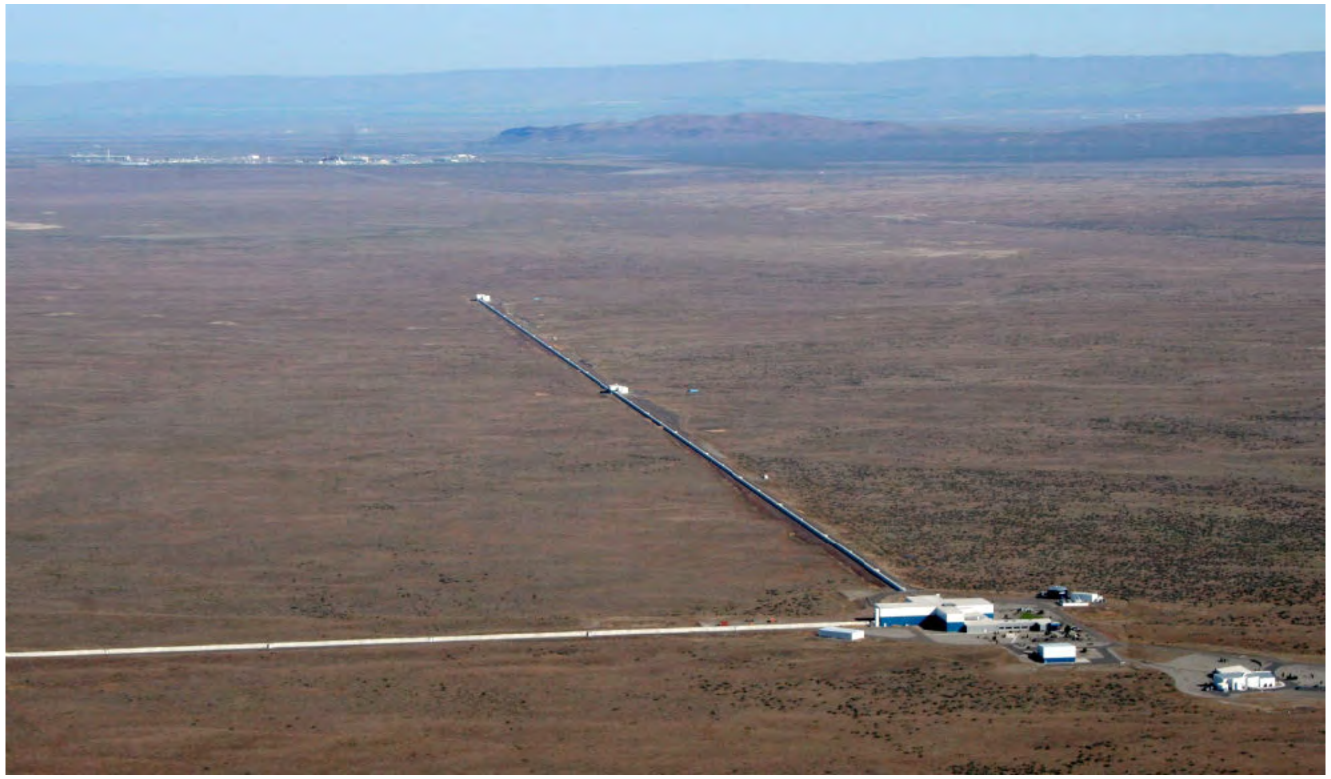


レーザー干渉計

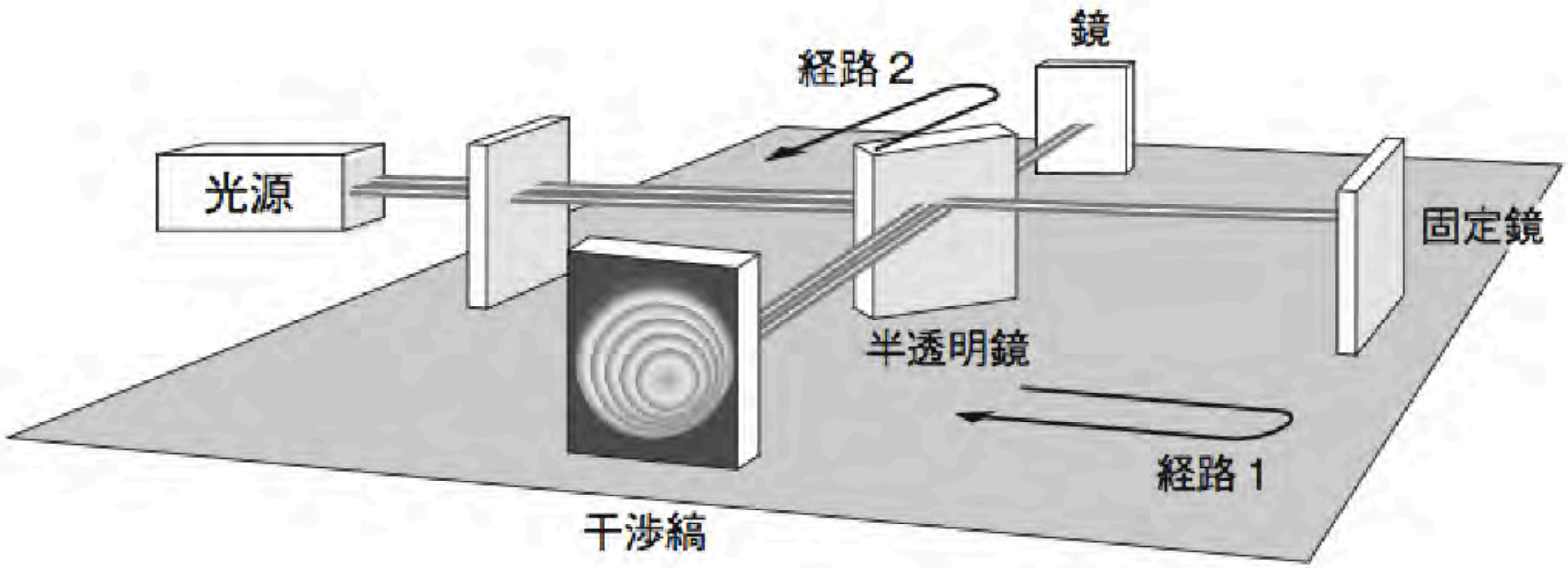
LIGO＝Laser Interferometer
Gravitational-Wave Observatory

LIGO（ライゴ：レーザー干渉計重力波天文台）

Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory **（1992年予算承認）**

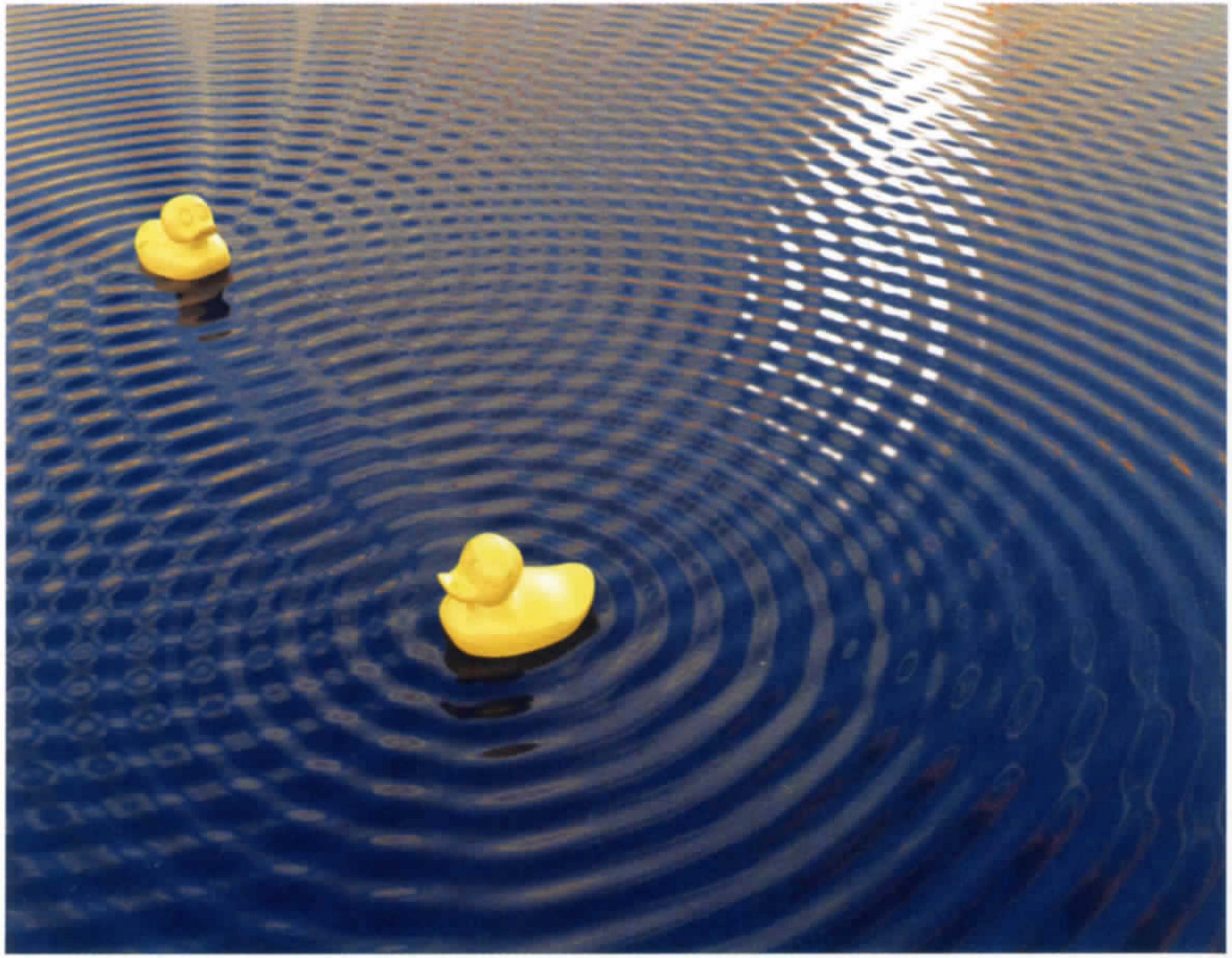


https://mediaassets.caltech.edu/gwave



干渉計のしくみを理解しよう

波の干渉（かんしょう）



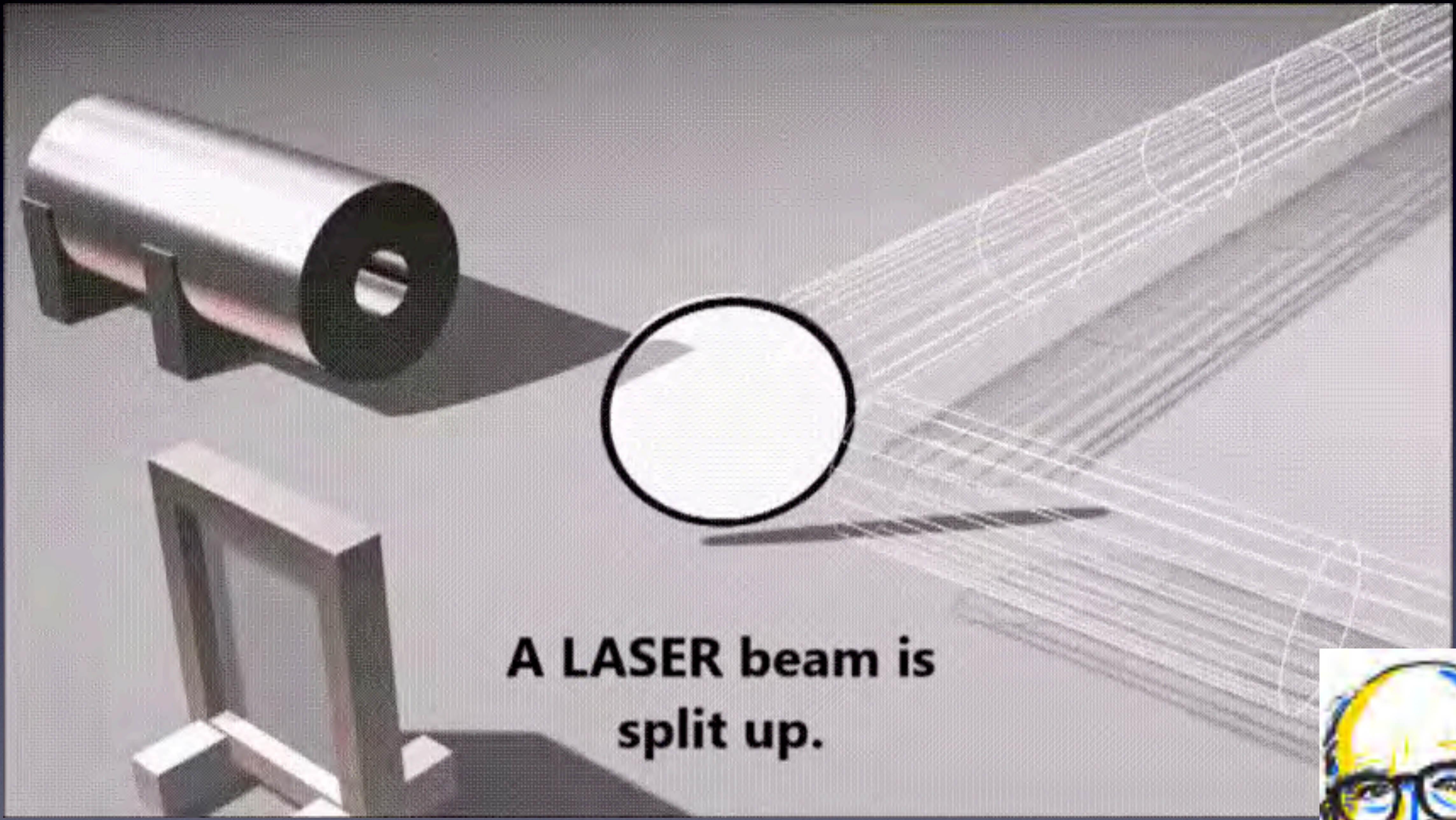
Puddle Interference The concept of interference shows up in everyday life in bodies of water, from puddles to oceans.

波は重ね合わせで強くなったり弱くなったり

山＋山＝強め合う　　山＋谷＝弱め合う

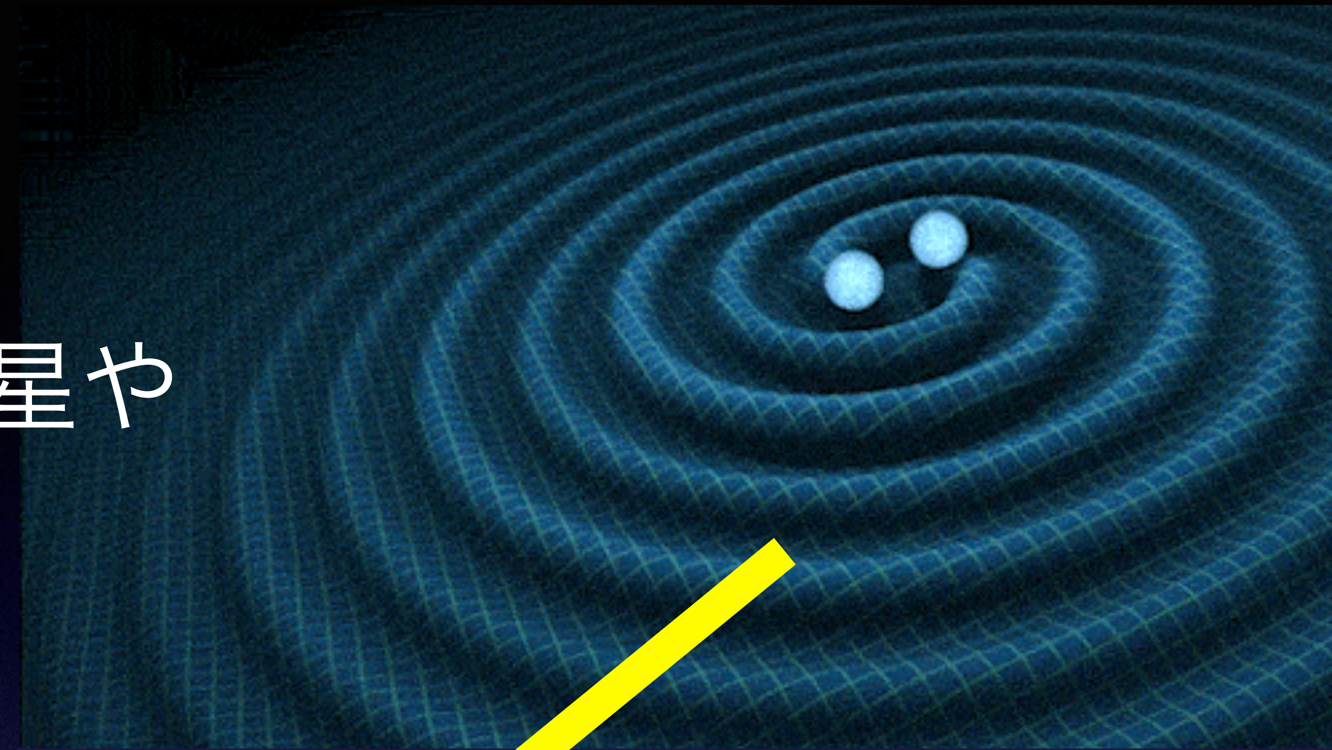
「干渉」（かんしょう）という

レーザー干渉計による重力波検出のしくみ

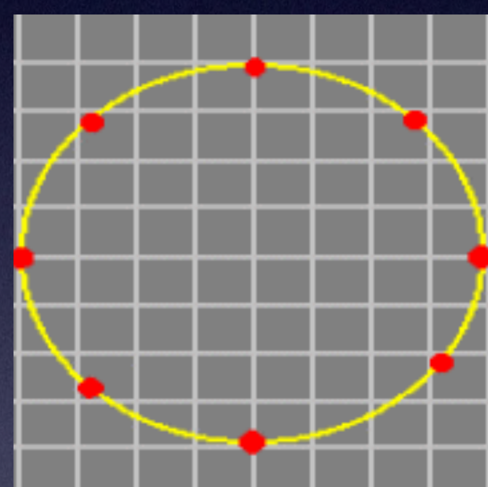


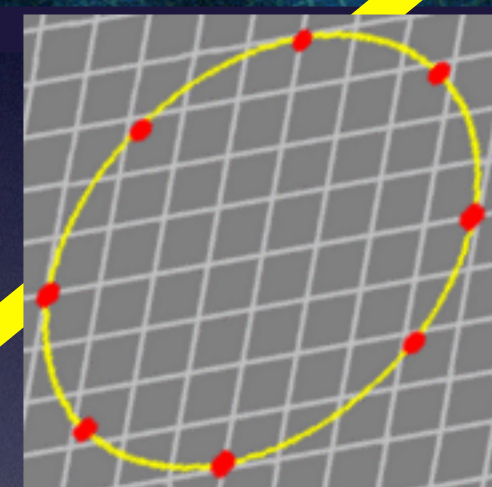
https://imgur.com/gallery/0VhrXPV

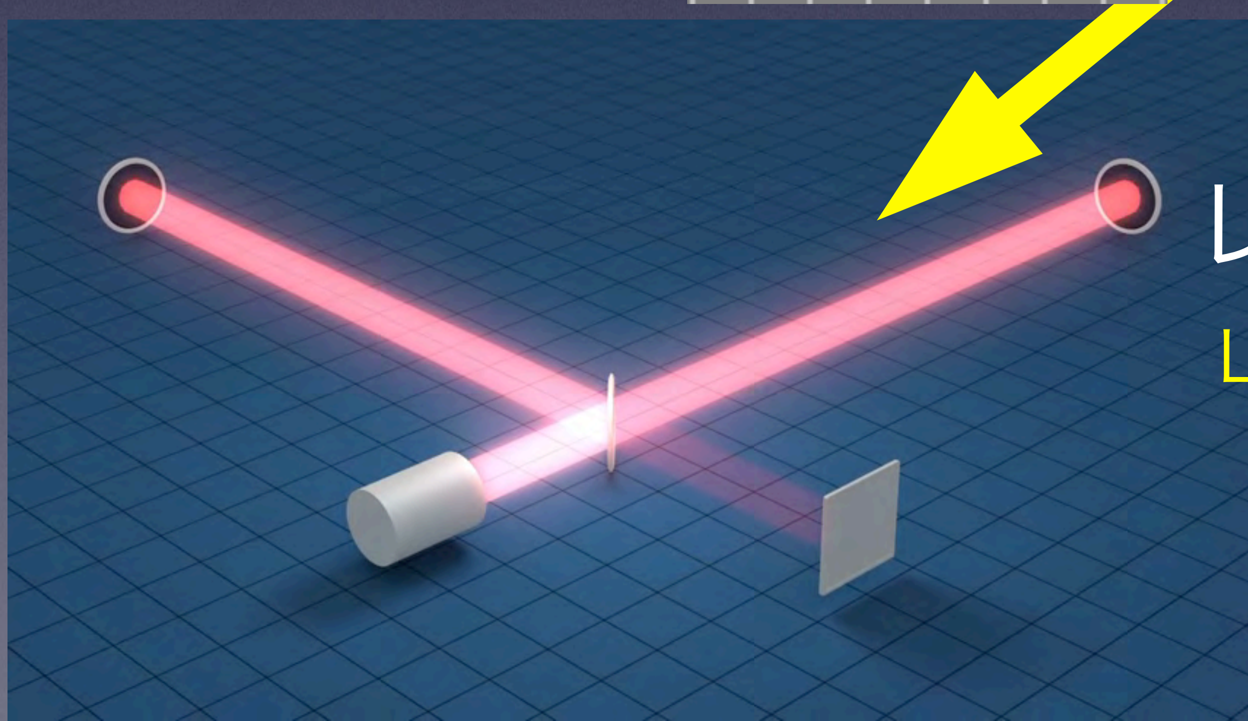
重力波の発生と伝播



ブラックホール連星や
中性子星連星

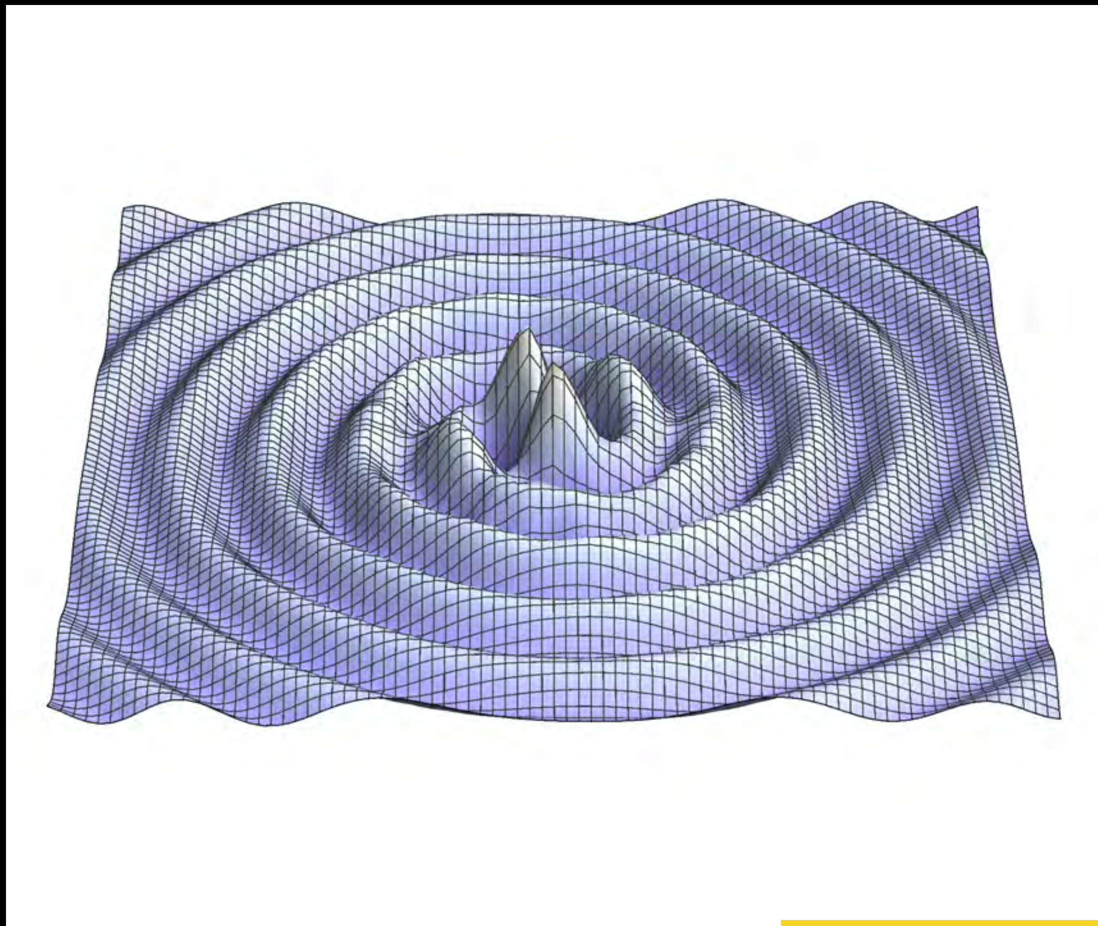






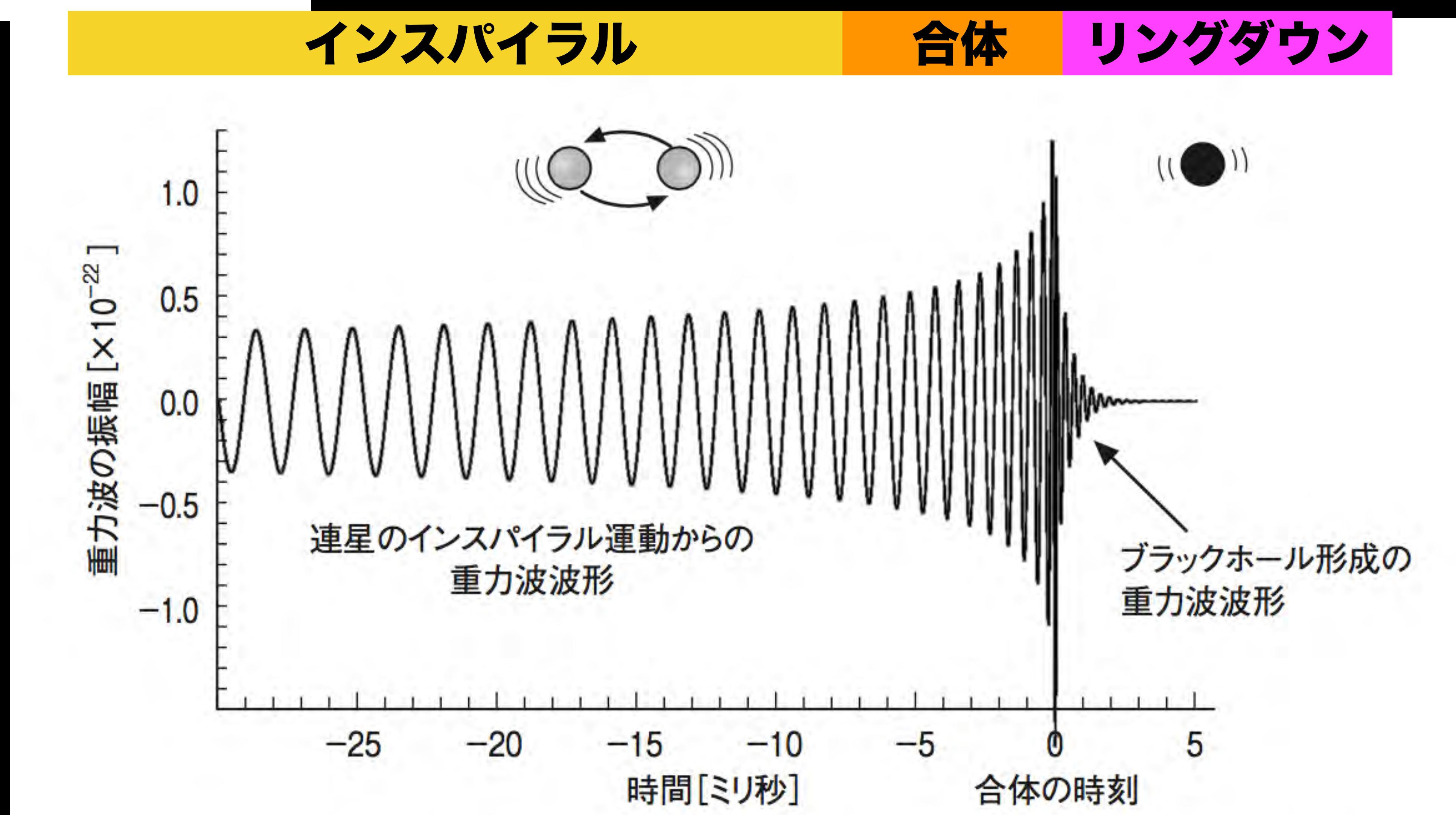
レーザー干渉計

LIGO＝Laser Interferometer
Gravitational-Wave Observatory

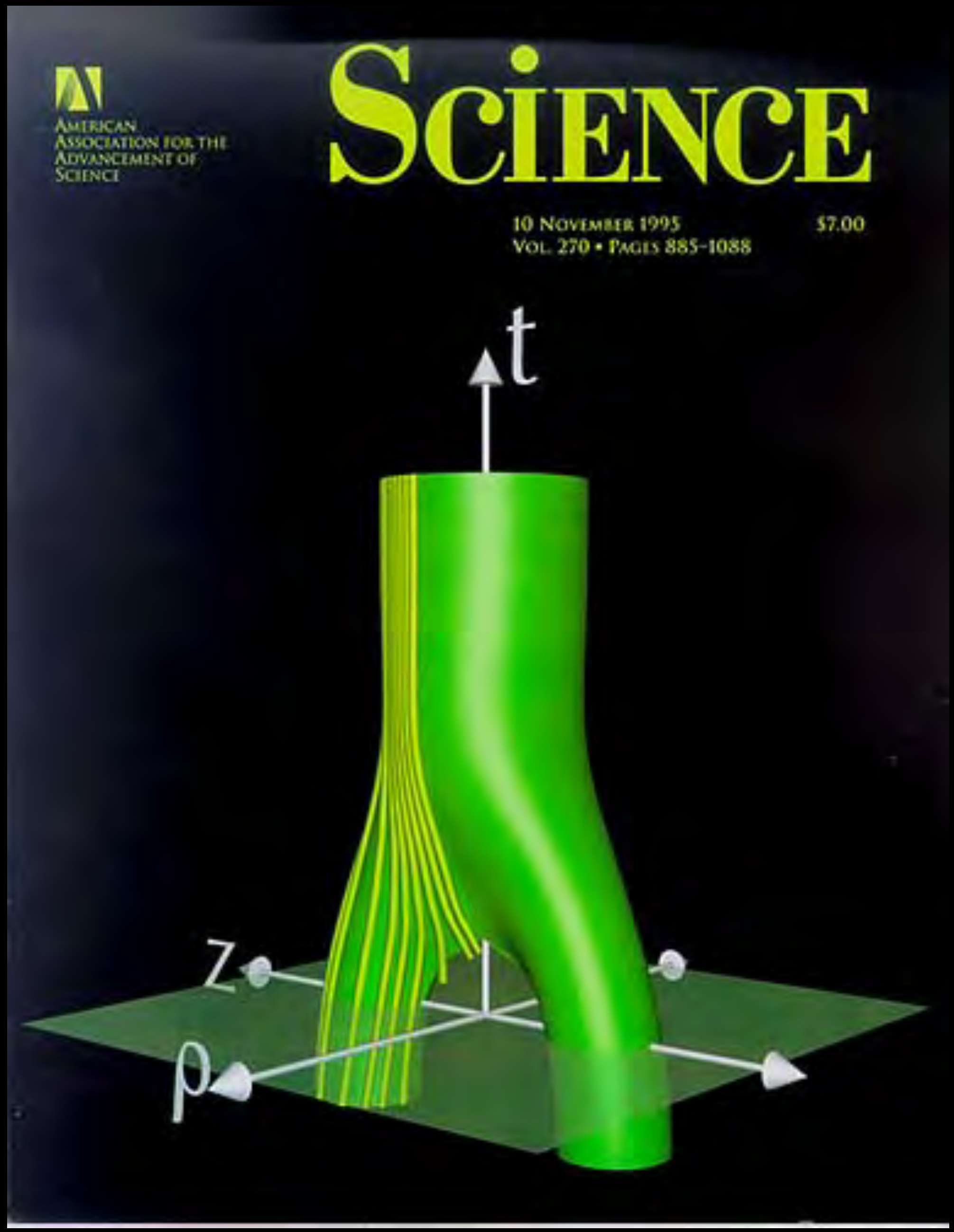


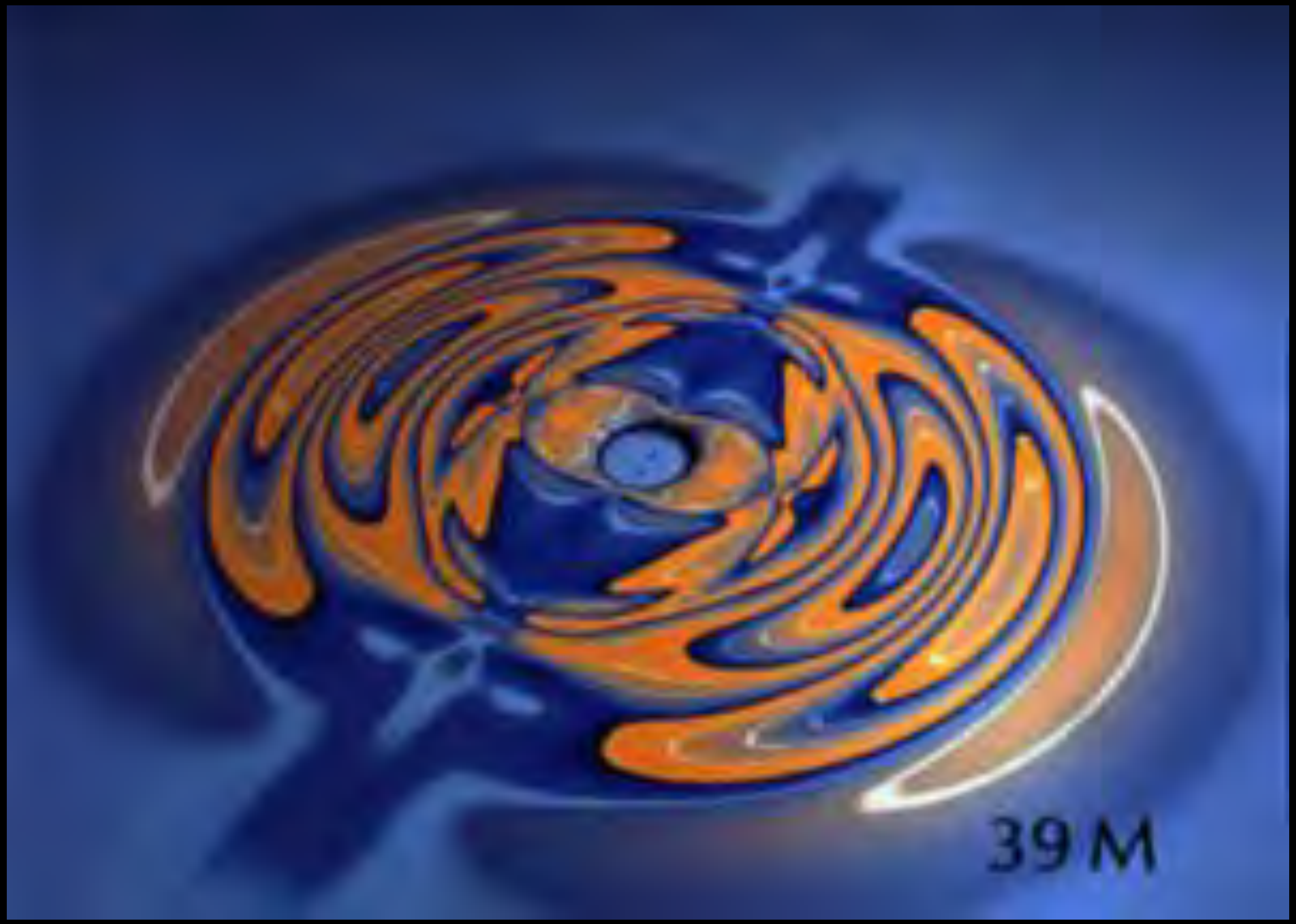
重力波の直接観測をしたい！

連星中性子星
連星ブラックホール



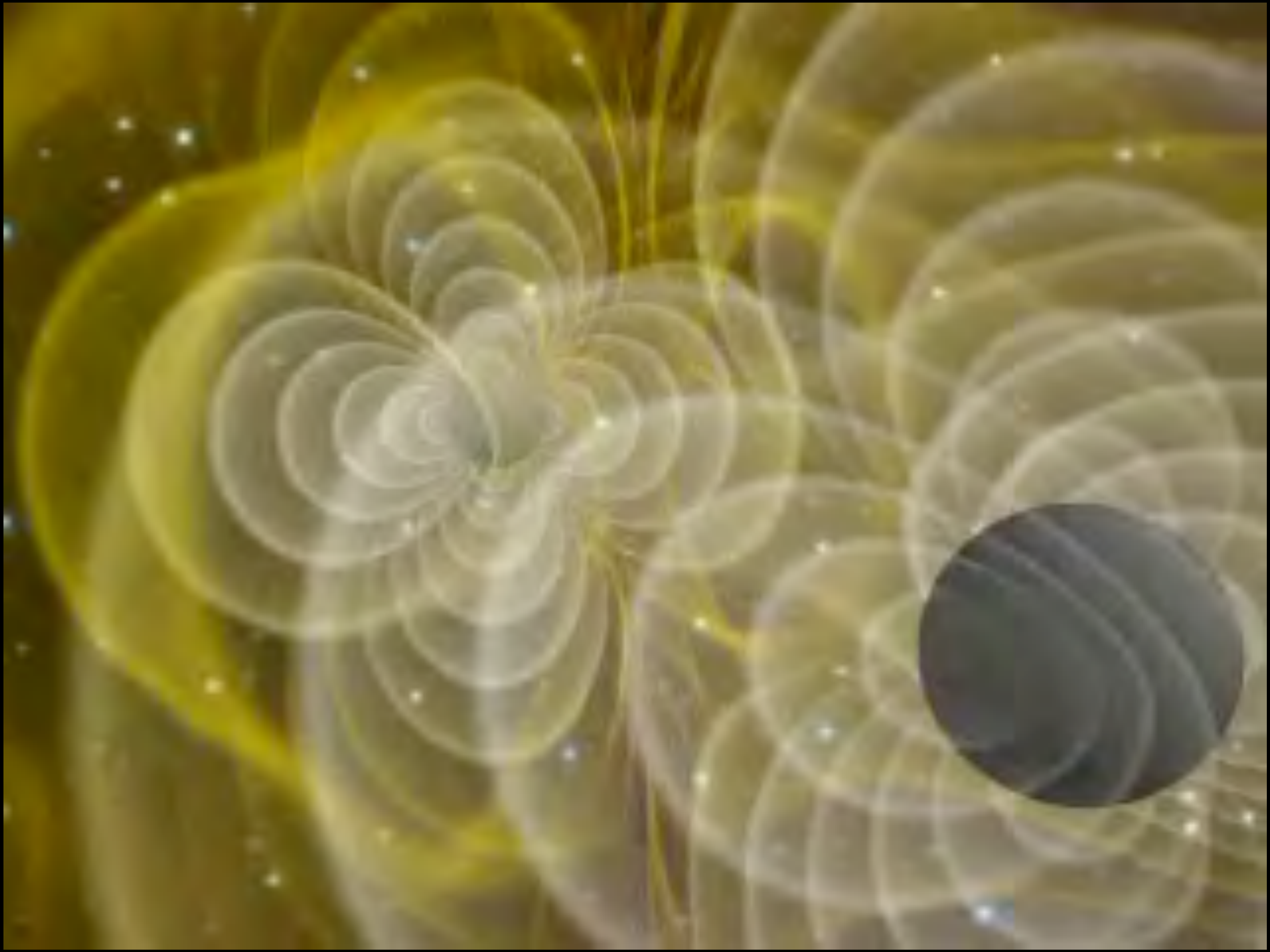
ブラックホールの合体シミュレーション





２つのブラックホールの合体と重力波放出
（90年代，NCSAグループ）

ブラックホールの合体シミュレーション



NCSA-AEI group (1998)

重力波初検出を発表するライツィLIGO所長

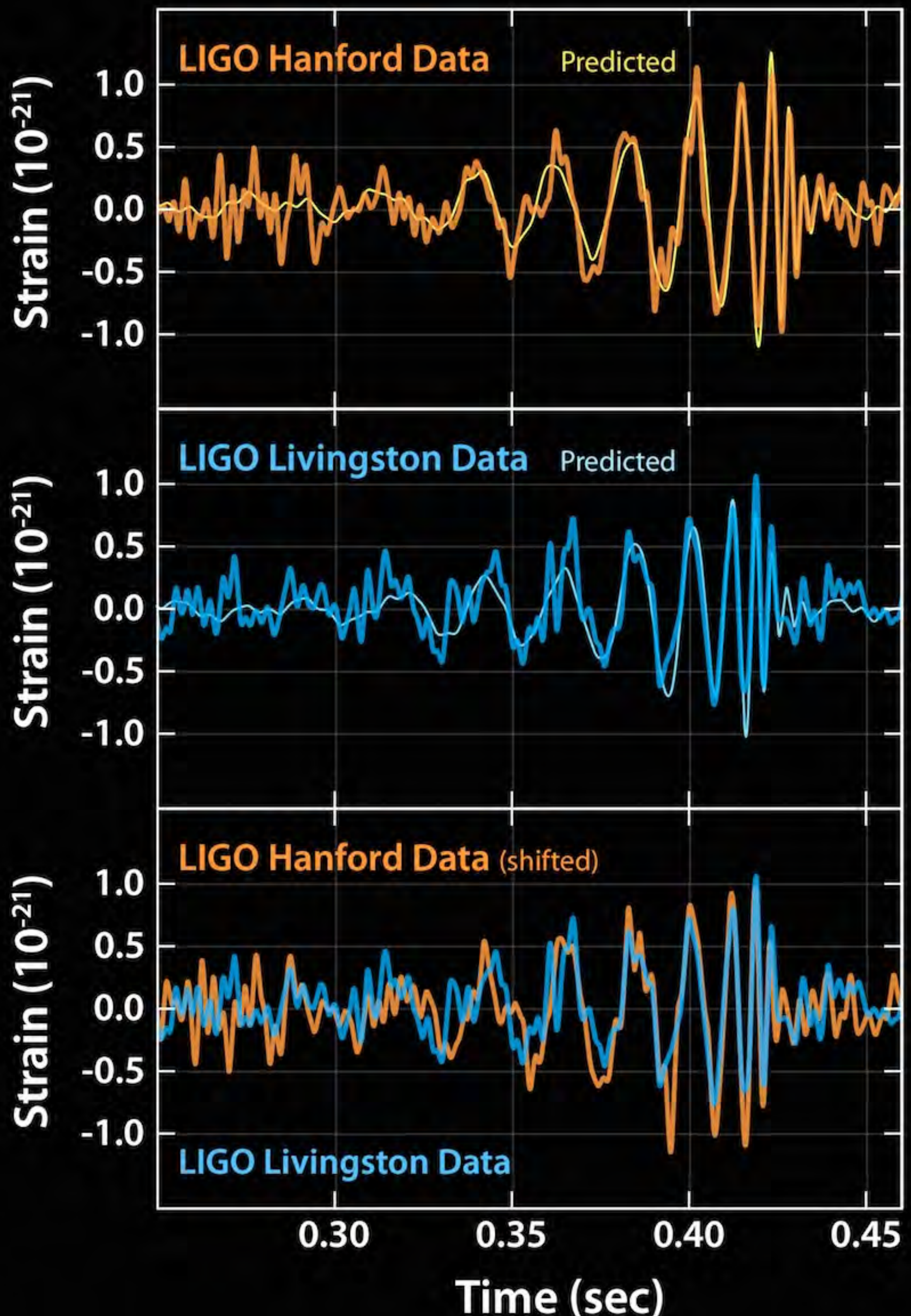
2016年2月11日

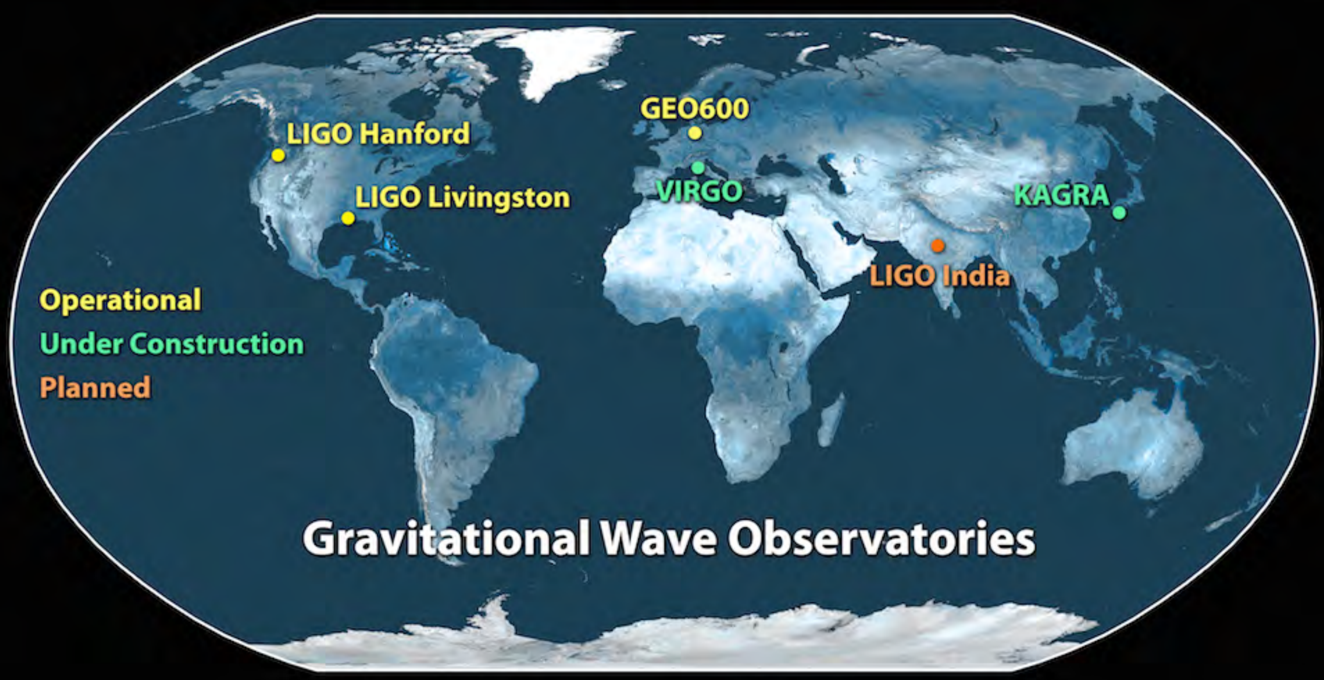
“We had detected gravitational waves.　We did it. ”

“我々は，重力波を検出した．　やり遂げたのだ. ”

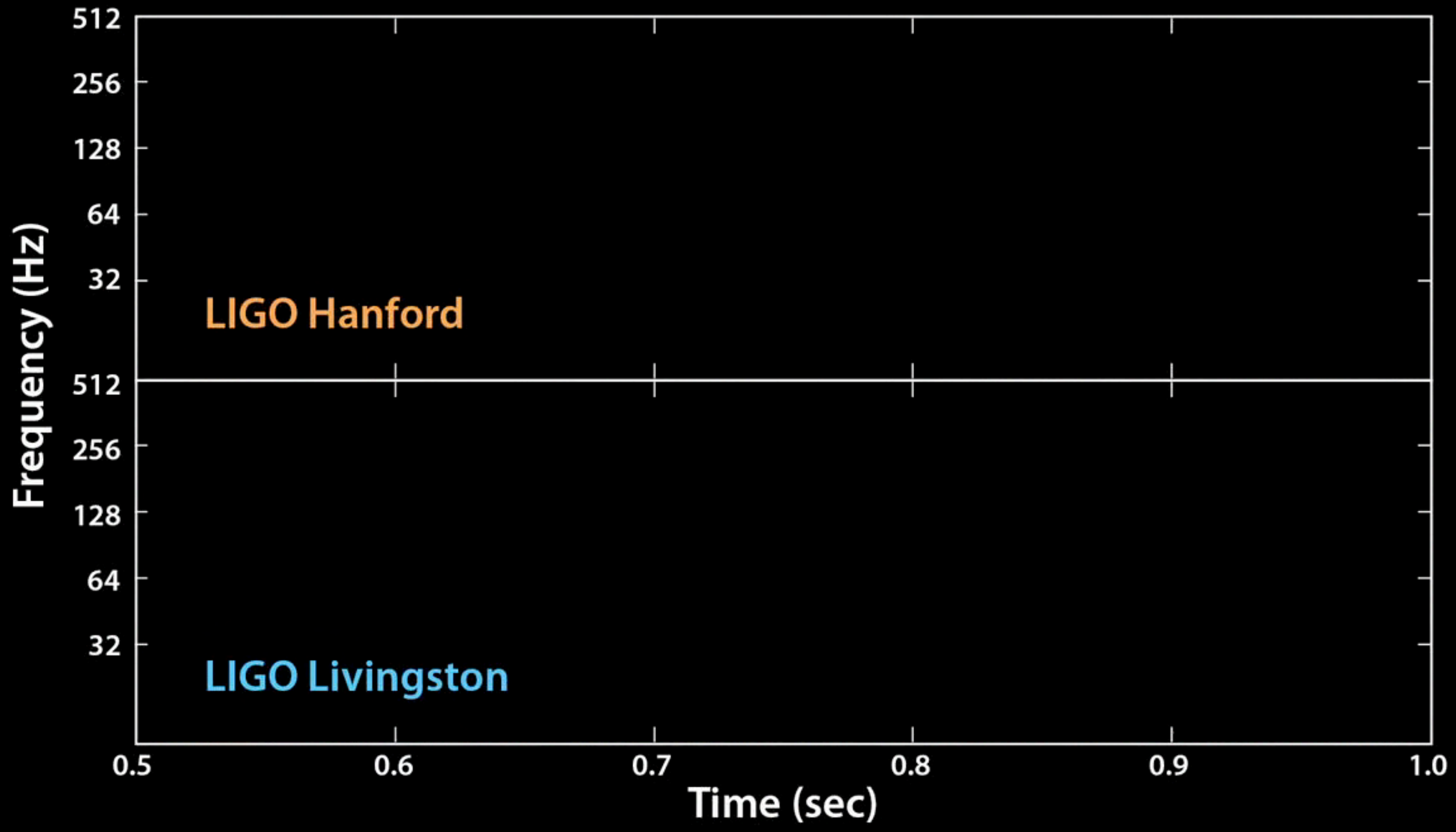
https://www.youtube.com/watch?v=aEPIwEJmZyE

2015年9月14日


LIGO Hanford Data
Predicted
LIGO Livingston Data
Predicted
LIGO Hanford Data (shifted)
LIGO Livingston Data
Strain (10^{-21})
1.0
0.5
0.0
-0.5
-1.0
0.30
0.35
0.40
0.45
Time (sec)


LIGO Hanford
LIGO Livingston
GEO600
VIRGO
KAGRA
LIGO India
Operational
Under Construction
Planned
Gravitational Wave Observatories

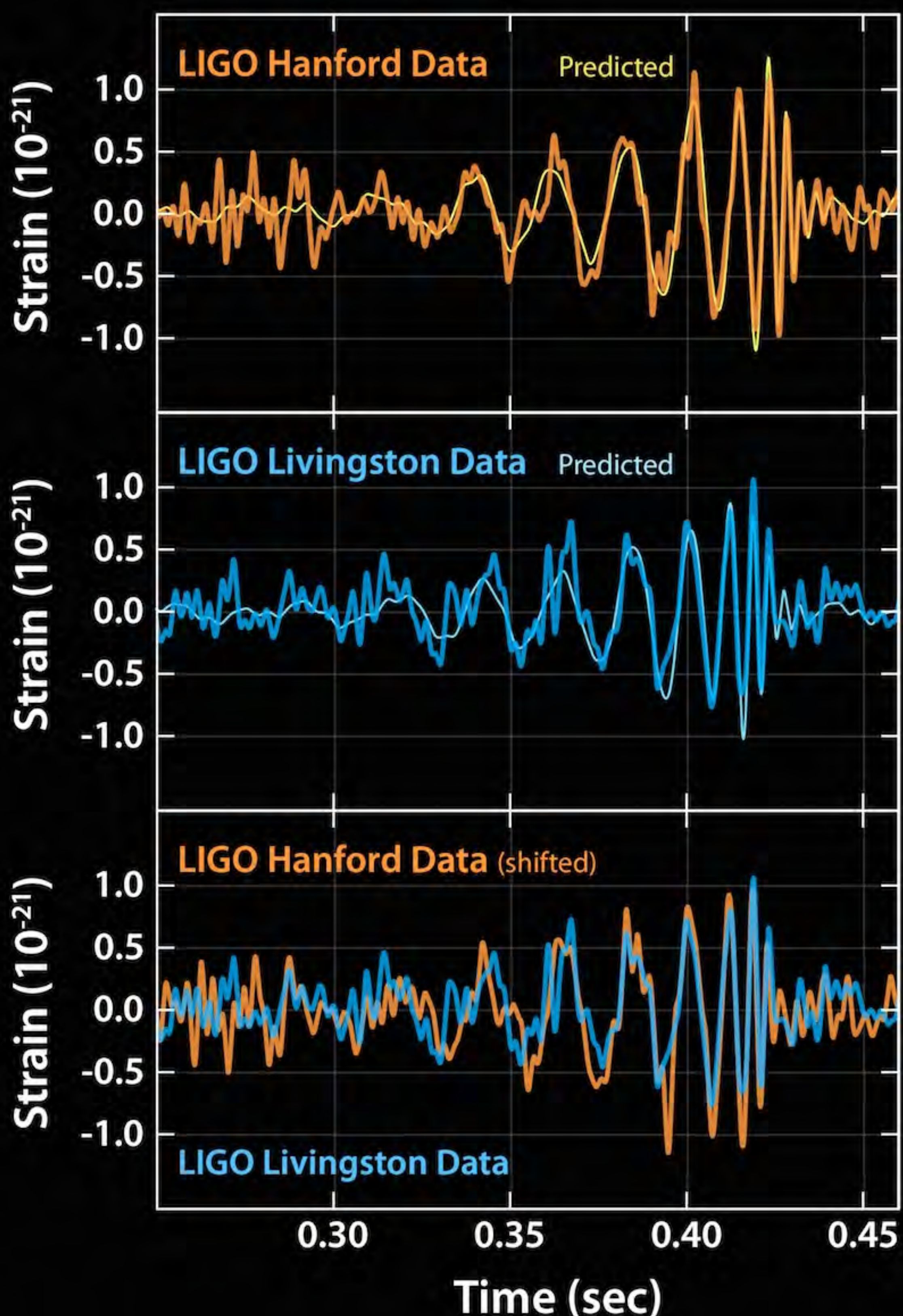
重力波波形を音にすると．．．

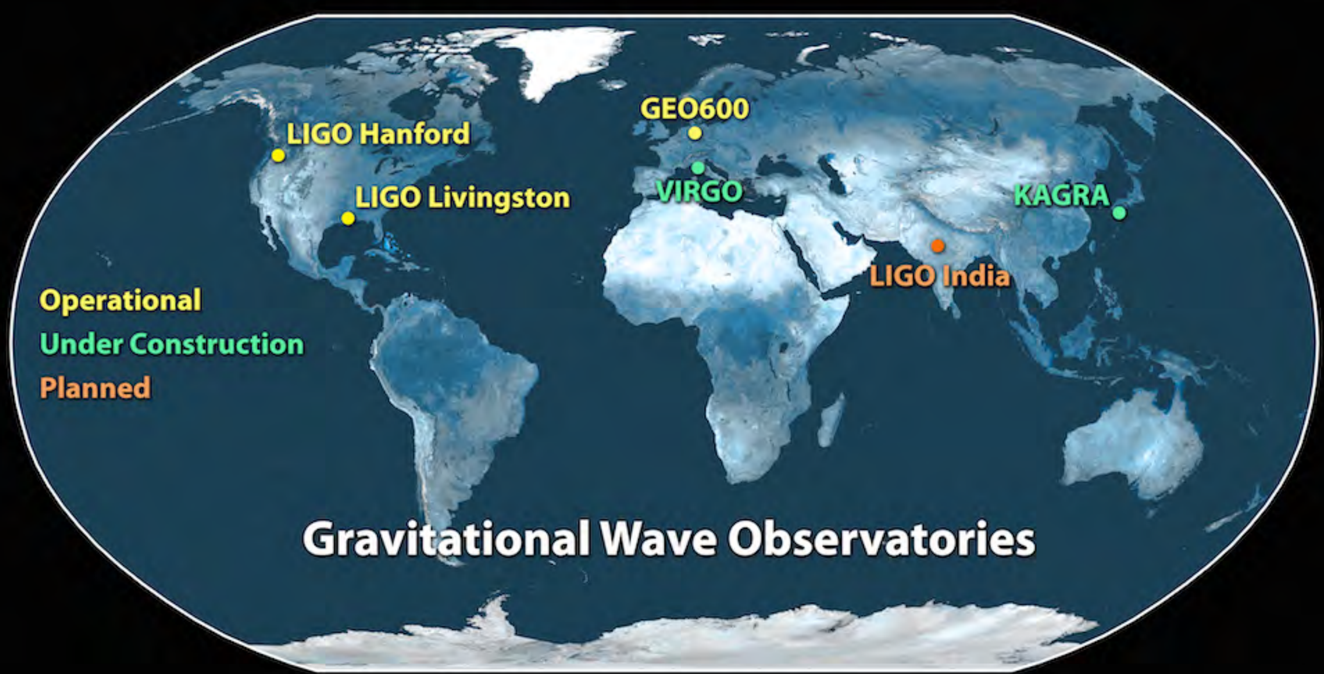


はじめ2回は実周波数，後の2回は聞えやすいように+400Hz

https://mediaassets.caltech.edu/gwave

2015年9月14日



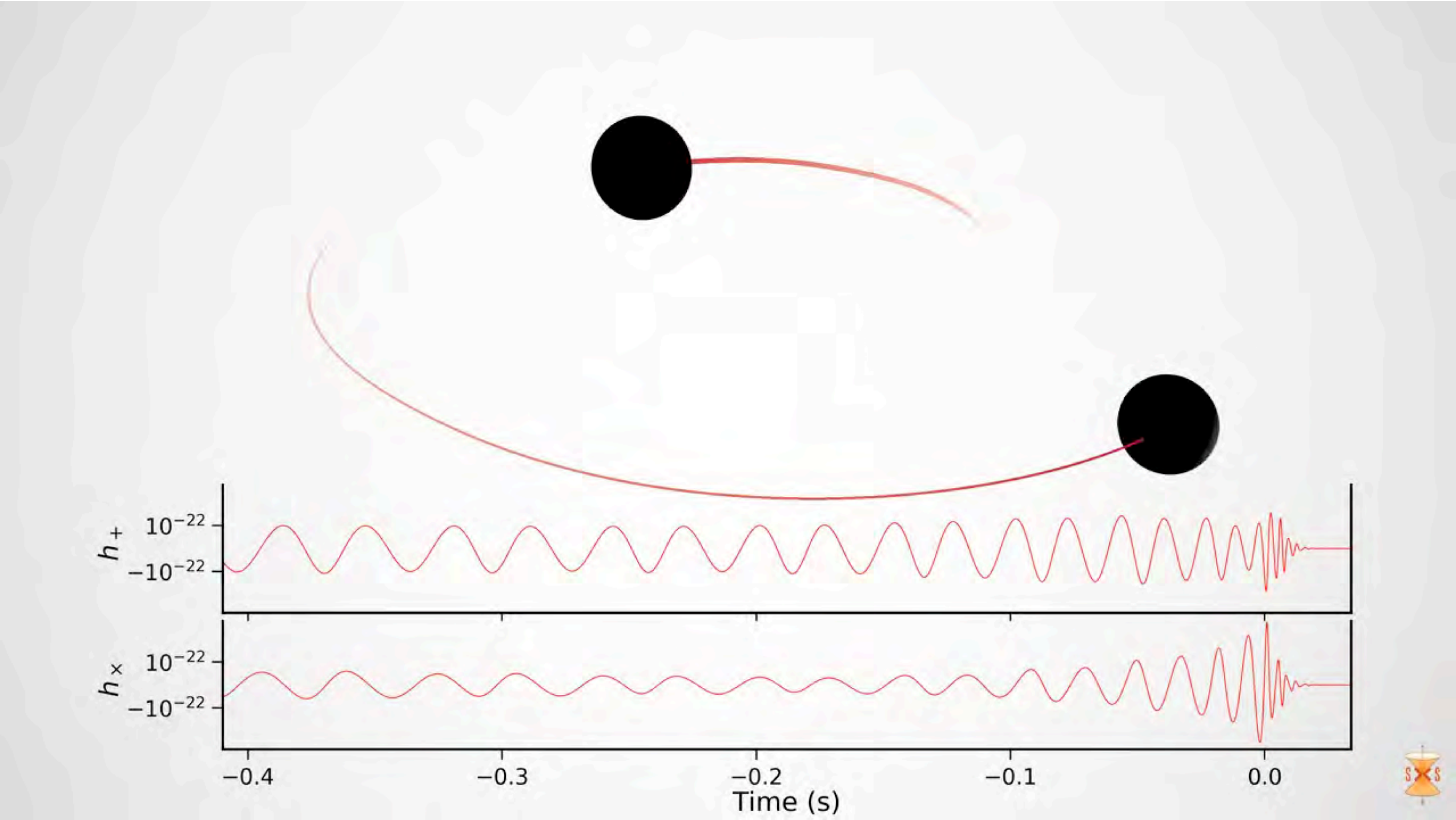


太陽の36倍と29倍のブラックホールが合体して，
太陽の62倍のブラックホールになった．

3倍の質量が消失

$$E = mc^2$$

13億光年先



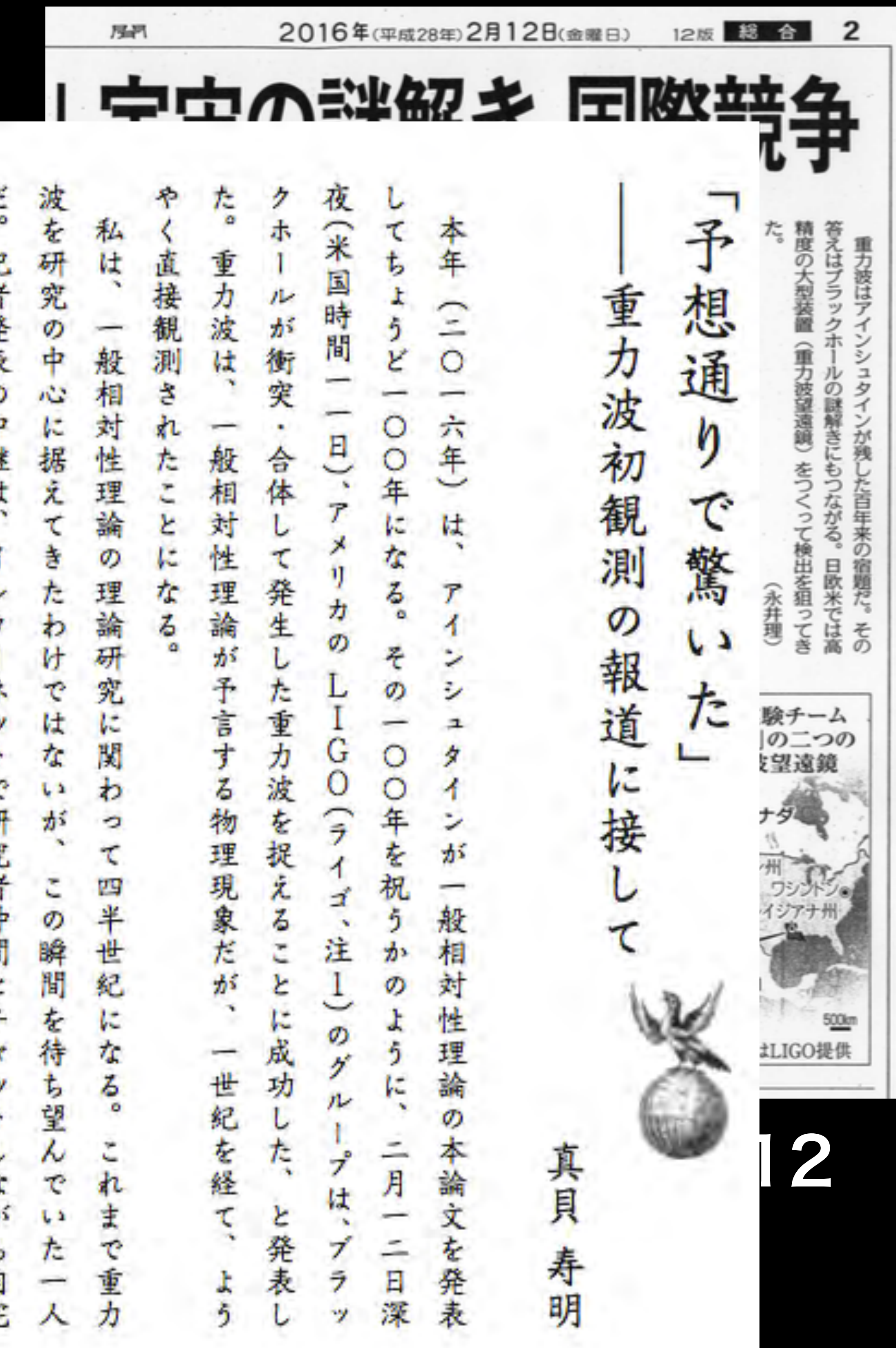
Animation of the inspiral and collision of two black holes consistent with the masses and spins of GW170104. The top part of the movie shows the black hole horizons (surfaces of "no return"). The initial two black holes orbit each other, until they merge and form one larger remnant black hole. The shown black holes are spinning, and angular momentum is exchanged among the two black holes and with the orbit. This results in a quite dramatic change in the orientation of the orbital plane, clearly visible in the movie. Furthermore, the spin-axes of the black holes change, as visible through the colored patch on each black hole horizon, which indicates the north pole.

The lower part of the movie shows the two distinct gravitational waves (called 'polarizations') that the merger is emitting into the direction of the camera. The modulations of the polarizations depend sensitively on the orientation of the orbital plane, and thus encode information about the orientation of the orbital plane and its change during the inspiral. Presently, LIGO can only measure one of the polarizations and therefore obtains only limited information about the orientation of the binary. This disadvantage will be remedied with the advent of additional gravitational wave detectors in Italy, Japan and India.

Finally, the slowed-down replay of the merger at the end of the movie makes it possible to observe the distortion of the newly formed remnant black hole, which decays quickly. Furthermore, the remnant black hole is "kicked" by the emitted gravitational waves, and moves upward. (Credit: A. Babul/H. Pfeiffer/CITA/SXS.) - See more at: http://ligo.org/detections/GW170104.php#sthash.NZPaW2LT.dpuf

http://ligo.org/detections/GW170104.php

2016年2月，LIGOが重力波を初めて検出した，と発表した



2016年（平成28年）2月12日（金曜日）　12版　総合　2

宇宙の謎解き 国際競争

重力波はアインシュタインが残した百年来の宿題だ。その答えはブラックホールの謎解きにもつながる。日欧米では高精度の大型装置（重力波望遠鏡）をつくって検出を狙ってきた。（永井理）

「予想通りで驚いた」
——重力波初観測の報道に接して

真貝寿明

本年（二〇一六年）は、アインシュタインが一般相対性理論の本論文を発表してちょうど一〇〇年になる。その一〇〇年を祝うかのように、二月一二日深夜（米国時間一一日）、アメリカのLIGO（ライゴ、注1）のグループは、ブラックホールが衝突・合体して発生した重力波を捉えることに成功した、と発表した。重力波は、一般相対性理論が予言する物理現象だが、一世紀を経て、ようやく直接観測されたことになる。

私は、一般相対性理論の理論研究に関わって四半世紀になる。これまで重力波を研究の中心に据えてきたわけではないが、この瞬間を待ち望んでいた一人

「窮理」　2016/8

重力波 初の直接観測

「研究者勇気づけた」

大阪市大院・神田教授 学生らに解説

米国を中心とした国際研究チームが「重力波」を初めて直接観測したとの発表を受け、重力波の研究が専門の神田展行・大阪市立大大学院教授(51)は12日、発表内容についての説明会を大阪市住吉区の同大杉本キャンパスで開いた。成果を詳しく理解してもらう狙い。学生ら約100人が参加し、真剣な表情で聴き入った。【畠山哲郎】

神田教授は、岐阜県飛騨市の大型低温重力波望遠鏡「KAGRA」のプロジェクトでもデータ管理グループのリーダーを務める。説明会では観測されたデータの見方などを解説し「我々にとっても勇気づけられるものだった」と語った。発表を受けて、研究室の学生が締め切り間際の論文を慌てて書き換えたエピソードを披露すると、会場は笑いに包まれた。

同大大学院理学研究科2年の和知慎吾さん(23)は「重力波だけでなく、ブラックホールも直接観測したことになると分かり、ためになった」と話していた。

重力波は、質量を持った物体が動いた時に周囲の時空にゆがみが生じ、そのゆがみが光速でさざ波のように宇宙空間に伝わる現象。物理学者のアインシュタインが「一般相対性理論」で存在を予言し、世界中の研究者が観測に挑戦していた。

重力波観測について解説する大阪市立大学大学院理学研究科の神田展行教授＝大阪市住吉区で、川平愛撮影

大阪工大 真貝教授「予想通りで驚いた」

大阪工業大情報科学部の真貝寿明教授（一般相対性理論）は「祝・重力波の直接検出」と題して、研究室のウェブページに一般向けの緊急解説記事を掲載した。昨年には一般向けの解説書「ブラックホール・膨張宇宙・重力波 一般相対性理論の100年と展開」を出版している。「こんなにも予想通りのものが見つかるのかと驚いた。素晴らしい発見だ」と感想を語った。

今後の研究については「日本でもKAGRAを使い、改めて重力波を確認したり、海外のチームと協力して重力波がどこから来たものなのかを調べたりしていくことが重要だ」と話した。【畠山哲郎】

毎日新聞　2016/2/13

news.com.au

2016/4/21

sport

Cameron McEvoy wears his passion on his swimming cap

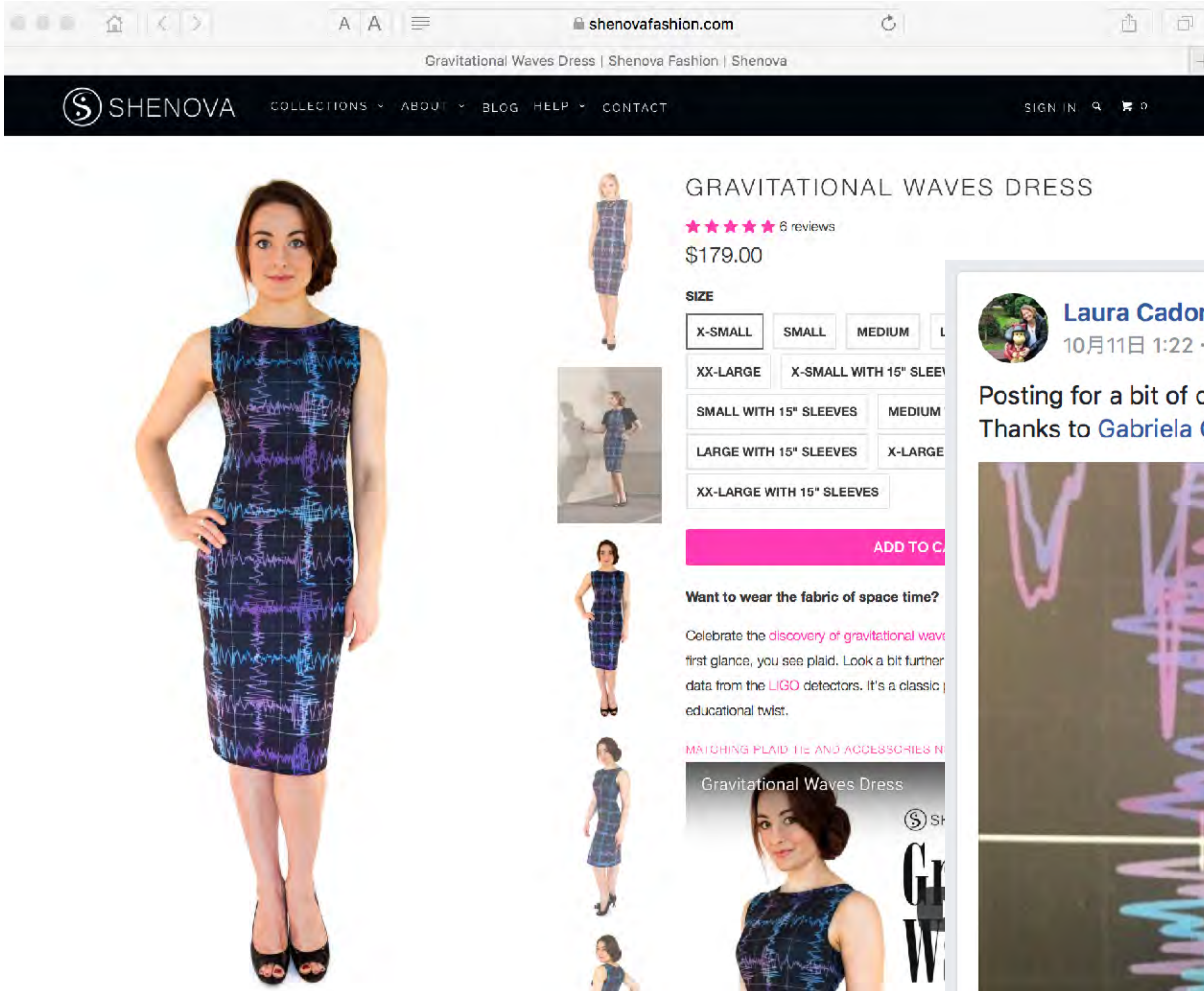
Swimmer and physics student Cameron McEvoy is sporting the signature of a gravitational wave on his cap.

Cameron McEvoy wins a 100m heat with the gravitational wave on his Bond University club cap. *Source:AAP*

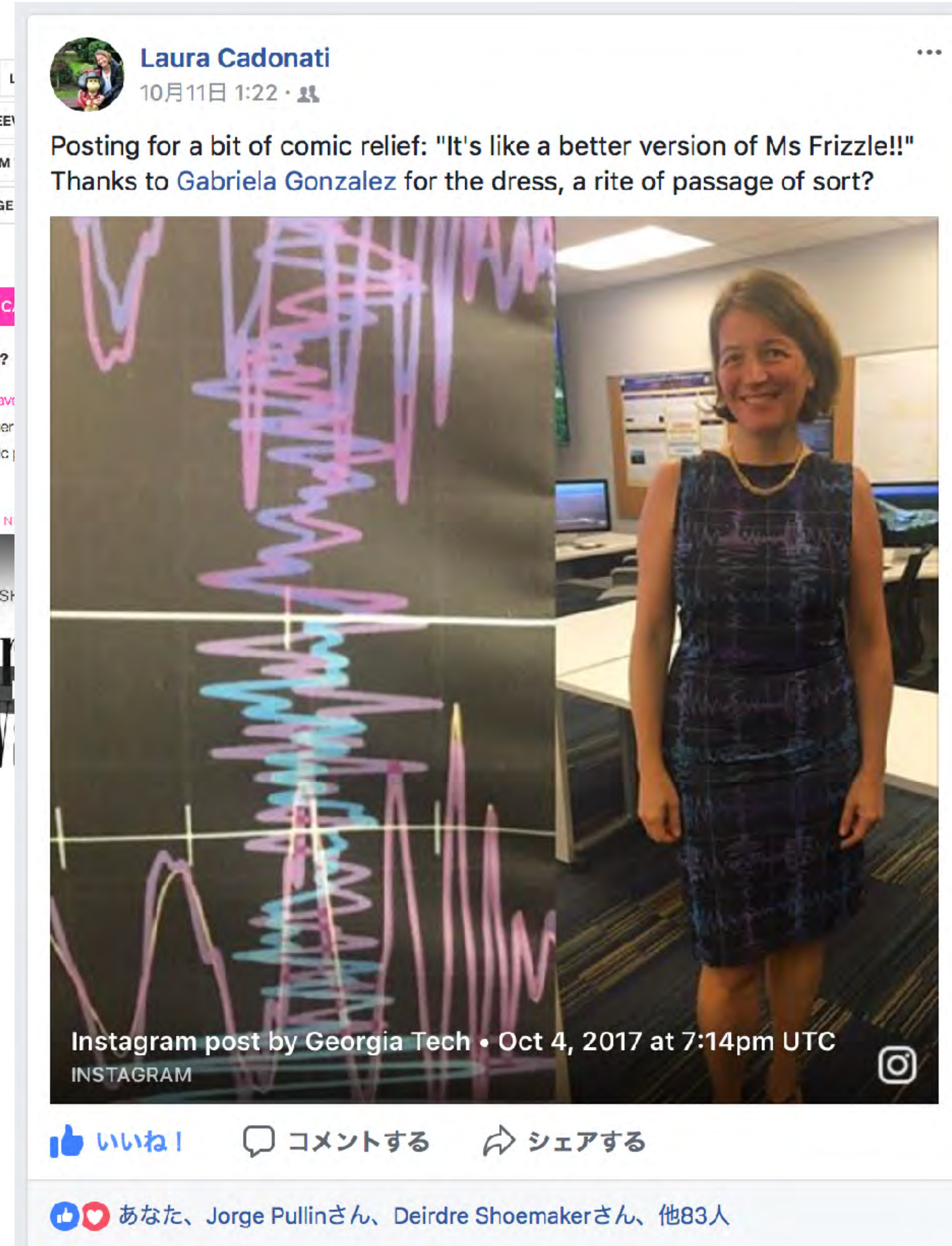
The discovery has made a big impression on McEvoy, 21, whose heroes tend to be scientists rather than swimmers.

"It's the 100th anniversary of Einstein's general theory of relativity, which is his theory of gravity and coincidentally, physicists at Advanced LIGO (observatory) discovered gravitational waves, which is the stretching and contraction of space-time itself — everything we move in and pretty much what the universe is,'' he said.

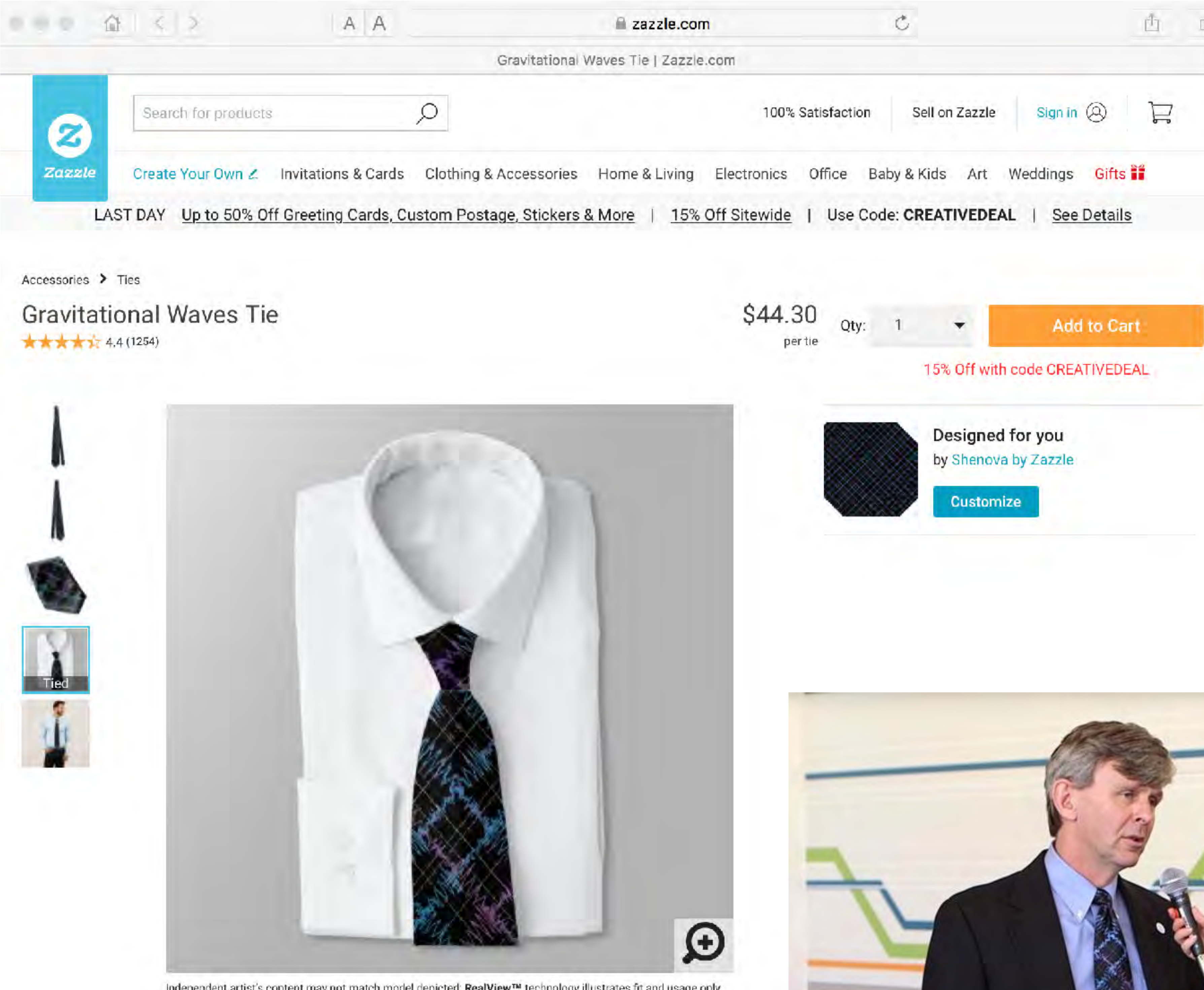
2017/10



shenovafashion.com
Gravitational Waves Dress | Shenova Fashion | Shenova
SHENOVA
COLLECTIONS
ABOUT
BLOG
HELP
CONTACT
SIGN IN
GRAVITATIONAL WAVES DRESS
6 reviews
$179.00
SIZE
X-SMALL
SMALL
MEDIUM
XX-LARGE
SMALL WITH 15" SLEEVES
LARGE WITH 15" SLEEVES
X-LARGE
XX-LARGE WITH 15" SLEEVES
Want to wear the fabric of space time?
Gravitational Waves Dress



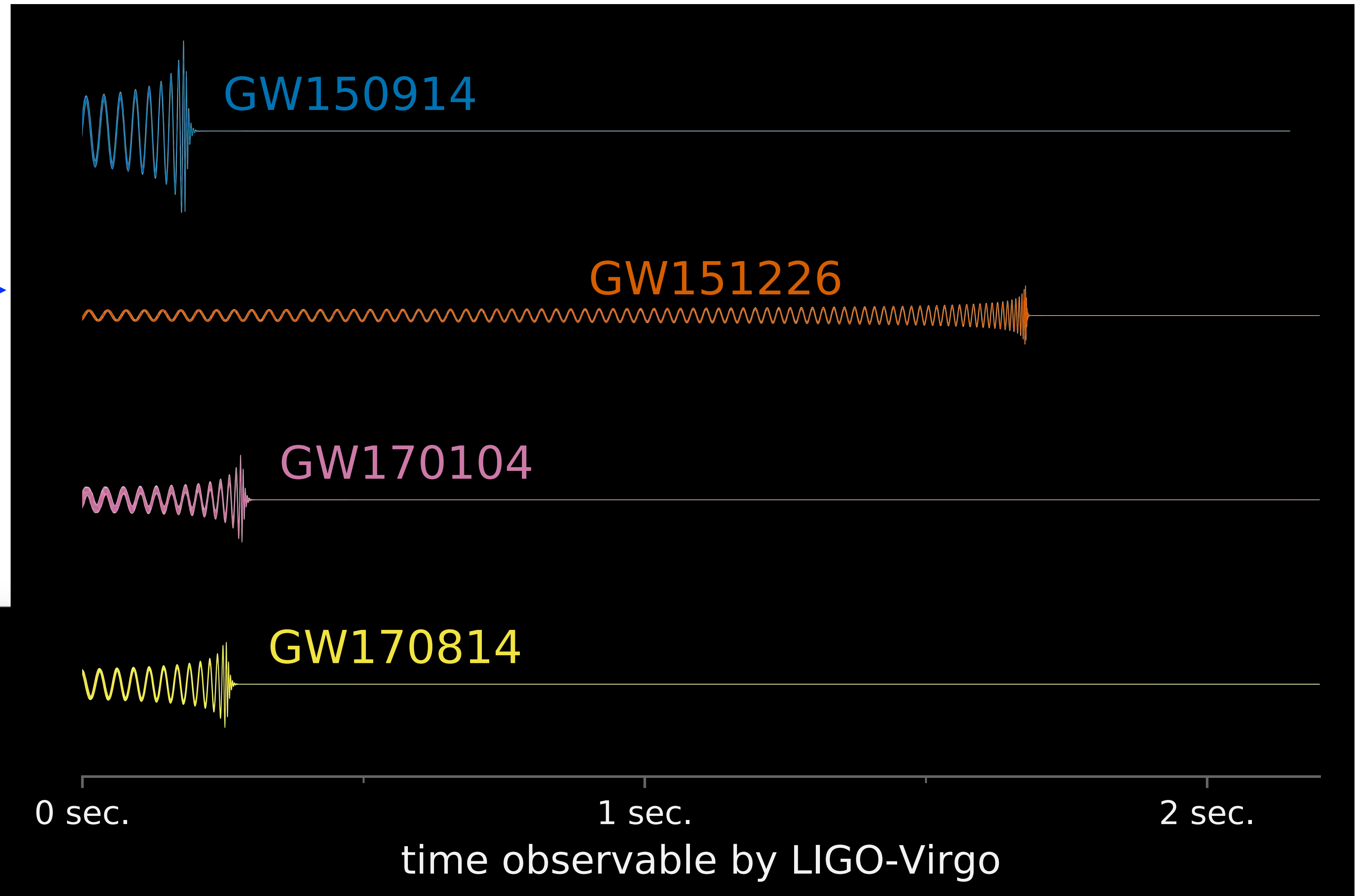
Laura Cadonati
10月11日 1:22
Posting for a bit of comic relief: "It's like a better version of Ms Frizzle!!" Thanks to Gabriela Gonzalez for the dress, a rite of passage of sort?
Instagram post by Georgia Tech • Oct 4, 2017 at 7:14pm UTC
INSTAGRAM
いいね！
コメントする
シェアする
あなた、Jorge Pullinさん、Deirdre Shoemakerさん、他83人

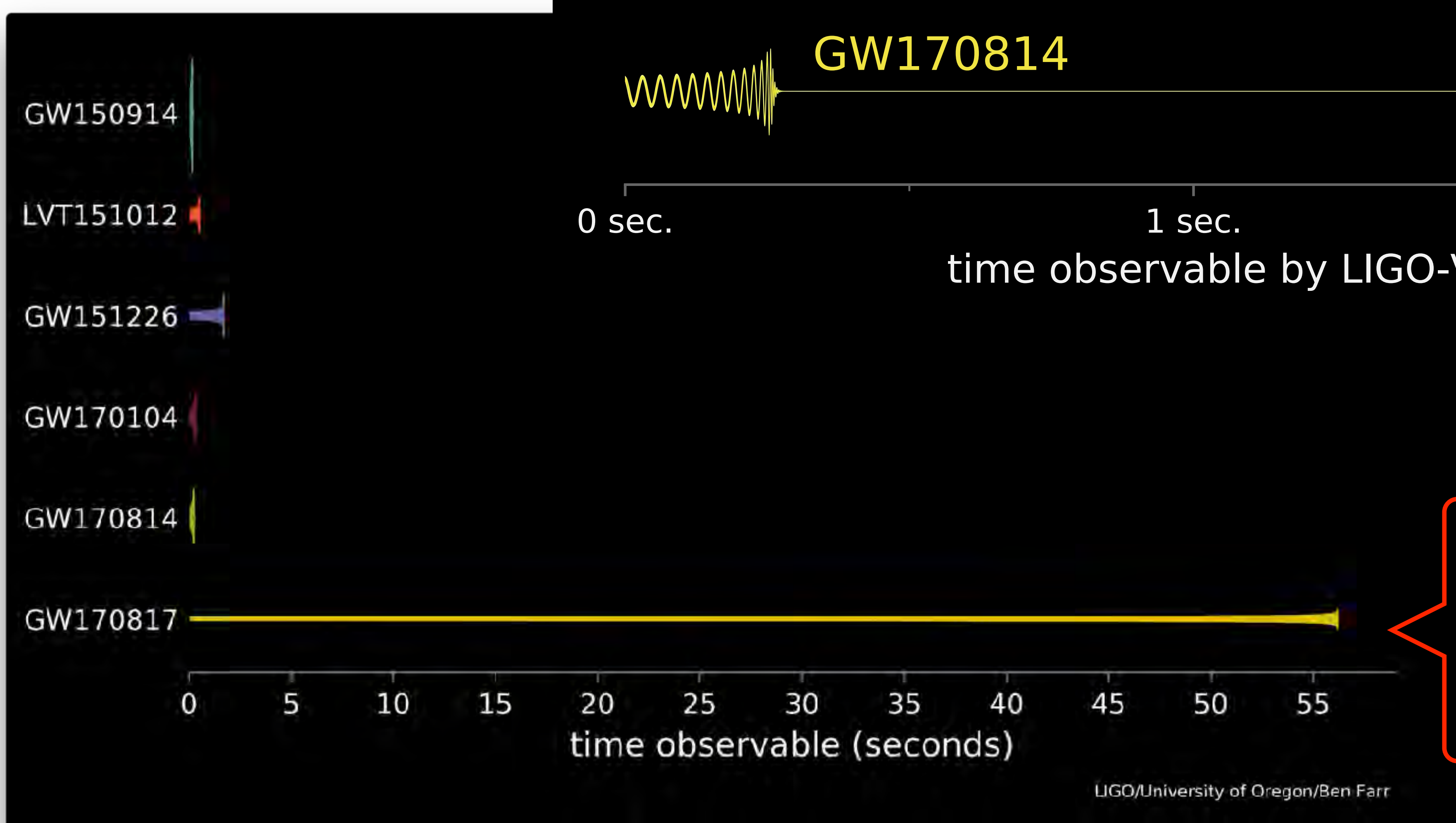

zazzle.com
Gravitational Waves Tie | Zazzle.com
Zazzle
Search for products
100% Satisfaction
Sell on Zazzle
Sign in
Create Your Own
Invitations & Cards
Clothing & Accessories
Home & Living
Electronics
Office
Baby & Kids
Art
Weddings
Gifts
LAST DAY Up to 50% Off Greeting Cards, Custom Postage, Stickers & More | 15% Off Sitewide | Use Code: CREATIVEDEAL | See Details
Accessories > Ties
Gravitational Waves Tie
4.4 (1254)
$44.30
per tie
Qty: 1
Add to Cart
15% Off with code CREATIVEDEAL
Designed for you
by Shenova by Zazzle
Customize
Tied
Independent artist's content may not match model depicted; RealView™ technology illustrates fit and usage only.

連星中性子星合体　重力波検出，多くの天文台が同時観測

GW170817

これまでのBHBH合体による重力波

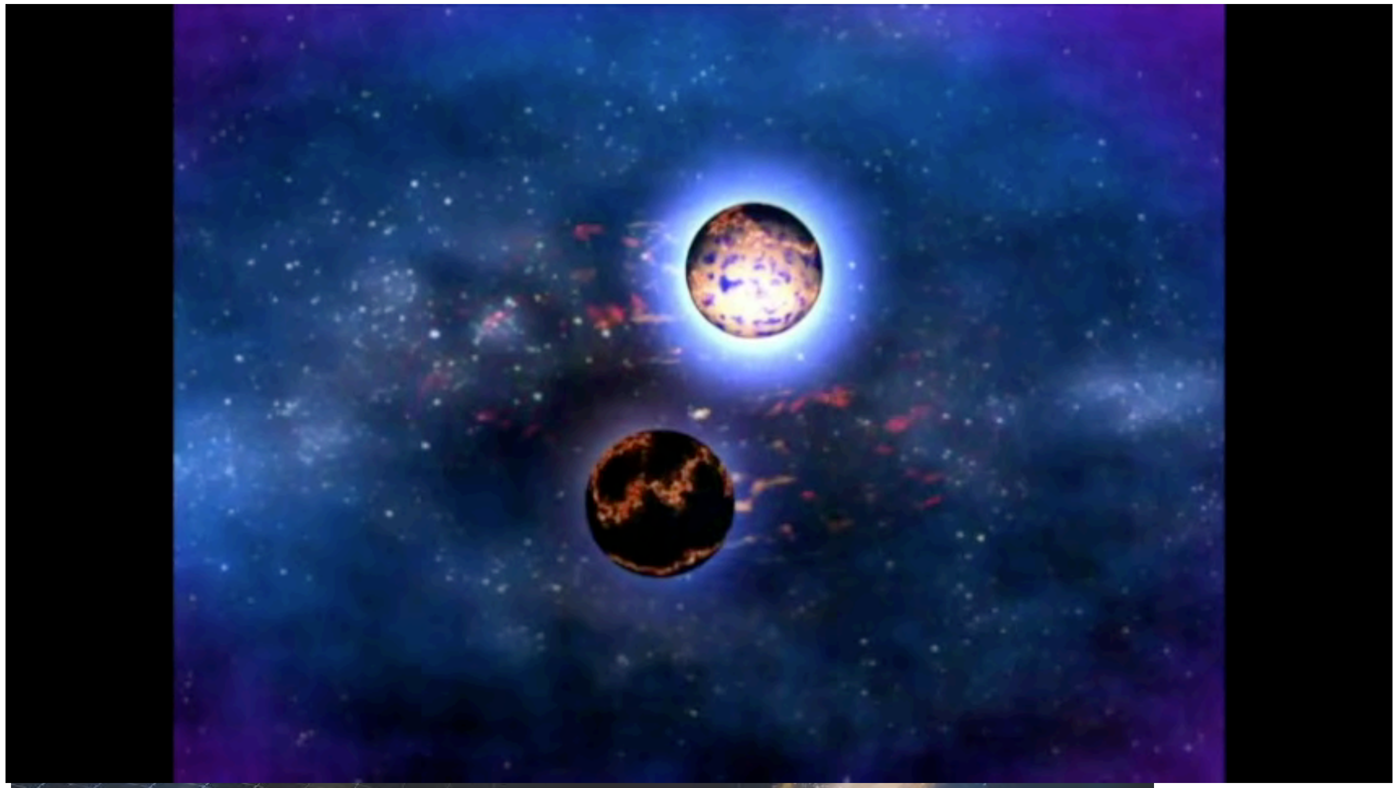


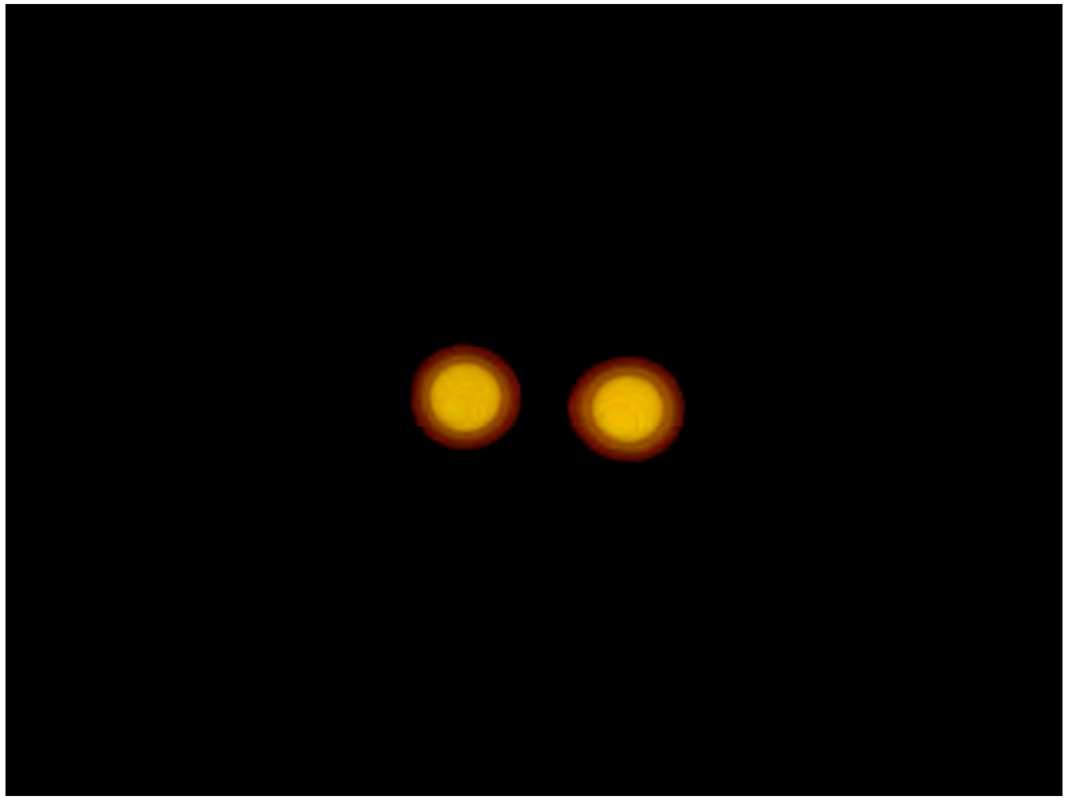


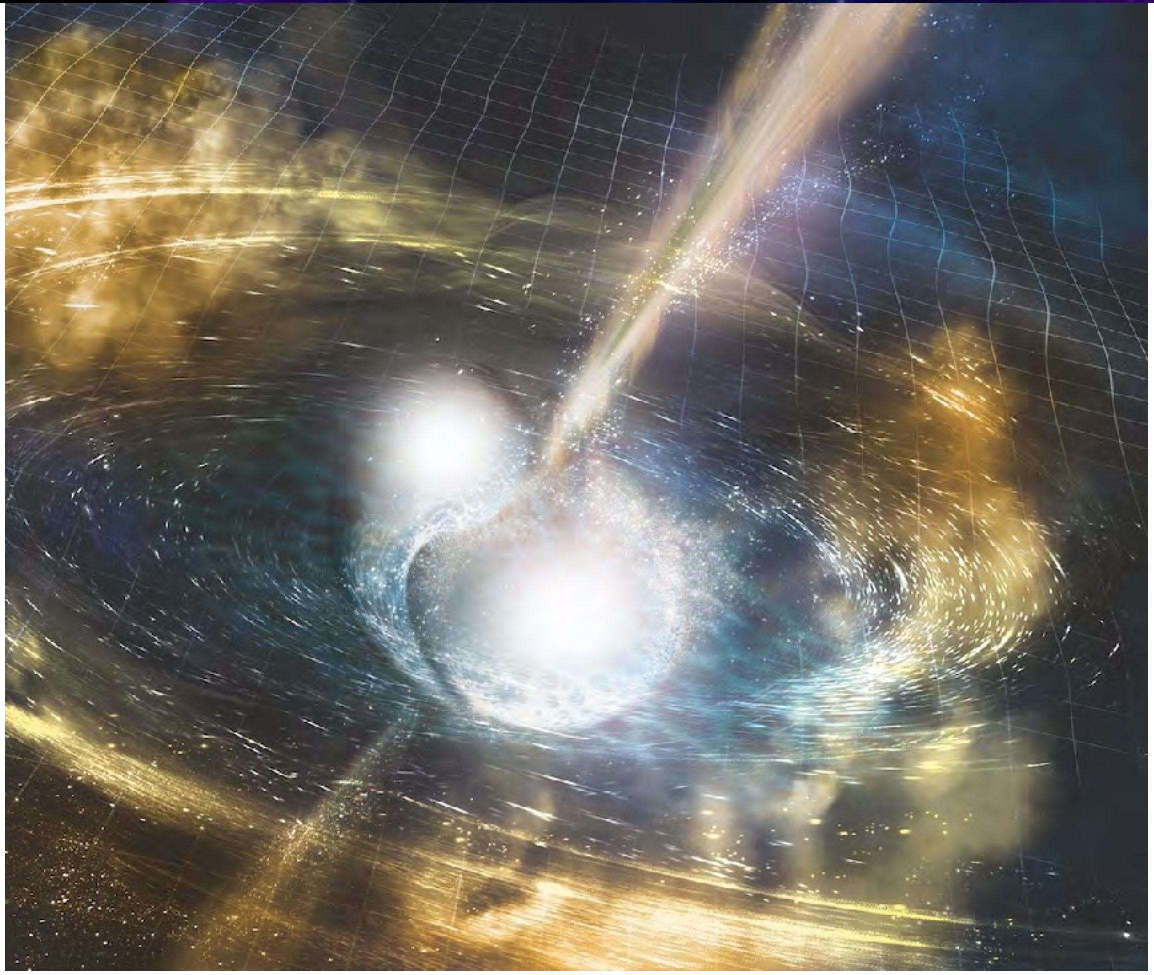
今回のNSNS合体による重力波

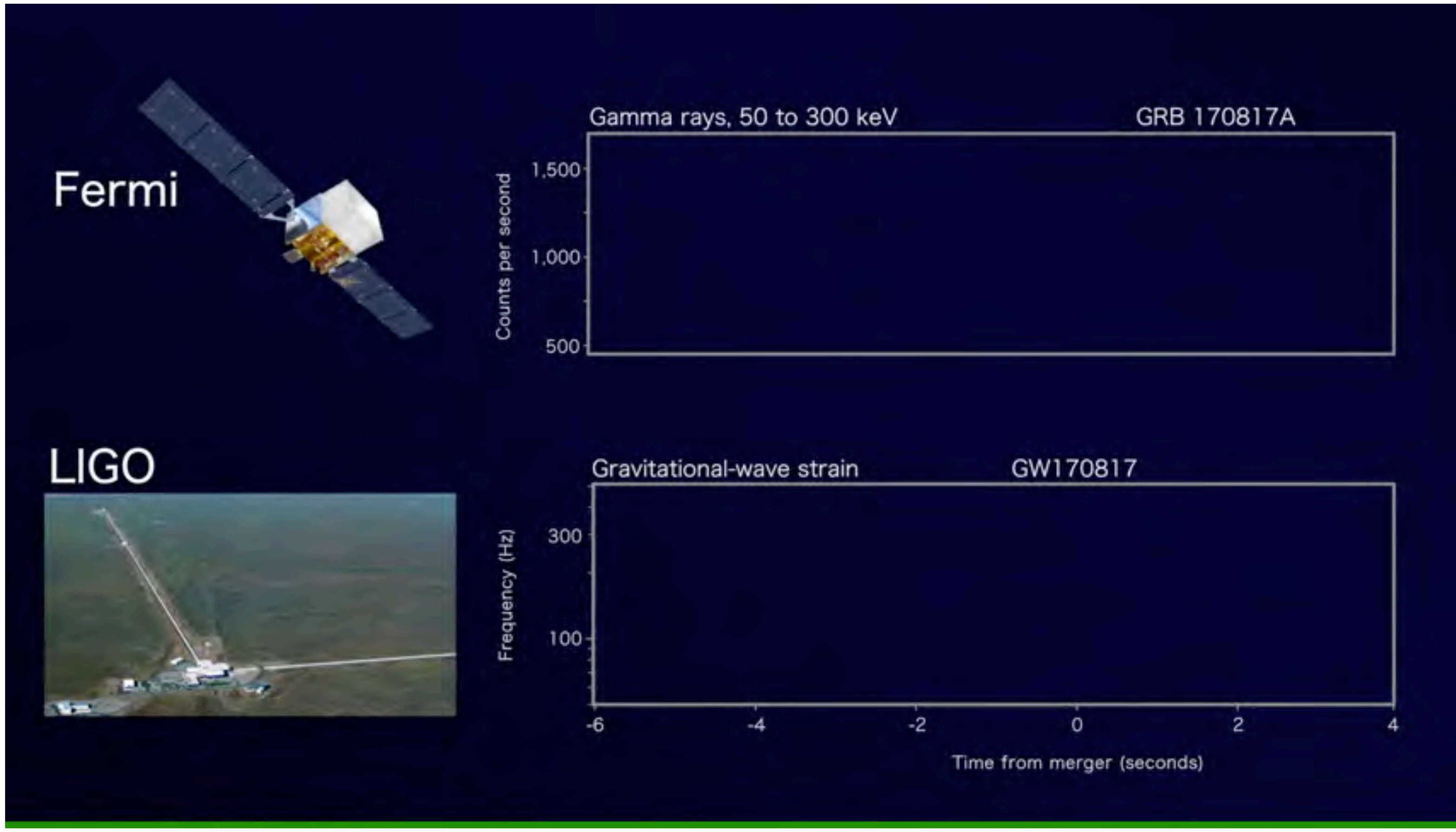
連星中性子星合体　重力波検出，多くの天文台が同時観測

GW170817



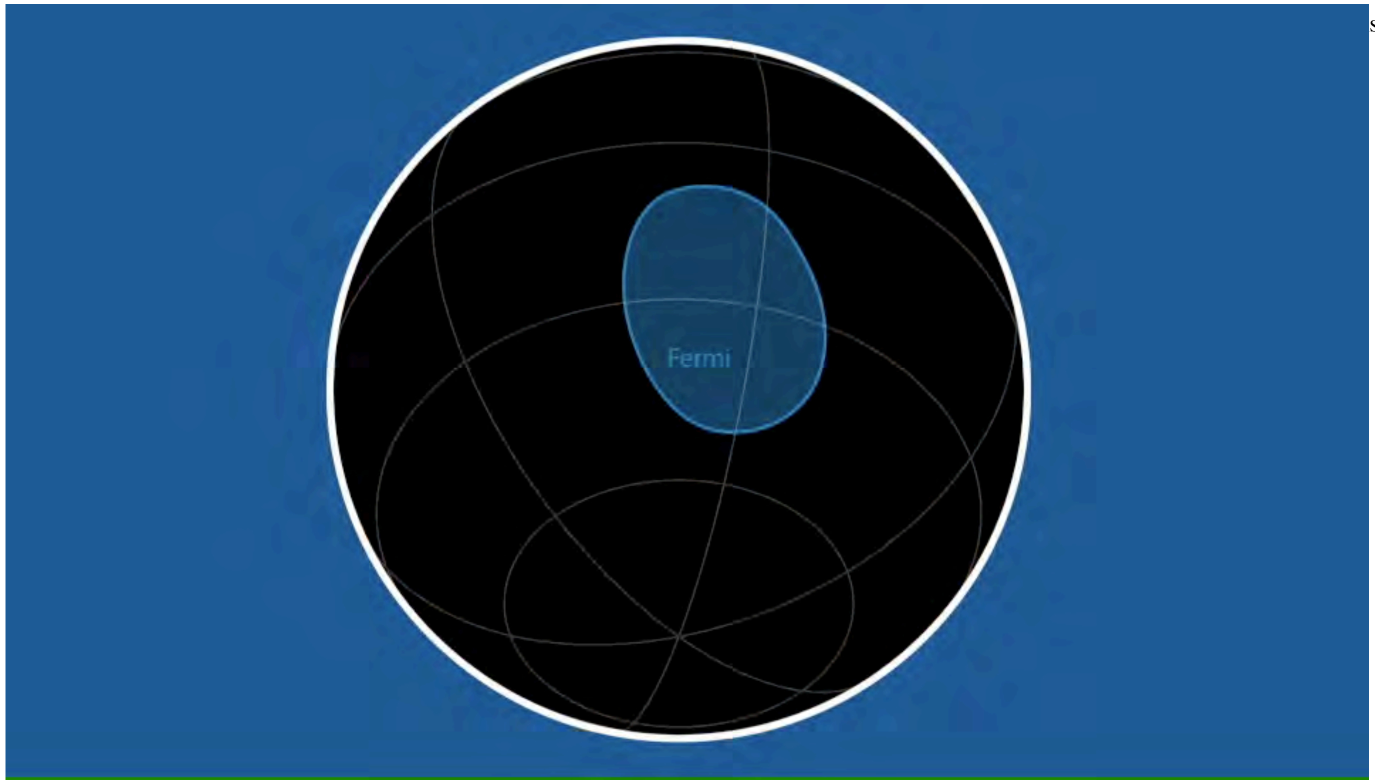


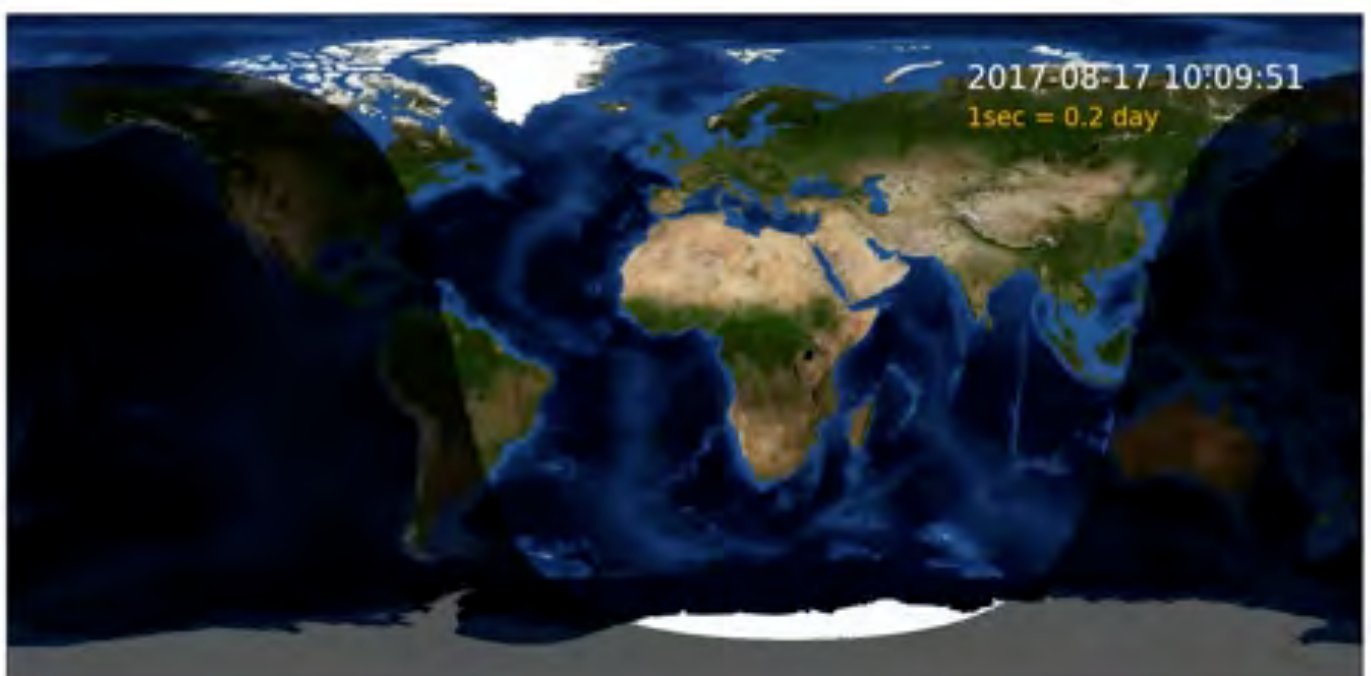




連星中性子星合体　重力波検出，多くの天文台が同時観測

GW170817





波源はNGC4993（40Mpc先）！

1億3000万光年先

STROPHYSICAL JOURNAL LETTERS, 848:L12 (59pp), 2017 October 20

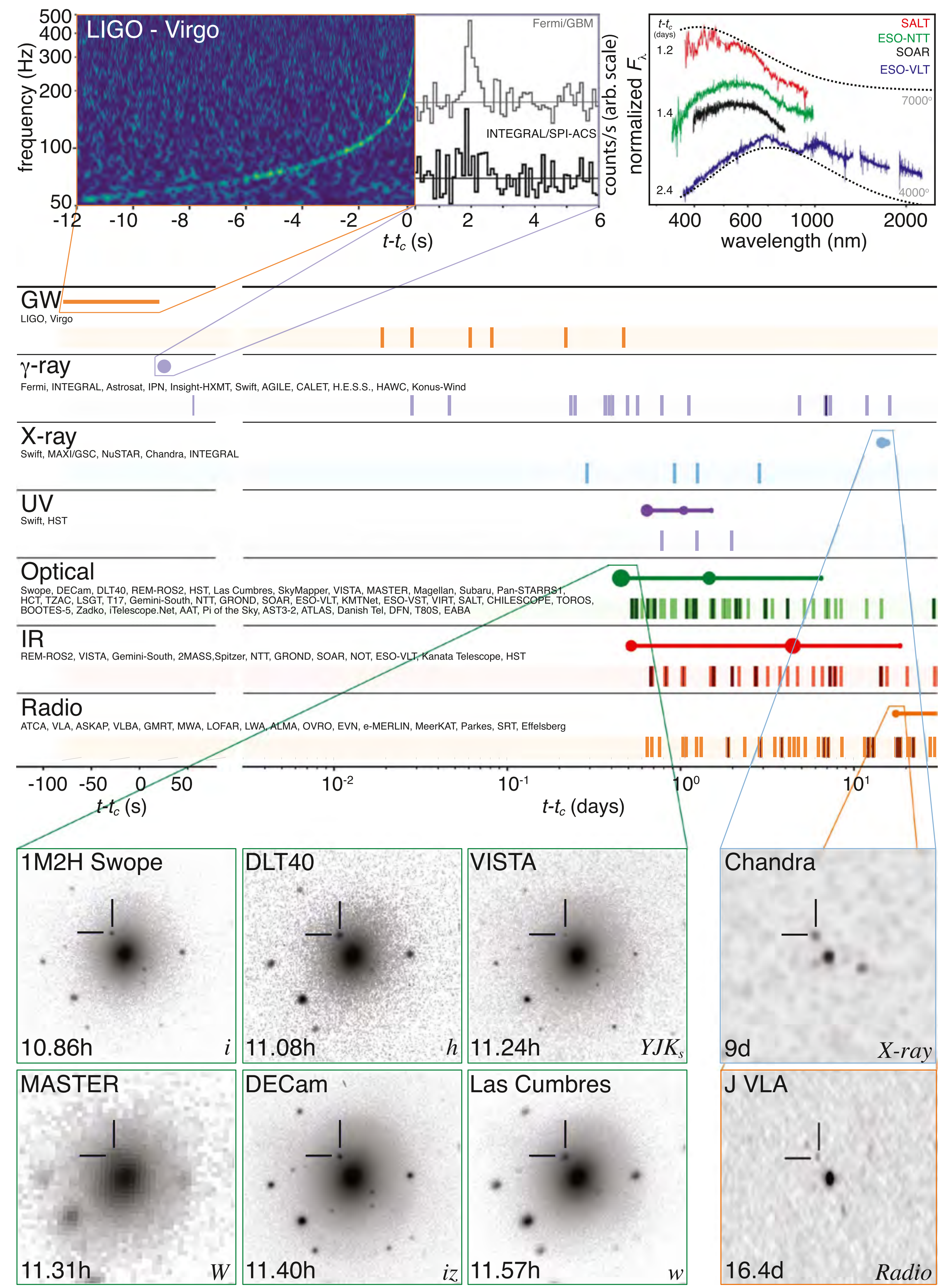
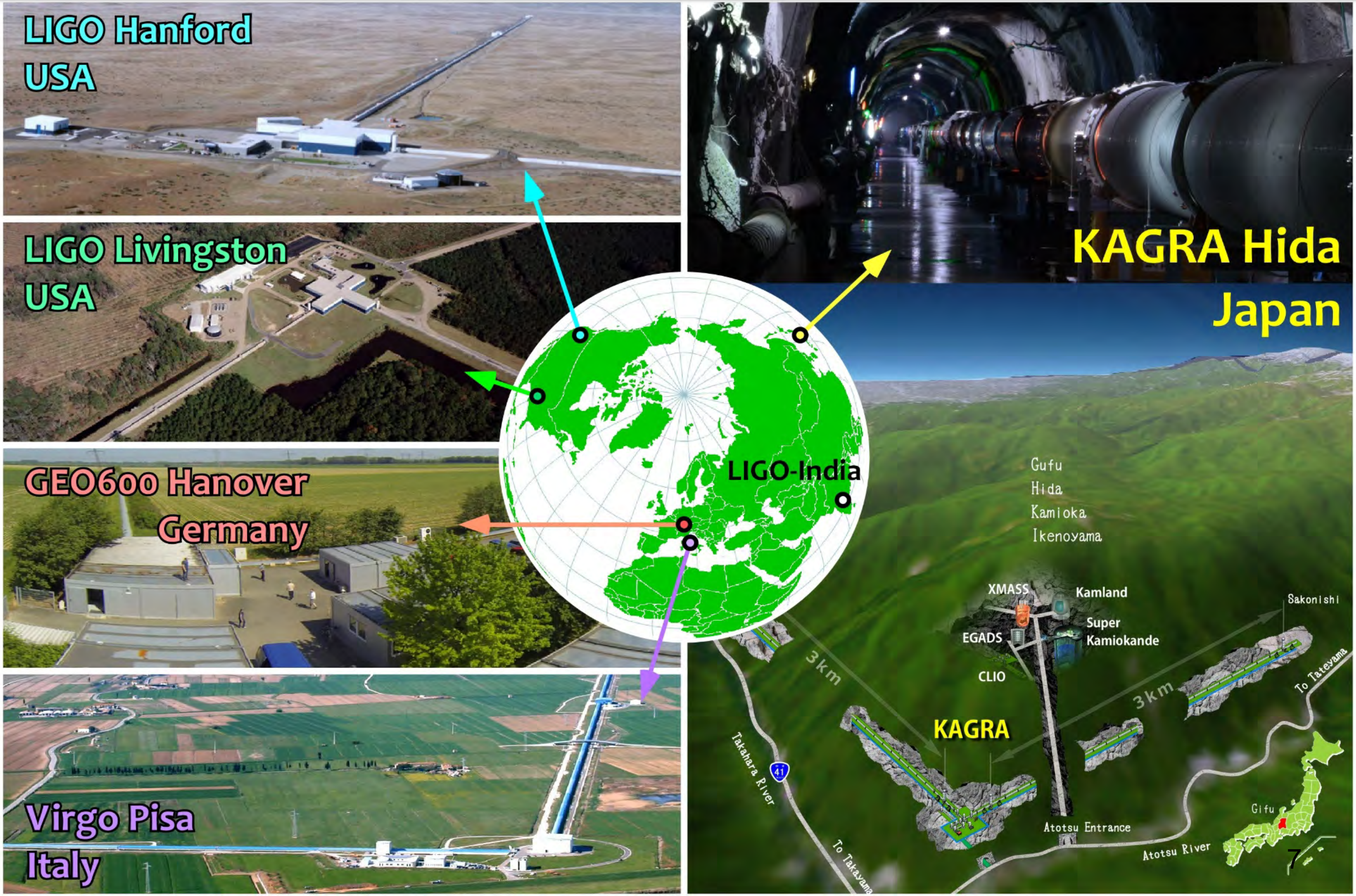


Figure 2. Timeline of the discovery of GW170817, GRB 170817A, SSS17a/AT 2017gfo, and the follow-up observations are shown by messenger and w
relative to the time t_c of the gravitational-wave event. Two types of information are shown for each band/messenger. First, the shaded dashes represent the t

世界の重力波干渉計



LIGO Hanford
USA
LIGO Livingston
USA
GEO600 Hanover
Germany
Virgo Pisa
Italy
KAGRA Hida
Japan
LIGO-India
Gufu
Hida
Kamioka
Ikenoyama
XMASS
Kamland
Super
Kamiokande
EGADS
CLIO
KAGRA
Sakonishi
3km
3km
To Tateyama
Takahara River
41
Atotsu Entrance
Atotsu River
To Takayama
Gifu

KAGRA（かぐら：大型低温重力波望遠鏡）

Kamioka Gravitational wave detector

<u>望遠鏡の大きさ：基線長 3km</u>

<u>望遠鏡を神岡鉱山内に建設</u>

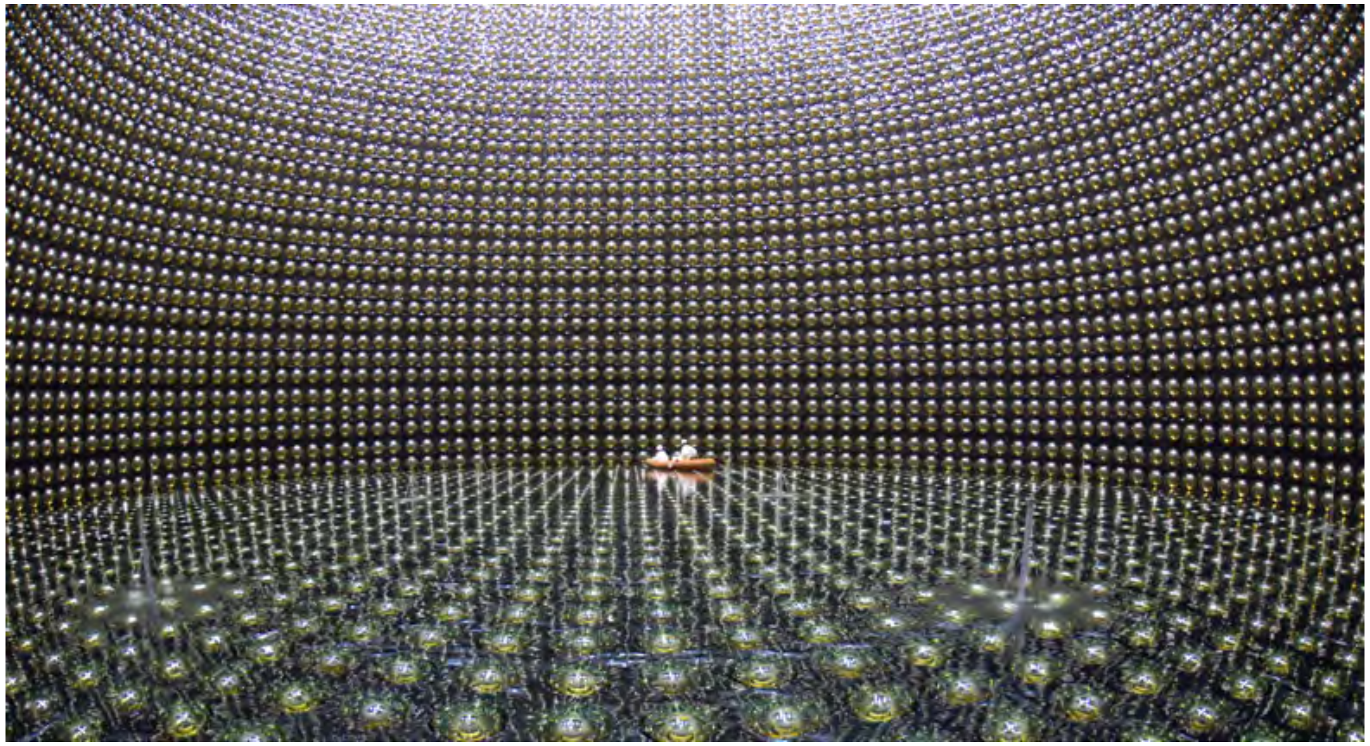
<u>鏡をマイナス250度（20K）まで冷却</u>
熱雑音を小さくするため

<u>鏡の材質としてサファイア</u>
光学特性に優れ、低温に冷却すると熱伝導や機械的損失が少なくなる

http://gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/plan/history

スーパー・カミオカンデ（ニュートリノ観測装置）

Super-Kamiokande　http://www-sk.icrr.u-tokyo.ac.jp/sk/



直径40m
高さ40m

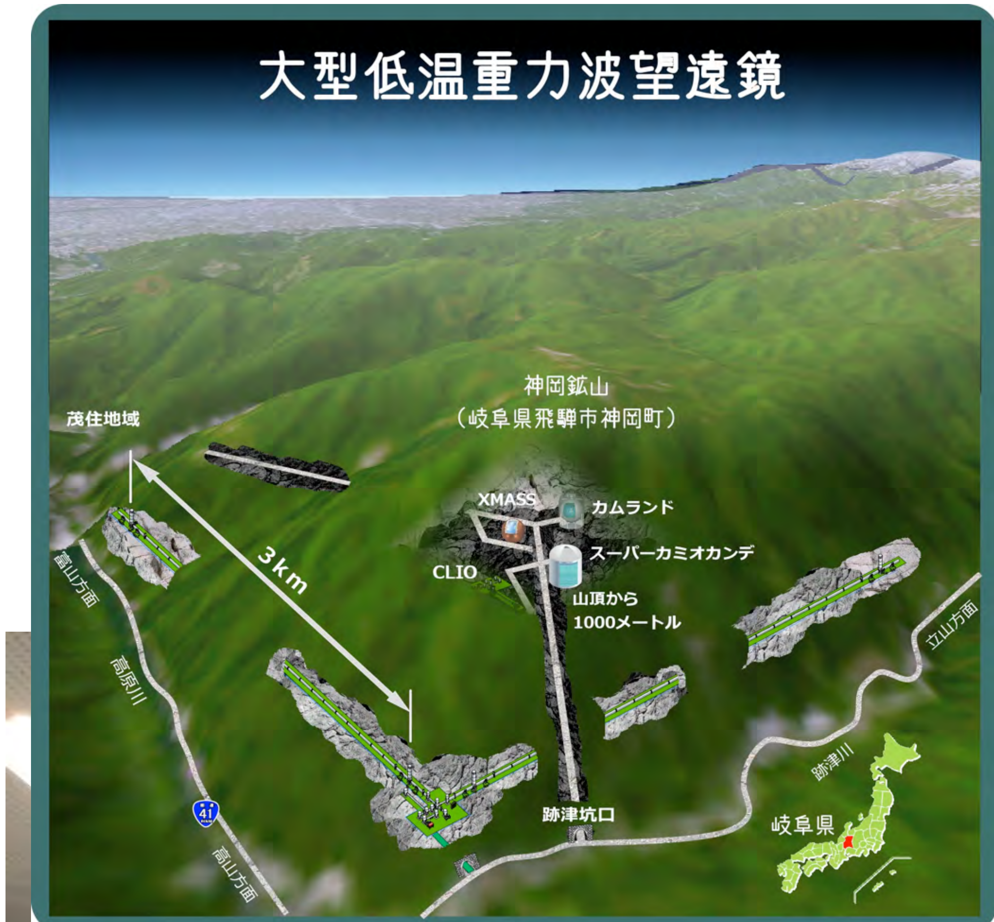
岐阜県・神岡の鉱山跡の空洞に巨大な水槽をつくり，
宇宙から飛来するニュートリノを観測する．

ノーベル物理学賞を受賞

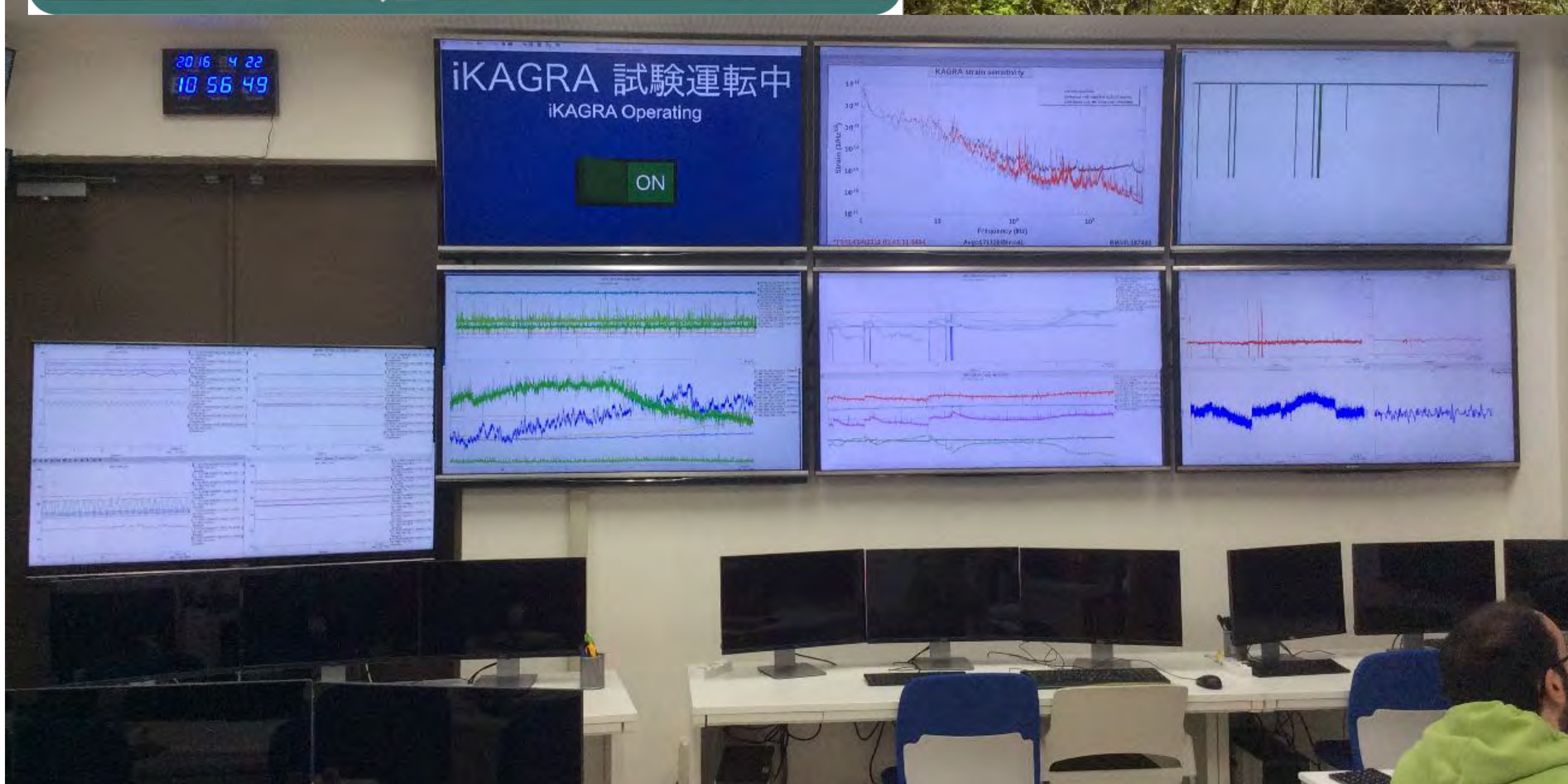
小柴昌俊（2002年）

梶田隆章（2015年）

KAGRA（かぐら：大型低温重力波望遠鏡）

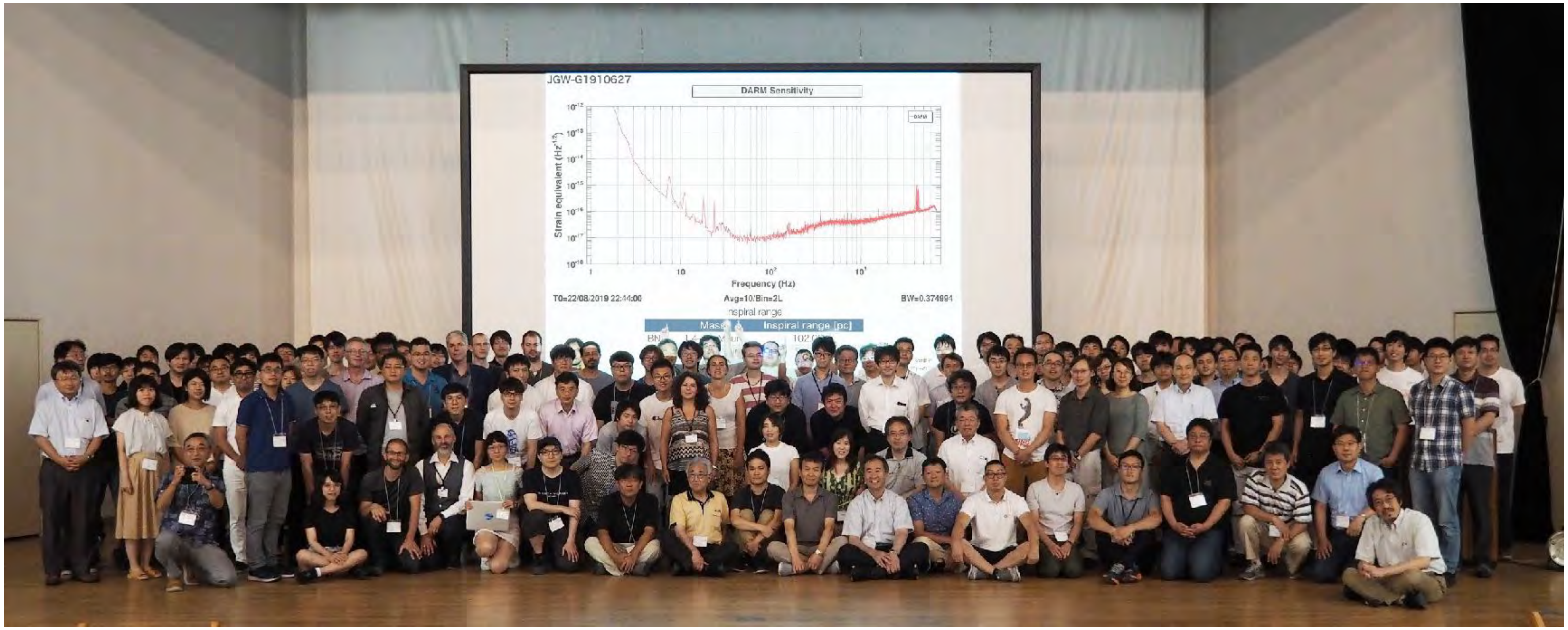


2016年4月



KAGRA（かぐら：大型低温重力波望遠鏡）

KAGRA（かぐら：大型低温重力波望遠鏡）



KAGRA

360 members
200 authors
110 groups
14 regions

KAGRA（かぐら：大型低温重力波望遠鏡）

M1900145-v1, VIR-0091A, and JGW-M1910663

Memorandum of Agreement
between
VIRGO,
KAGRA,
and the
Laser Interferometer Gravitational Wave Observatory (LIGO)
October 2019

Purpose of agreement:

The purpose of this Memorandum of Agreement (MOA) is to establish and define a collaborative relationship between VIRGO, KAGRA and the Laser Interferometer Gravitational Wave Observatory (LIGO) to develop and exploit laser interferometry to measure and study gravitational waves.

We enter into this agreement in order to lay the groundwork for decades of world-wide collaboration. We intend to carry out the search for and analysis of gravitational waves in a spirit of teamwork, not competition. Furthermore, we remain open to participation of new partners, whenever additional data can add scientific value to the detection and study of gravitational waves. All partners in the world-wide collaboration should have a fair share in the scientific governance of the collaborative work.

Among the scientific benefits we hope to achieve from this collaboration are: better confidence in detection of signals, better duty cycle and sky coverage for searches, better estimation of the location and physical parameters of the sources, and gravitational wave studies based on the detected signals. Furthermore, we believe that the sharing of ideas will also offer additional benefits.

This MOA supersedes the MOU LIGO-M060038-v5 between VIRGO and LIGO, established in March 2019. This MOA also supersedes the MOU JGW-M1201315-v3 between KAGRA, LSC and Virgo scientific collaboration in December 2012.

Details of, and extensions to, this MOA will be provided in Attachments agreed to by LIGO, VIRGO, and KAGRA.

We refer to the joint bodies of the LIGO Scientific Collaboration (LSC), the Virgo Collaboration, and the KAGRA Collaboration as 'LVKC' in this document for brevity. The three Collaborations maintain their independent existence and may have differing (but not mutually incompatible) rules and procedures in some domains.

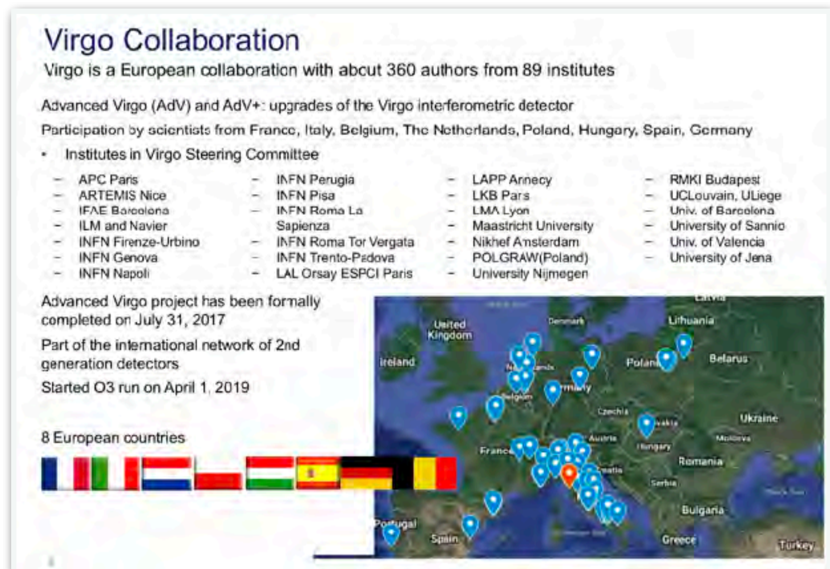
1

2019年10月，アメリカ・ヨーロッパとの研究協定に調印

国際重力波観測ネットワーク

LIGO

VIRGO



KAGRA

LIGO	VIRGO	KAGRA
1330 members	**465 members**	**360 members**
860 authors	**360 authors**	**200 authors**
101 groups	**96 groups**	**110 groups**
20 countries	**8 countries**	**14 regions**

重力波

時空のゆがみ（トランポリンのゆれ）が伝わる

⇒ 小さな小さな波をとらえることができた!
衝突したときの音を聴くことができた！

重力波天文学で何がわかる？

⇒ どういうブラックホールか
⇒ 銀河系がどうできてきたのか
⇒ 宇宙のはじまりはどうなっていたのか
⇒ アインシュタインは正しかったのか

マルチ・メッセンジャー天文学の誕生

	宇宙線	ガンマ線	X 線	光			電磁波					
				紫外線	可視光線	赤外線	マイクロ波	超短波	短波	中波	長波	超長波
波長[m]	10^{-13}	10^{-10}	10^{-9}	3.8×10^{-7}	7.7×10^{-7}	10^{-4}	1	10	10^{2}	10^{3}	10^{4}	
波長[nm]				380	770							
振動数[Hz]		3×10^{18}	3×10^{17}			3×10^{12}	3×10^{8}	3×10^{7}	3×10^{6}	3×10^{5}	3×10^{4}	
利用例		医療／食品照射	医療／X線写真	殺菌	光学機器	赤外線写真	電子レンジ 携帯電話	FMラジオ テレビ	短波ラジオ	AMラジオ	飛行機の通信 電波時計	

ガンマ線

X線

可視光

赤外

電波

重力波