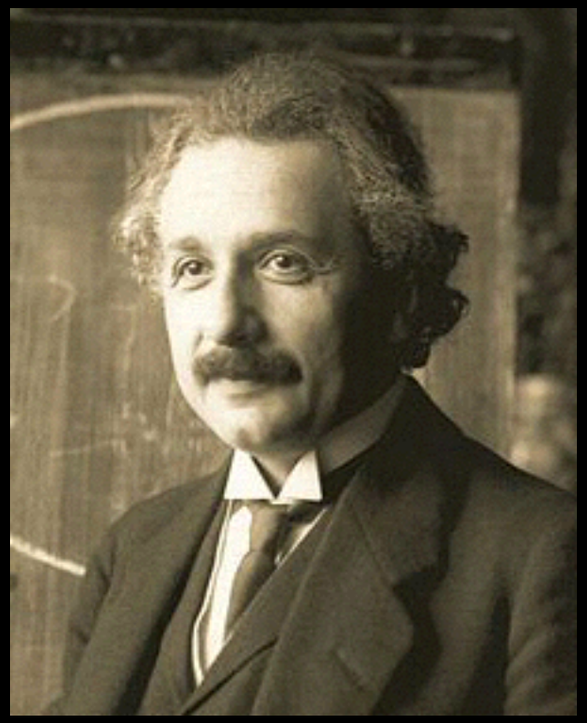
ブラックホールはどう見える？

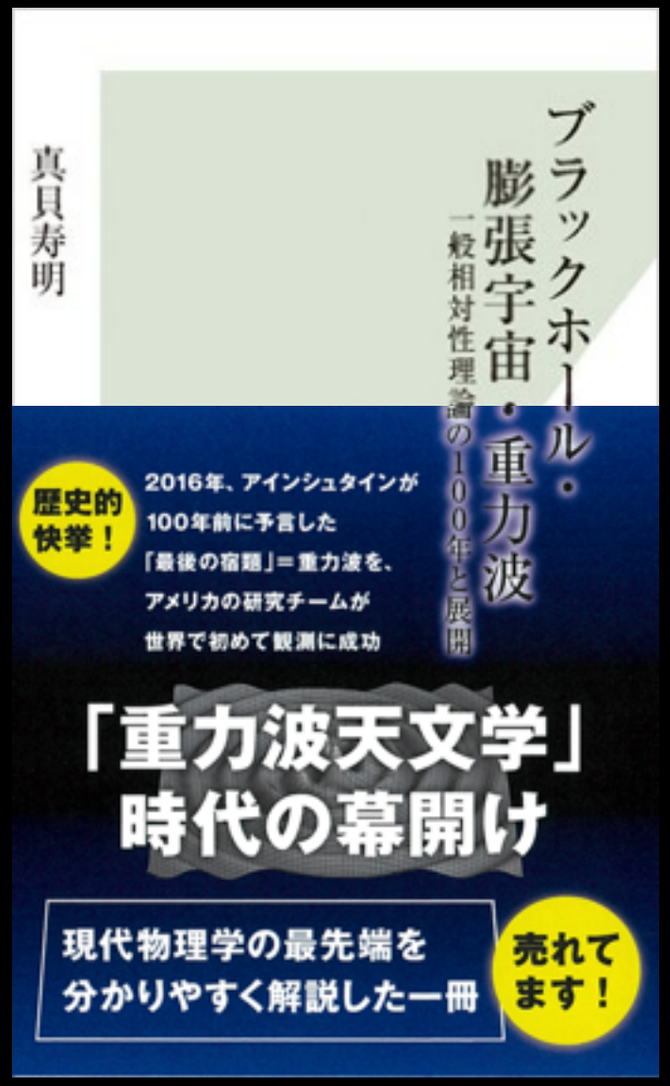


真貝寿明（大阪工業大学）
しんかい ひさあき

2016/8/13　あべのハルカス　宇宙博2016

2011年2月刊

2015年10月刊



『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』
光文社新書
2015年9月刊

2016年7月11日発売

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

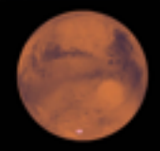
ε
α ベガ
δ
ζ
スラファト γ
β シェリアク

へびつかい座

ラス・アルハゲ α
ケバルライ β
η

土星

火星



わし座

γ タラゼド
アルタイル α
アルシャイン β
ζ
θ
δ
λ

いて座

南斗六星
カウス・アウストラリス ε
ルクバト α

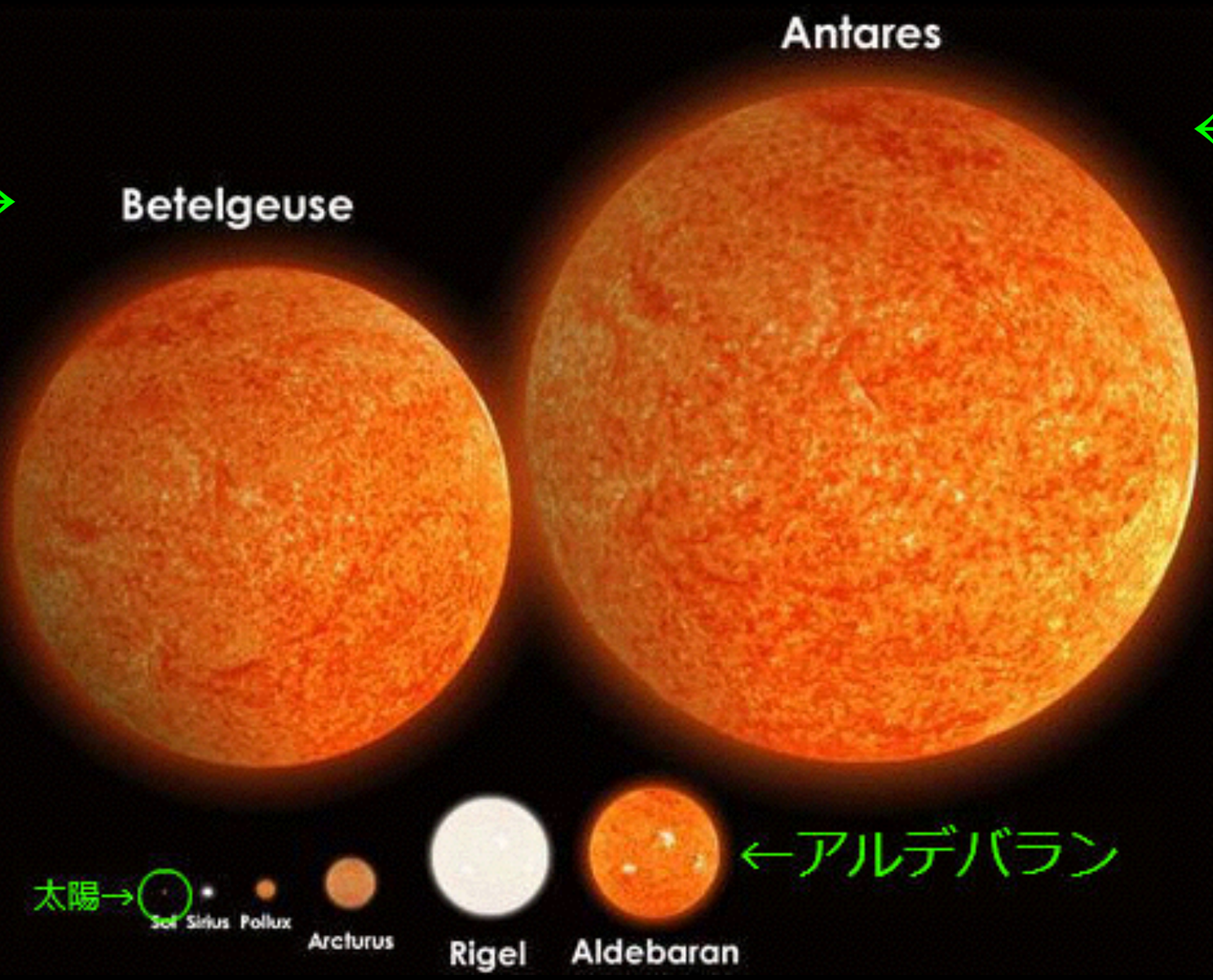
さそり座

β
δ
アンタレス α
M4
ε
M6
λ シャウラ
θ サルガス

ブラックホールとは？

＝重い星がさいごにつぶれたもの

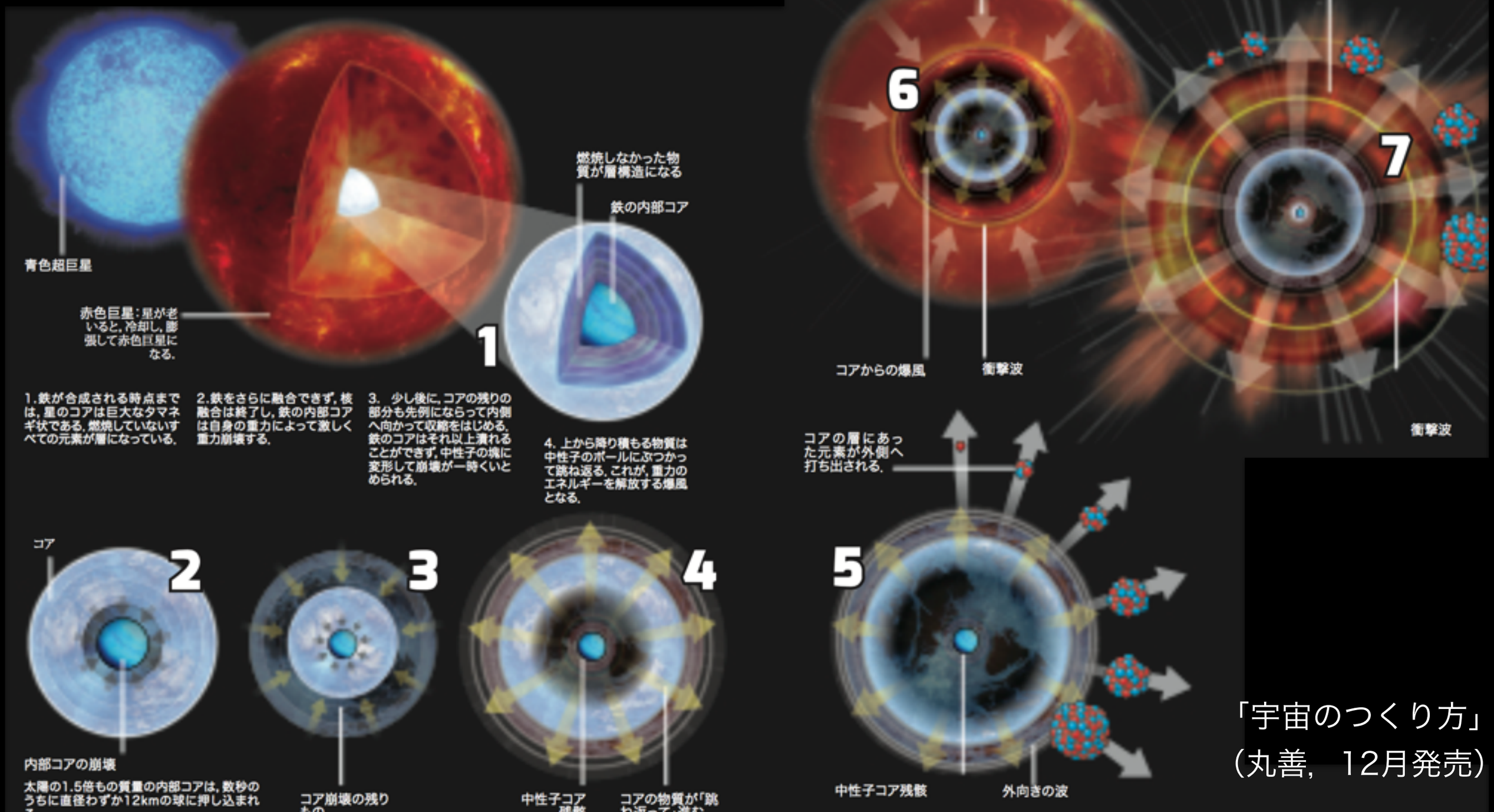
ベテルギウス→
（オリオン座）



←アンタレス
（さそり座）
太陽の700倍
の半径
太陽の15.5倍
の重さ

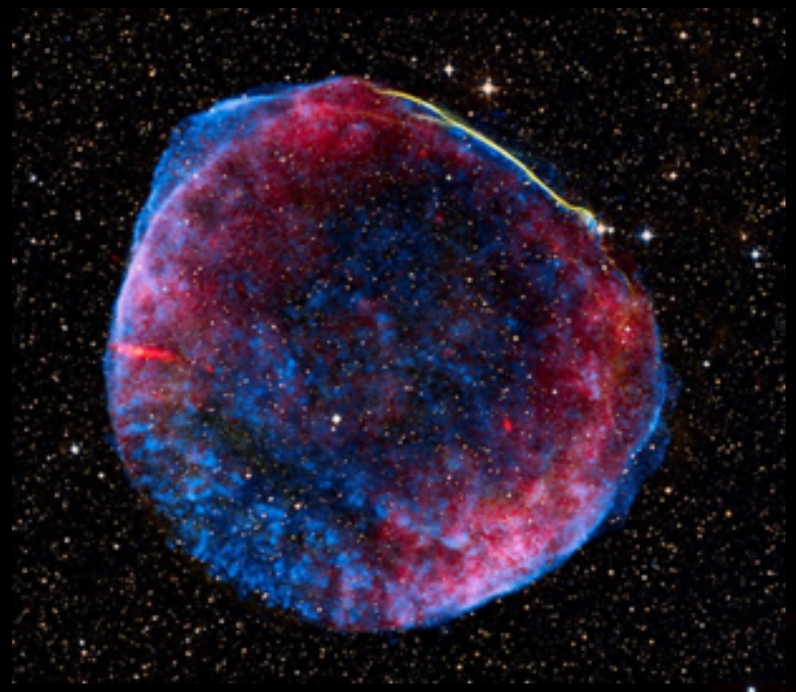
星はさいごに大爆発（超新星爆発）

だいばくはつ　ちょうしんせいばくはつ



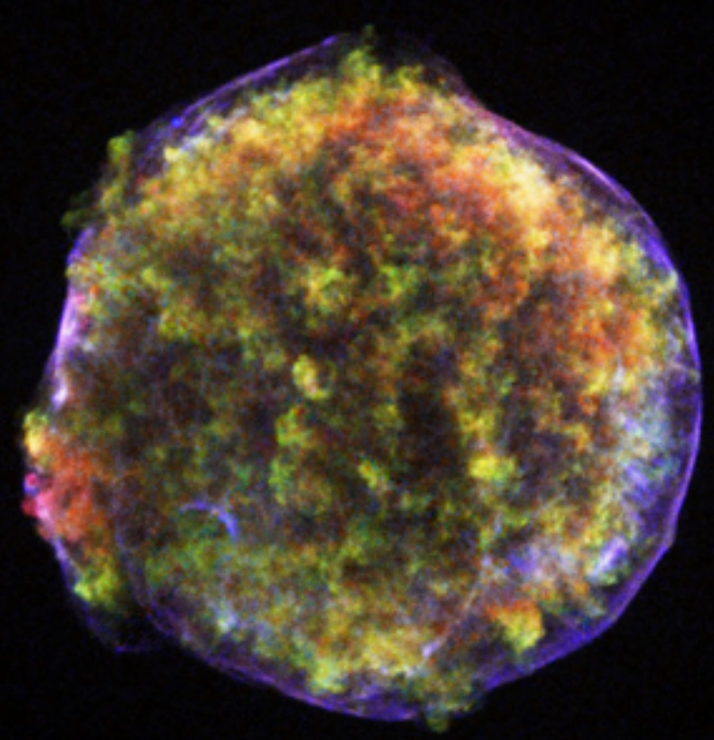
「宇宙のつくり方」
（丸善，12月発売）

星はさいごに大爆発（超新星爆発）



SN1006

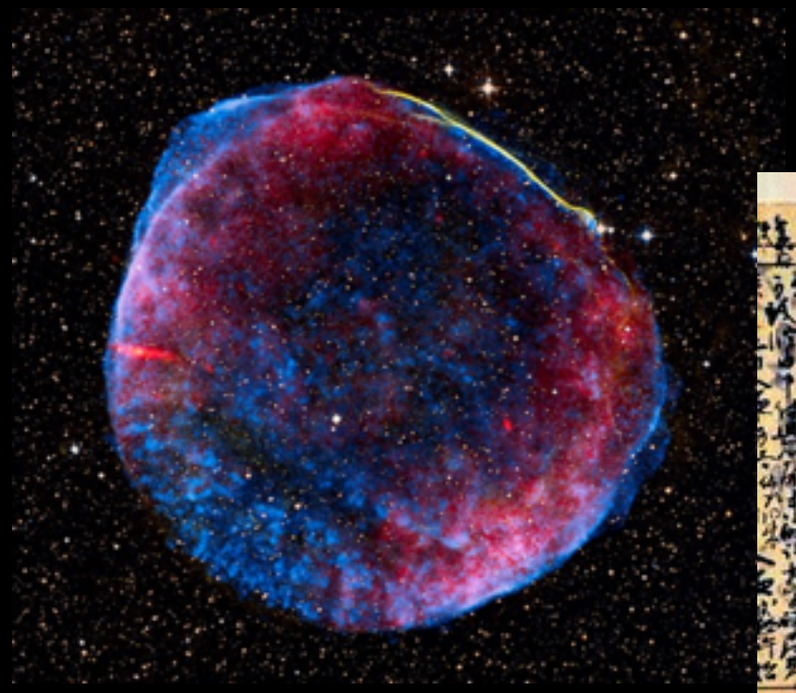
SN1054



SN1572

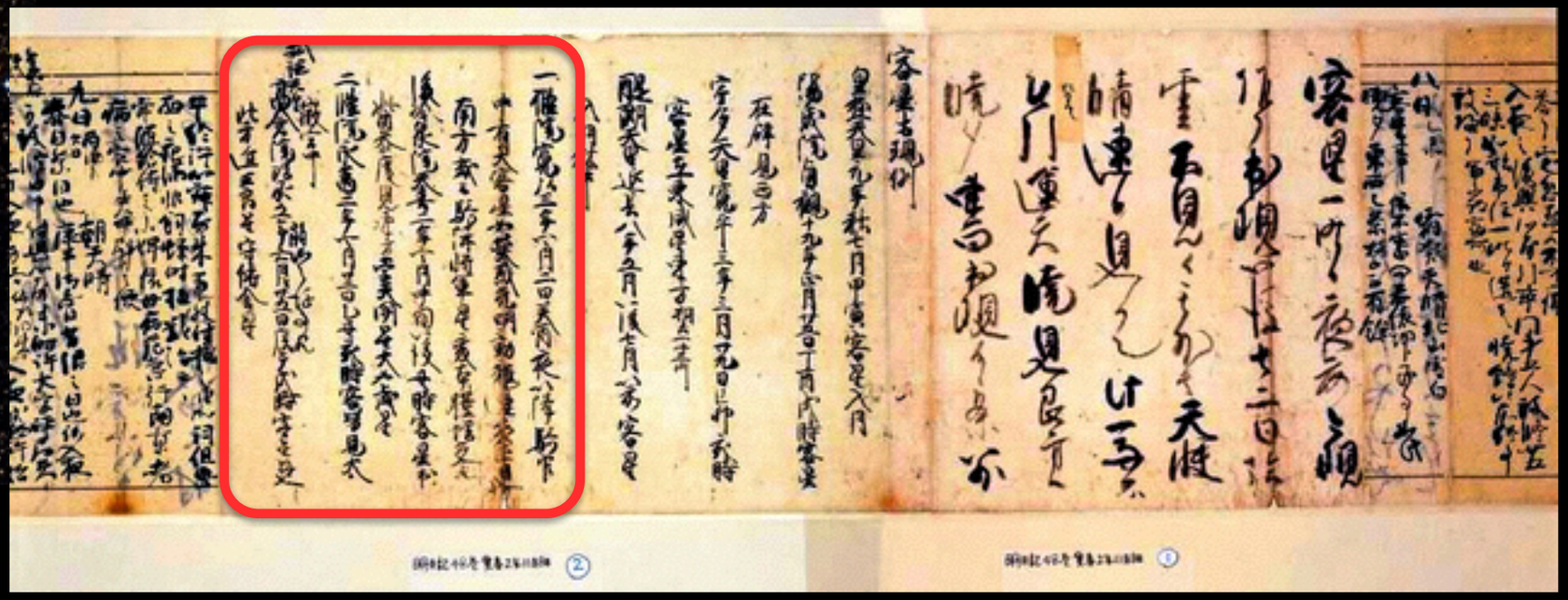
星はさいごに大爆発（超新星爆発）

だいばくはつ　ちょうしんせい　ばくはつ



SN1006

「明月記」の天文現象記載



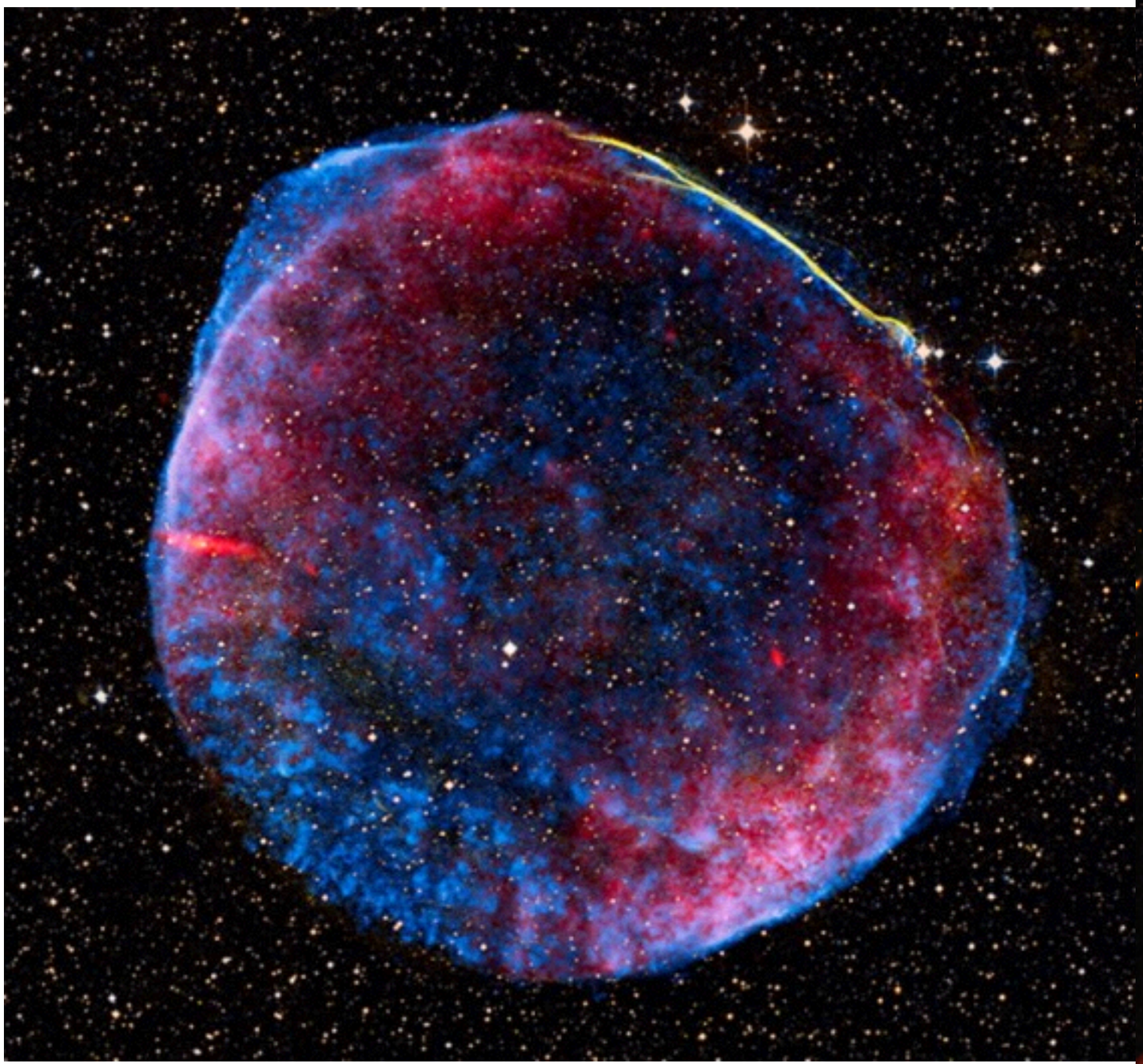
1️⃣安倍清明の息子，安倍吉昌がSN1006を観測

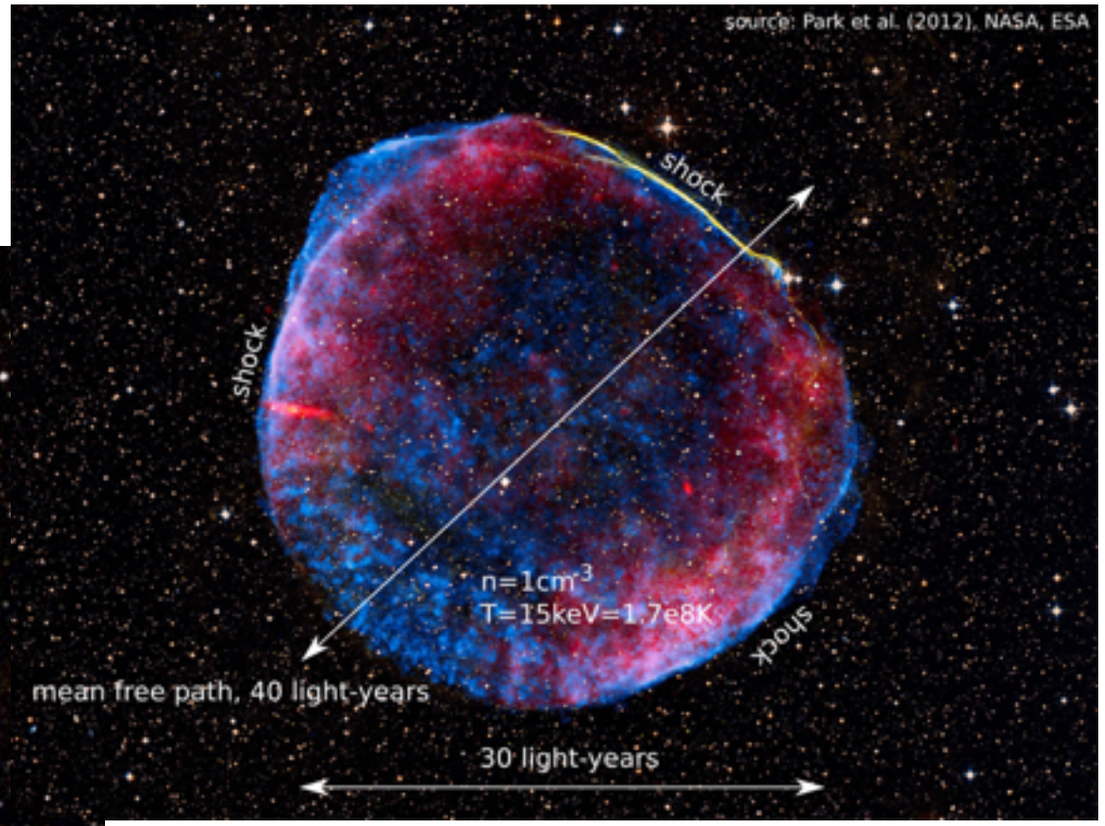
2️⃣清明の子孫（詳細不明）がSN1054を観測

3️⃣清明の子孫（詳細不明）がSN1181を観測

藤原定家本人も見ている可能性あり

SN 1006　超新星残骸
Supernova Remnant





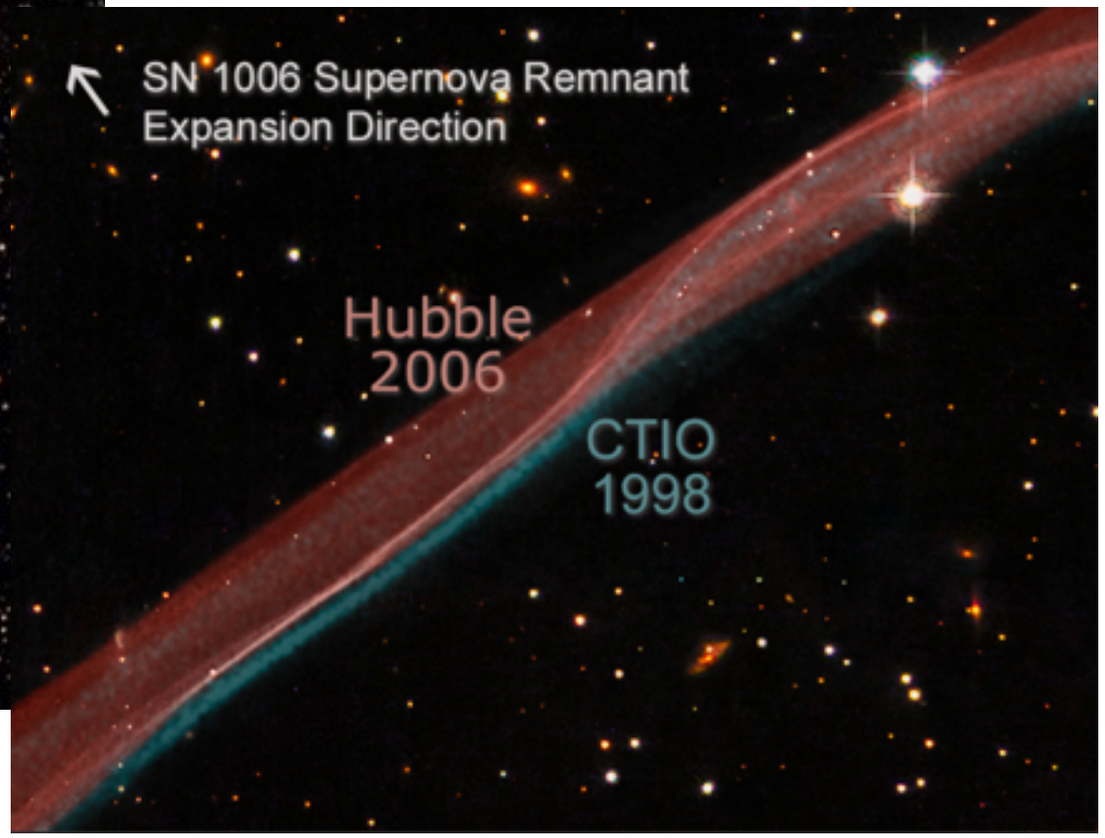
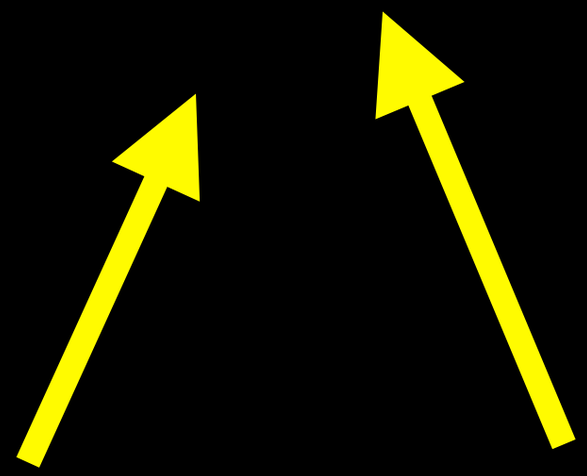


Image credit: Chandra, Hubble, and NRAO teams, retrieved from heasarc.gsfc.nasa.gov.

ブラックホール

＝光も抜け出せない重い重い重い星



重力の正体は？

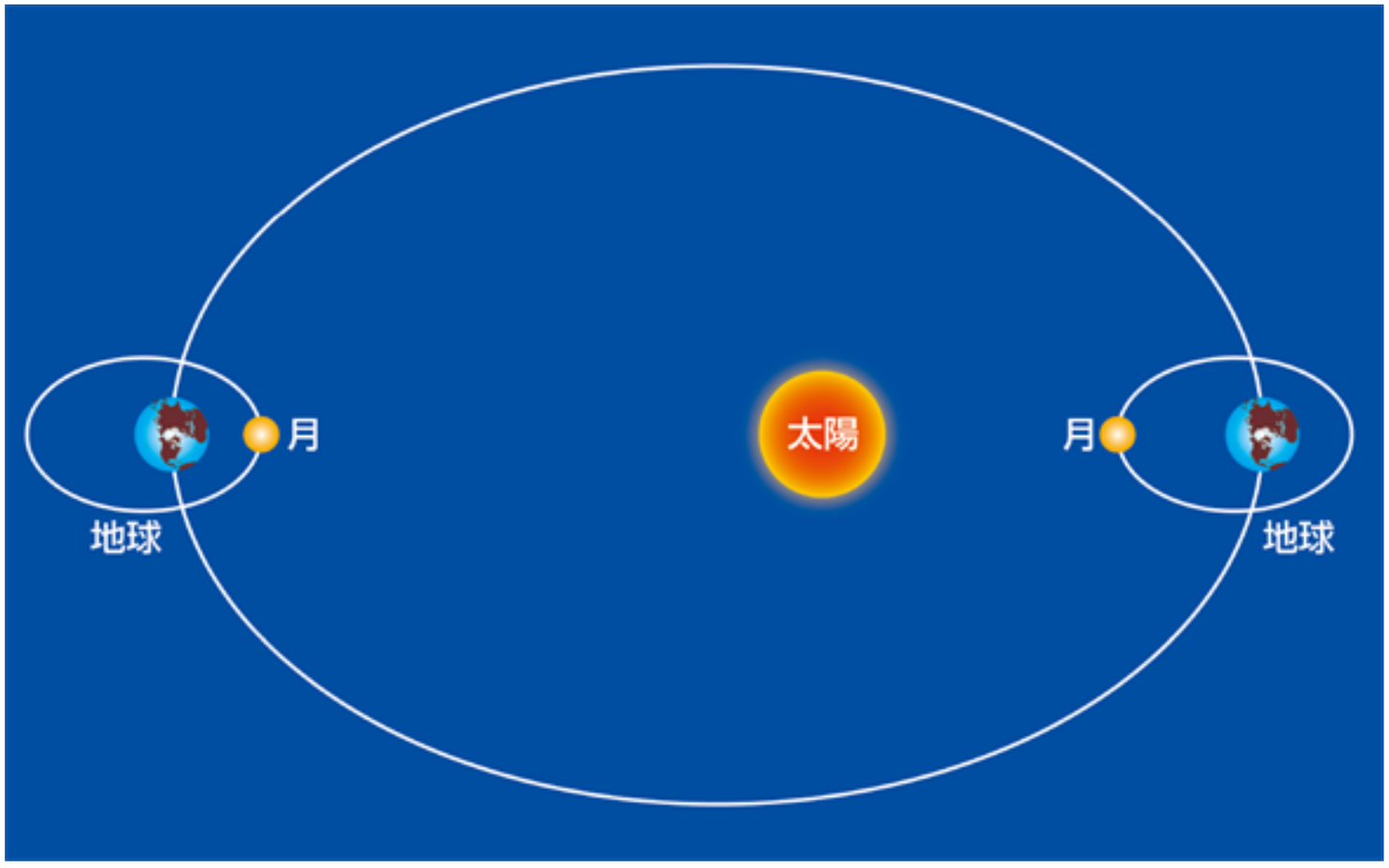
じゅうりょく　しょうたい

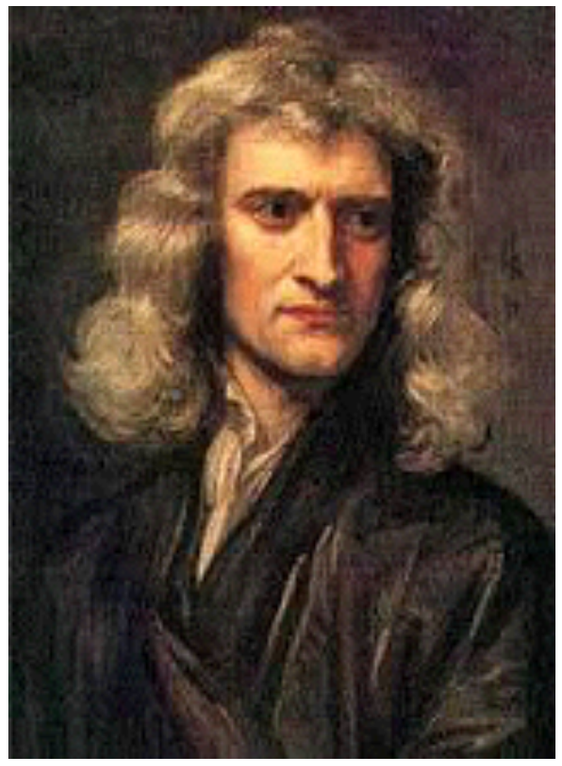
http://hikingartist.com/

重力の正体は？

http://hikingartist.com/

重力の正体は？





ニュートン

ばんゆういんりょく

万有引力

＝すべてのものは引力で引き合う

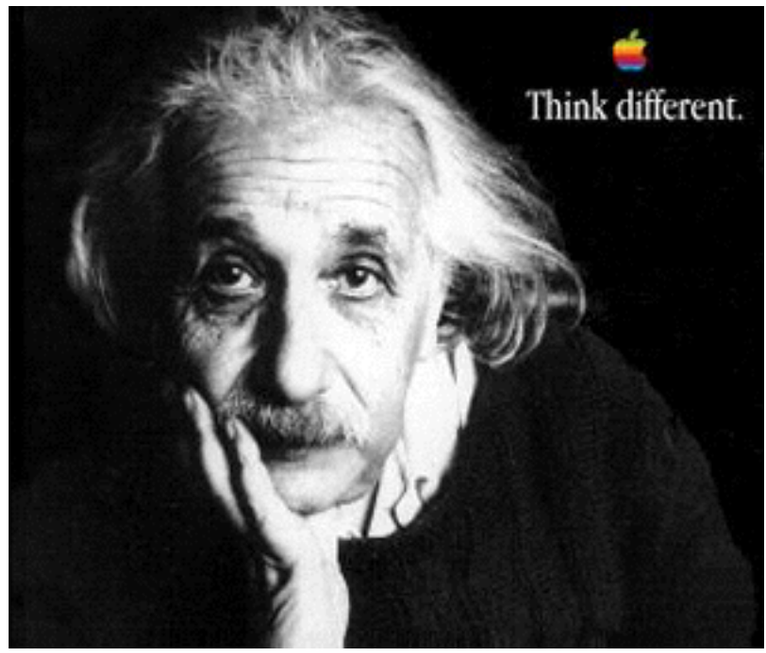
重力の正体は？

http://hikingartist.com/

「万有引力があるからだ」（ニュートン，1687）

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

じくう
「時空のゆがみだ」
（アインシュタイン，1915）



一般相対性理論
いっぱんそうたいせいりろん

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

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

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.

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.

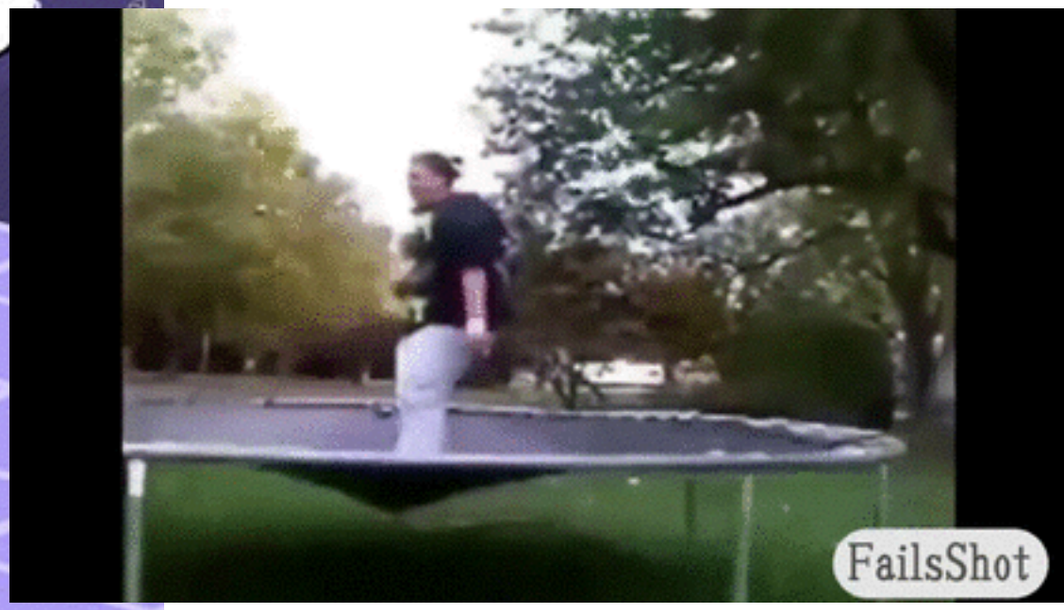
IF YOU JUST TRY TO MOVE IN A STRAIGHT LINE AROUND SUCH A BIG DISTORTION, YOU WILL FIND YOURSELF ACTUALLY MOVING IN A CIRCLE.

THAT'S HOW ORBITS WORK: THERE'S NO ACTUAL FORCE PULLING THE PLANETS AROUND, JUST A BENDING OF THE SPACE.

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.



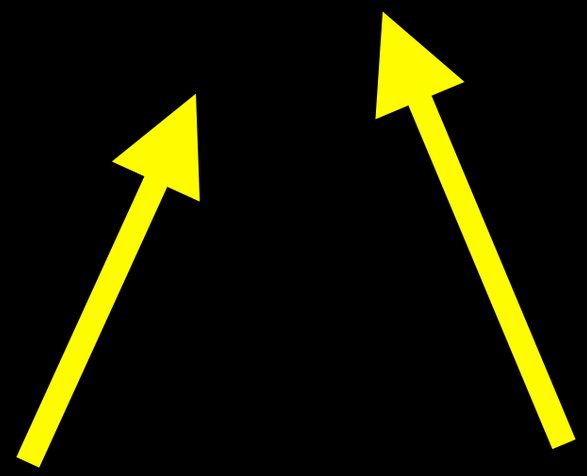
FOR EXAMPLE, THE REASON THE EARTH GOES AROUND THE SUN IS THAT THE SUN IS VERY MASSIVE, CAUSING A BIG DISTORTION OF THE SPACE AROUND IT.

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.

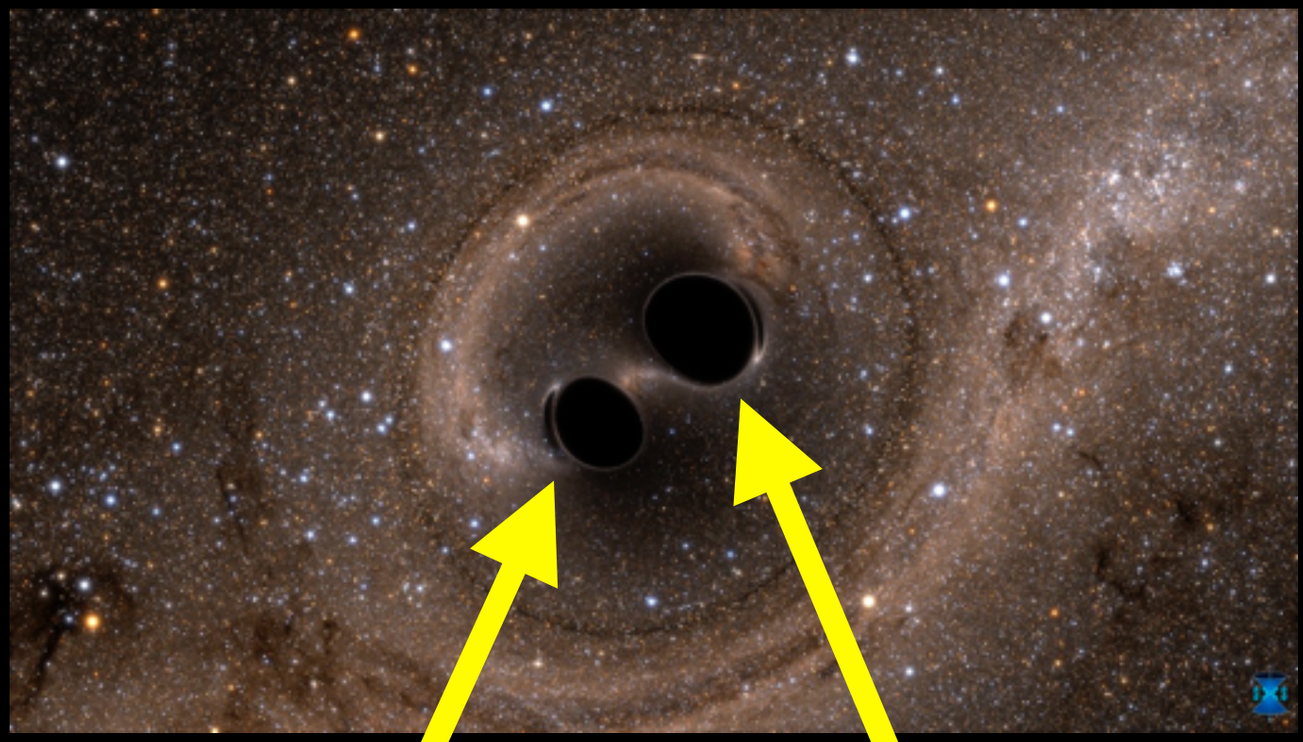
ブラックホール

＝光も抜け出せない重い重い重い星



ブラックホール

＝光も抜け出せない重い重い星



はくちょう座

こと座

へびつかい座

デネブ α

δ

γ サドル

ε

アルビレオ β

スラファト γ

β シェリアク

α ベガ

ε

δ

ζ

ラス・アルハゲ α

ケバルライ β

η

ι

X-1

γ タラゼド

アルタイル α

アルシャイン β

ζ

θ

δ

λ

わし座

南斗六星

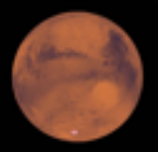
カウス・アウストラリス ε

ルクバト α

いて座

土星

火星



β

δ

アンタレス α

M4

ε

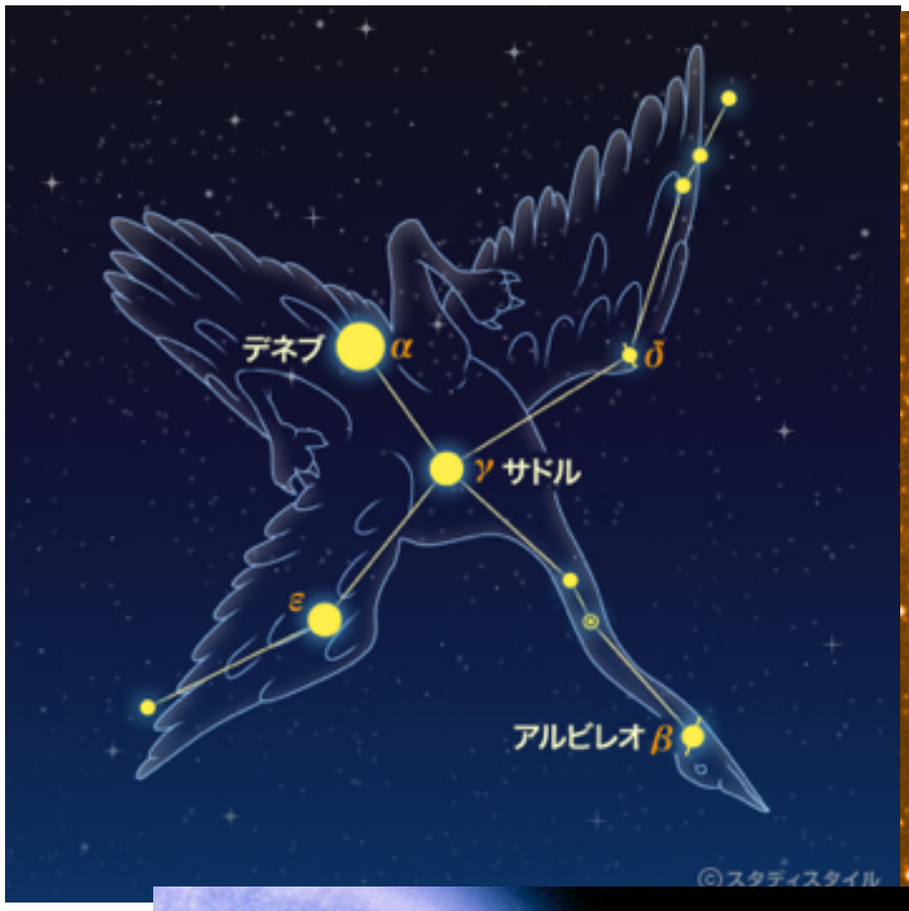
M6

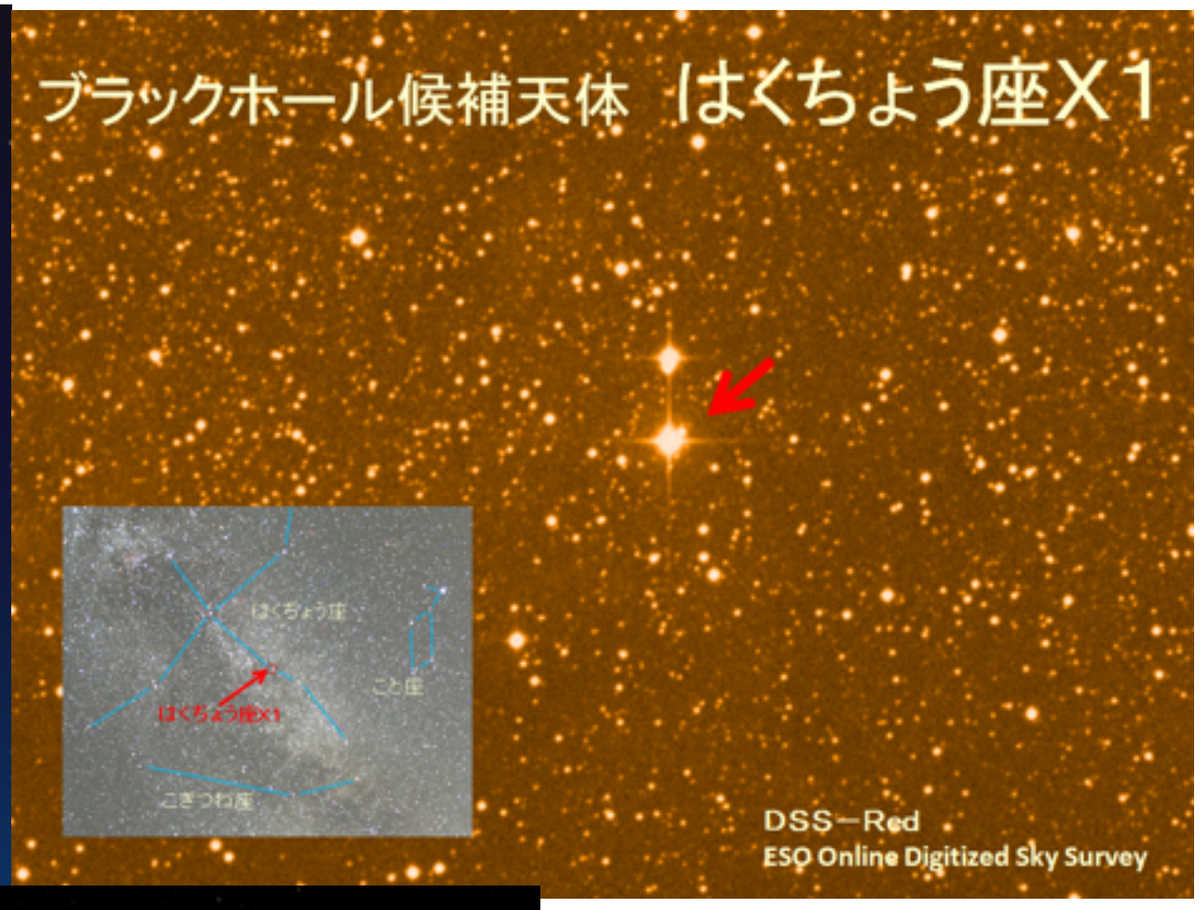
λ シャウラ

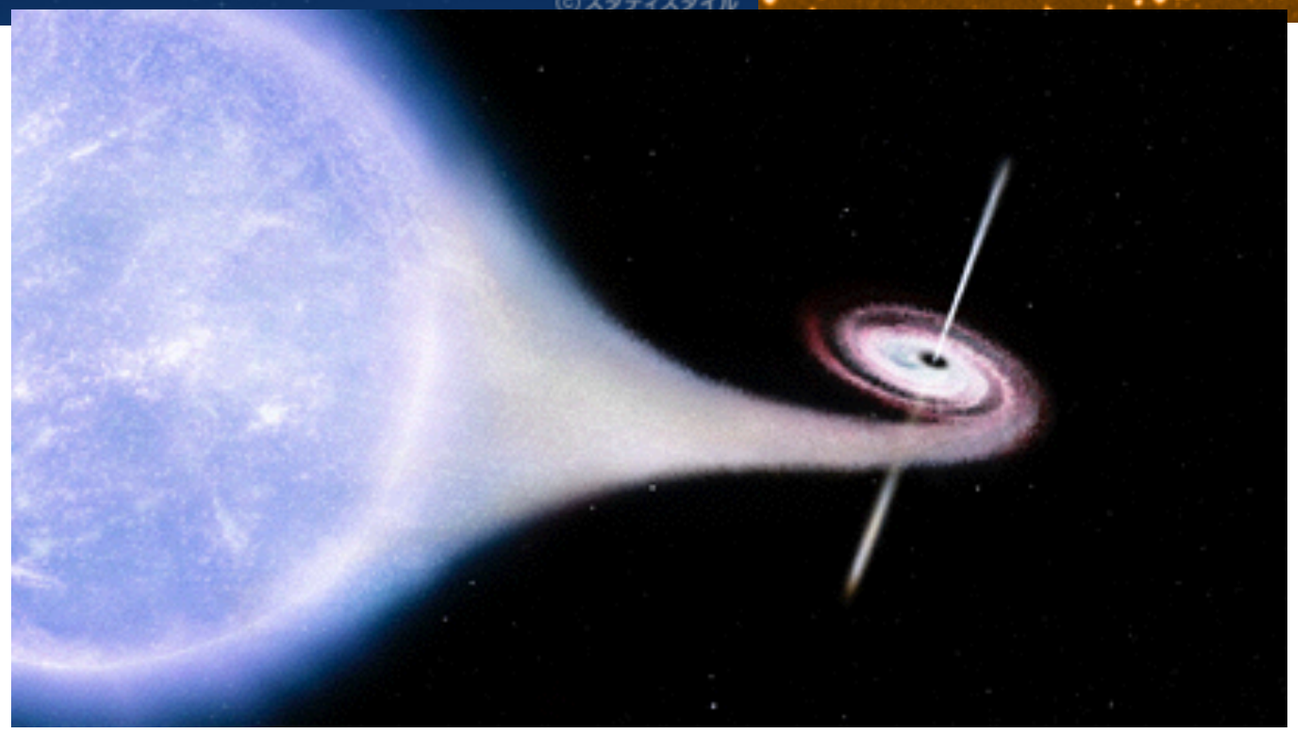
θ サルガス

さそり座

はくちょう座　X-1







見えないけれど,
ブラックホールが
あるにちがいない！

はくちょう座

こと座

へびつかい座

デネブ α

δ

γ サドル

ε

アルビレオ β

スラファト γ

β シェリアク

α ベガ

ε

δ

ζ

ラス・アルハゲ α

ケバルライ β

η

X-1

γ タラゼド

アルタイル α

アルシャイン β

ζ

θ

δ

λ

わし座

Sgr A*

南斗六星

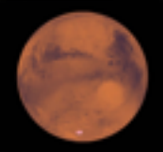
カウス・アウストラリス ε

ルクバト α

いて座

土星

火星



β

δ

アンタレス α

M4

ε

M6

λ シャウラ

θ サルガス

さそり座

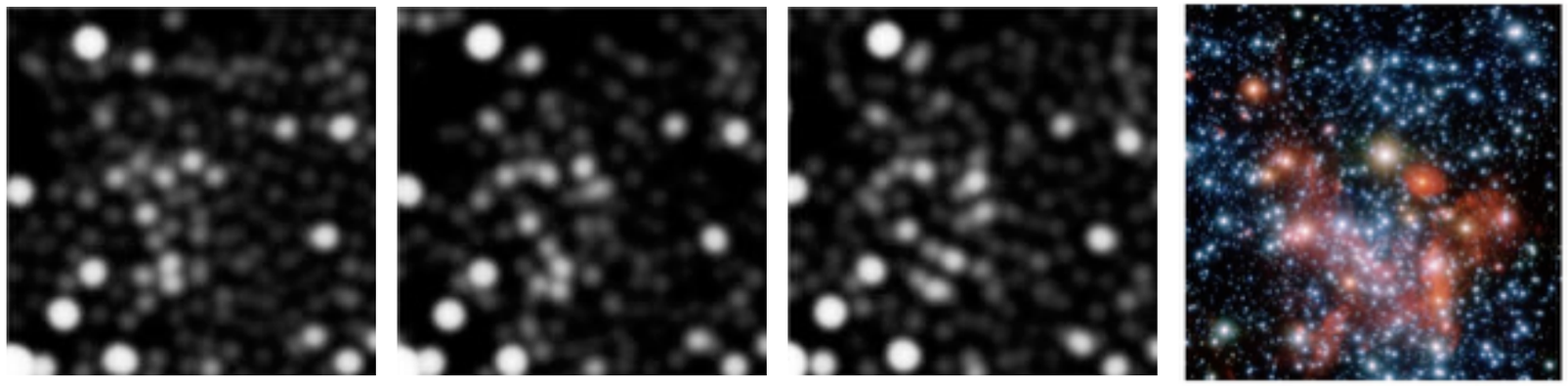
天の川銀河 (our Galaxy)

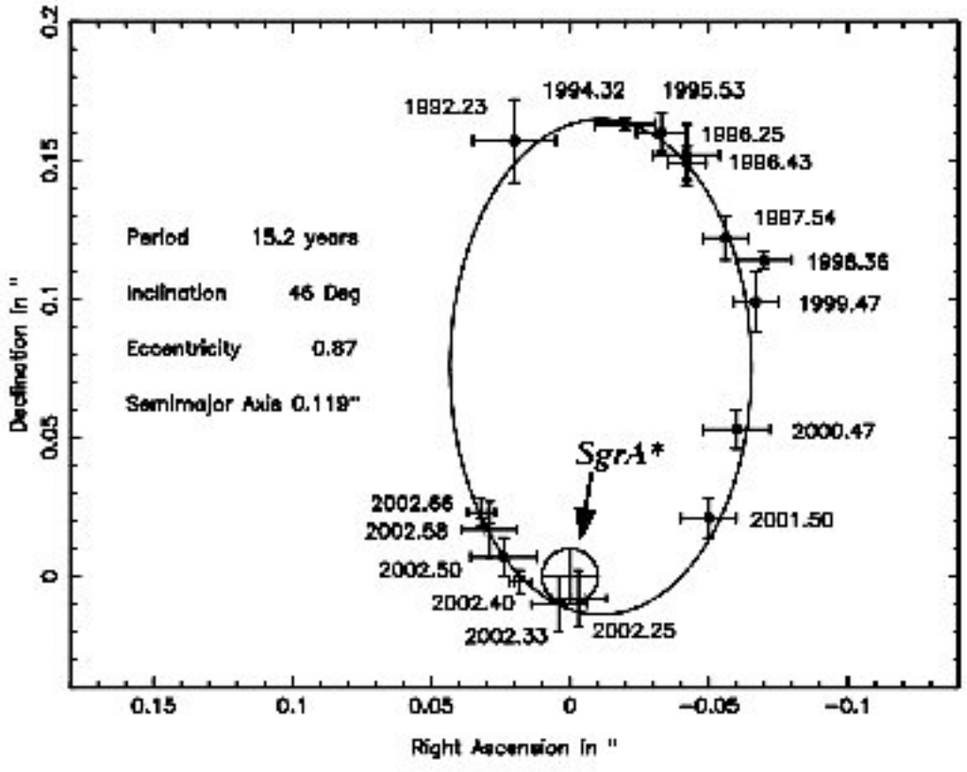
銀河系の中心には巨大ブラックホールがある

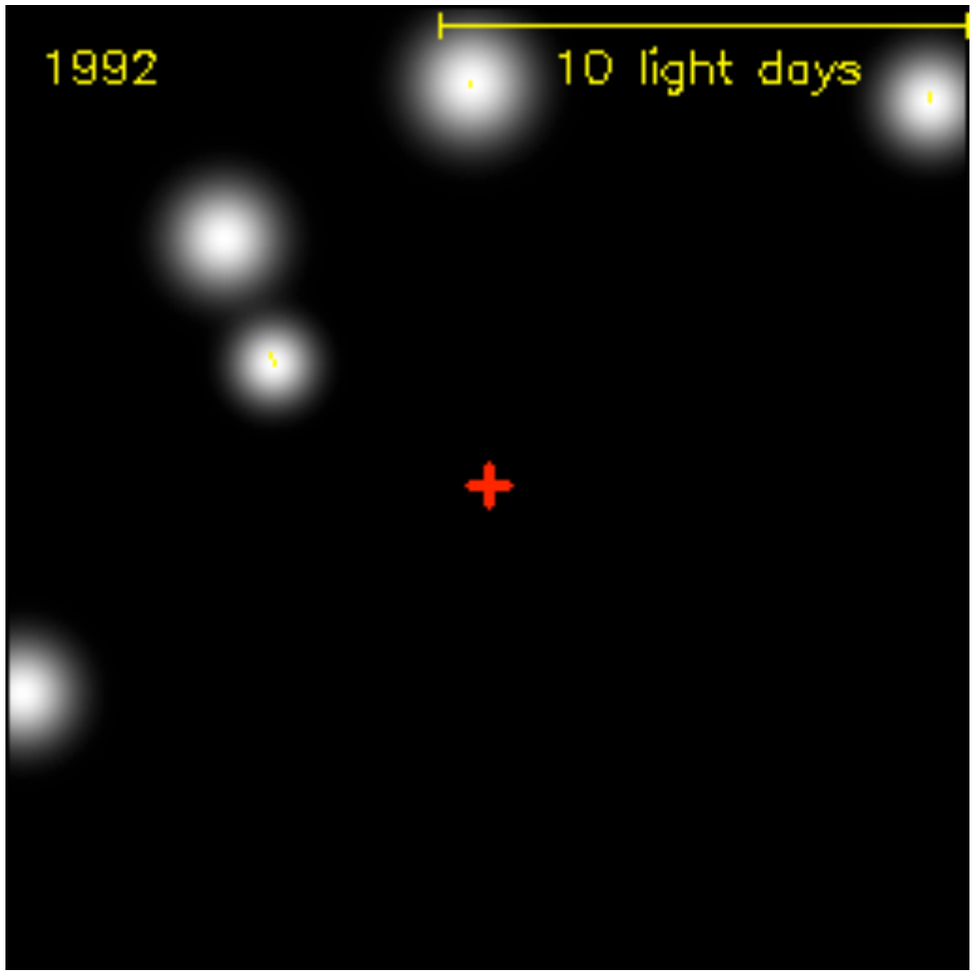
Zooming in on the centre of the Milky Way

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

銀河系の中心には巨大ブラックホールがある







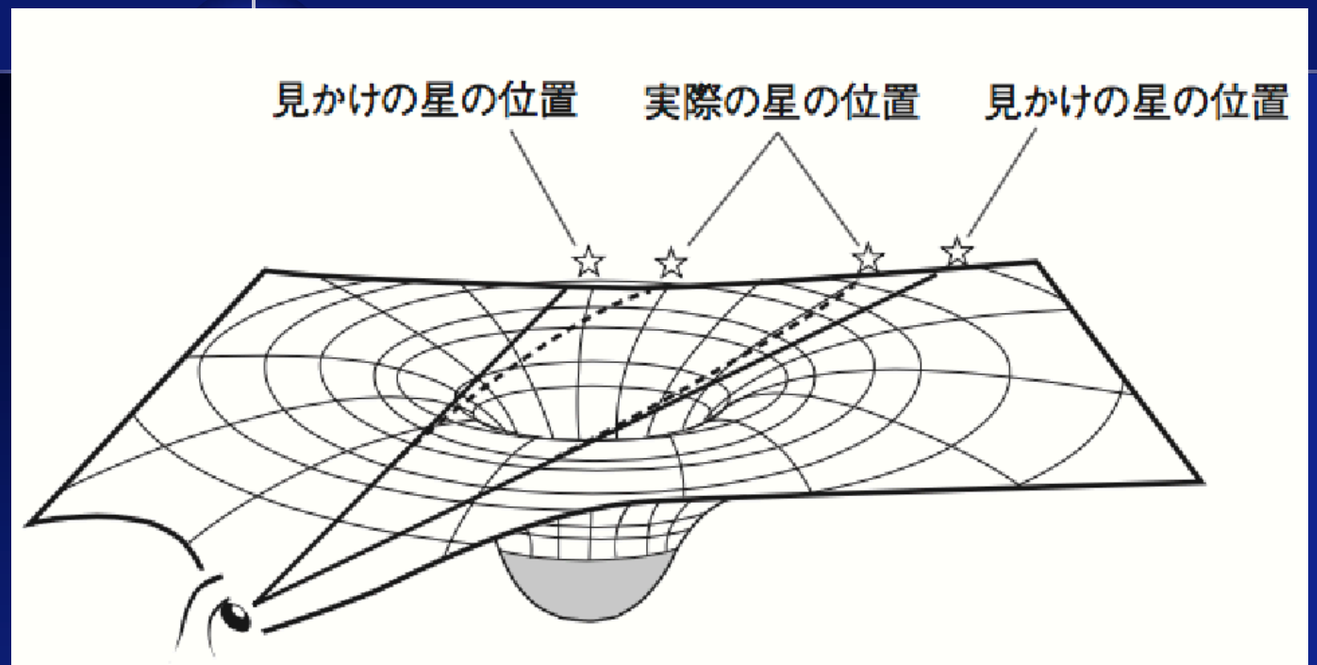
http://www.extinctionshift.com/SignificantFindings08.htm
http://www.brighthub.com/science/space/articles/13435.aspx#

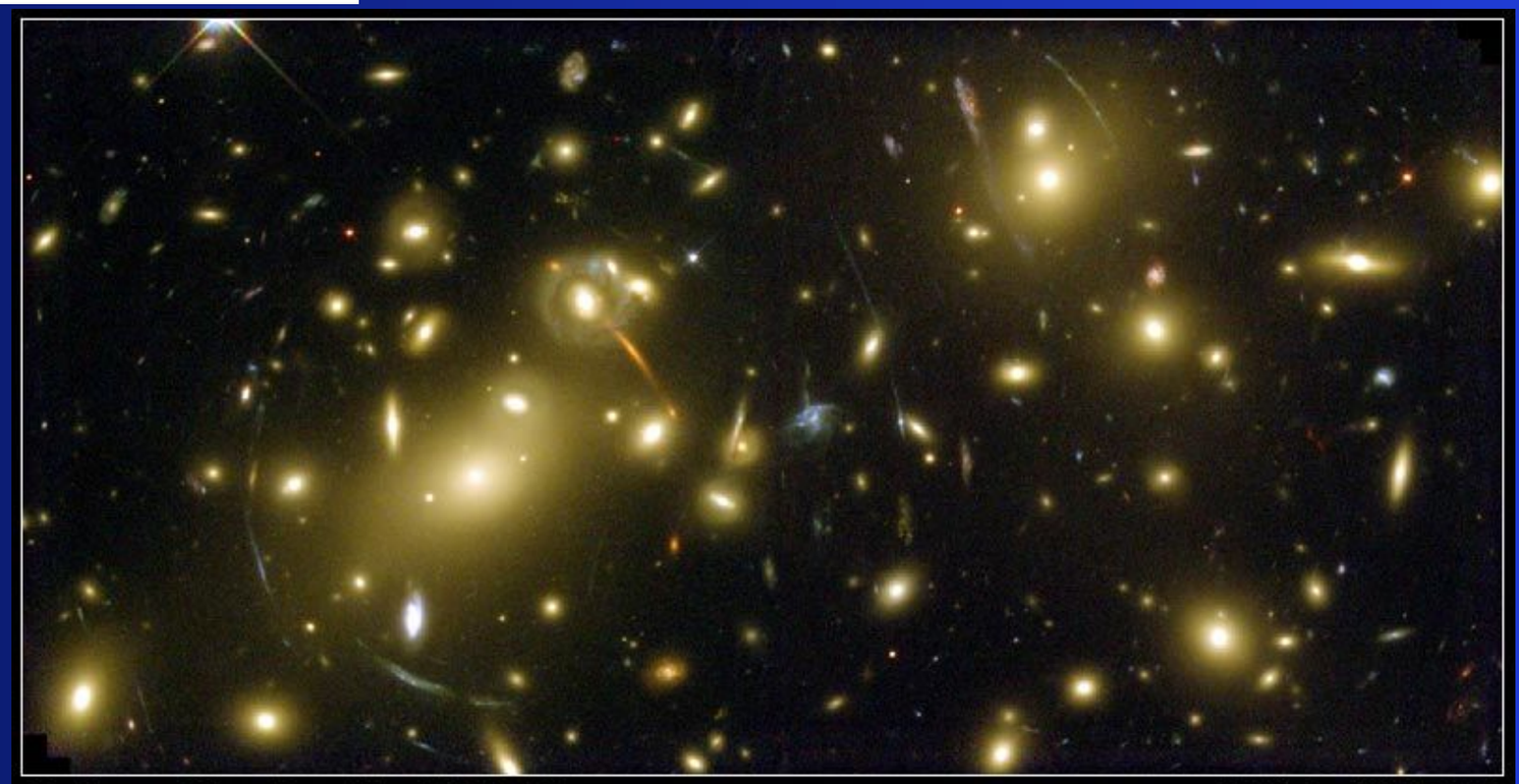
天の川銀河 (our Galaxy)

ブラックホールはどう見える？

1. 重力レンズで曲がって見える

重力レンズ効果





Galaxy Cluster Abell 2218 **HST** • WFPC2

NASA, A. Fruchter and the ERO Team (STScI, ST-ECF) • STScI-PRC00-08


MATTHEW
McCONAUGHEY
ANNE
HATHAWAY
JESSICA
CHASTAIN
MICHAEL
AND CAINE
GO FURTHER.
FROM THE DIRECTOR OF THE DARK KNIGHT TRILOGY AND INCEPTION
INTERSTELLAR
IN THEATRES AND IMAX
EVERYWHERE
NOVEMBER 7

Interstellar (2014)

Executive Producer: Kip Thorne

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

Interstellar (2014)

映画『インターステラー』スペシャル映像【HD】2014年11月22日公開

part 5’00

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

Interstellar (2014)

Executive Producer: Kip Thorne

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

ブラックホールはどう見える？

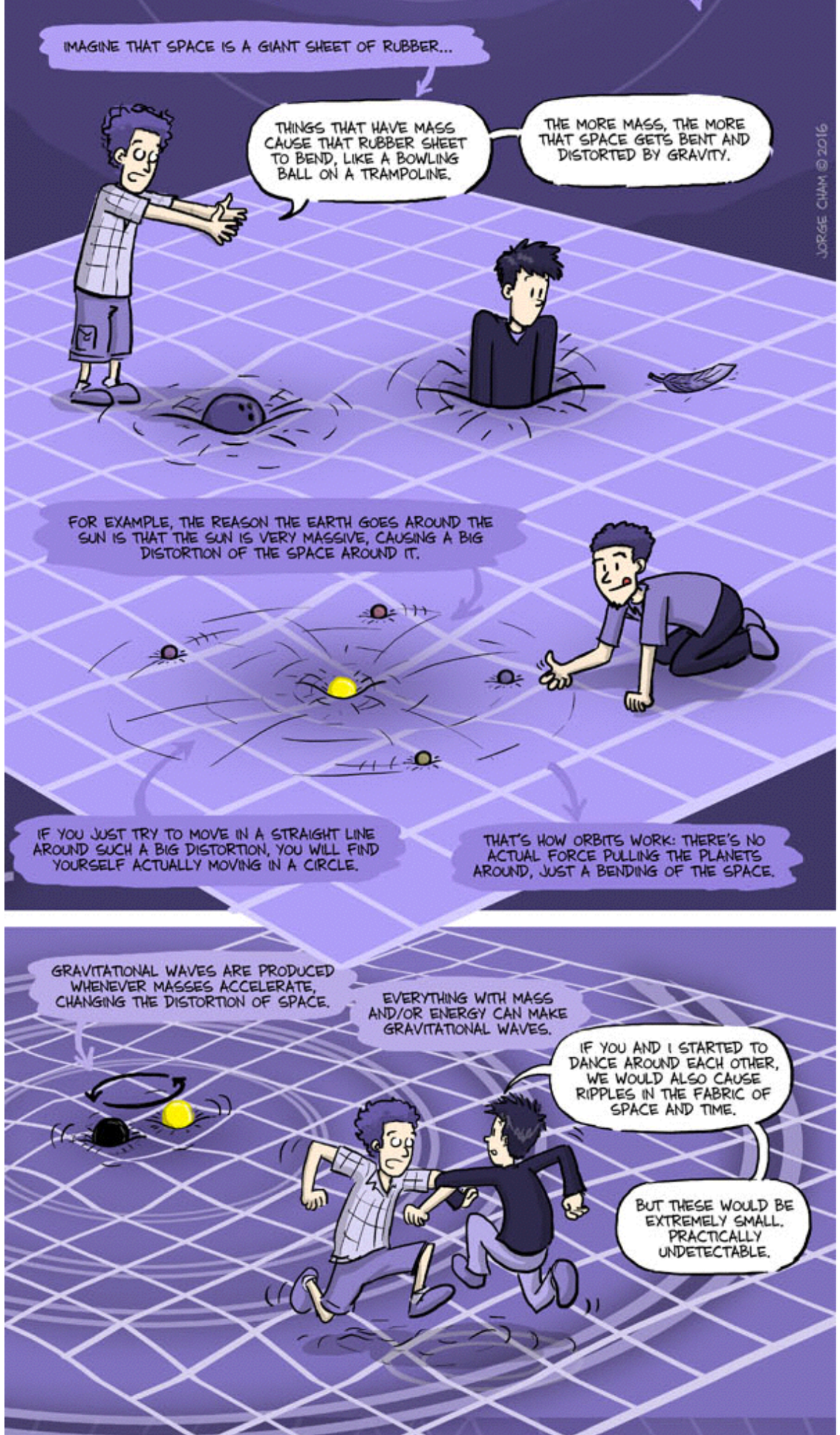
1. 重力レンズで曲がって見える

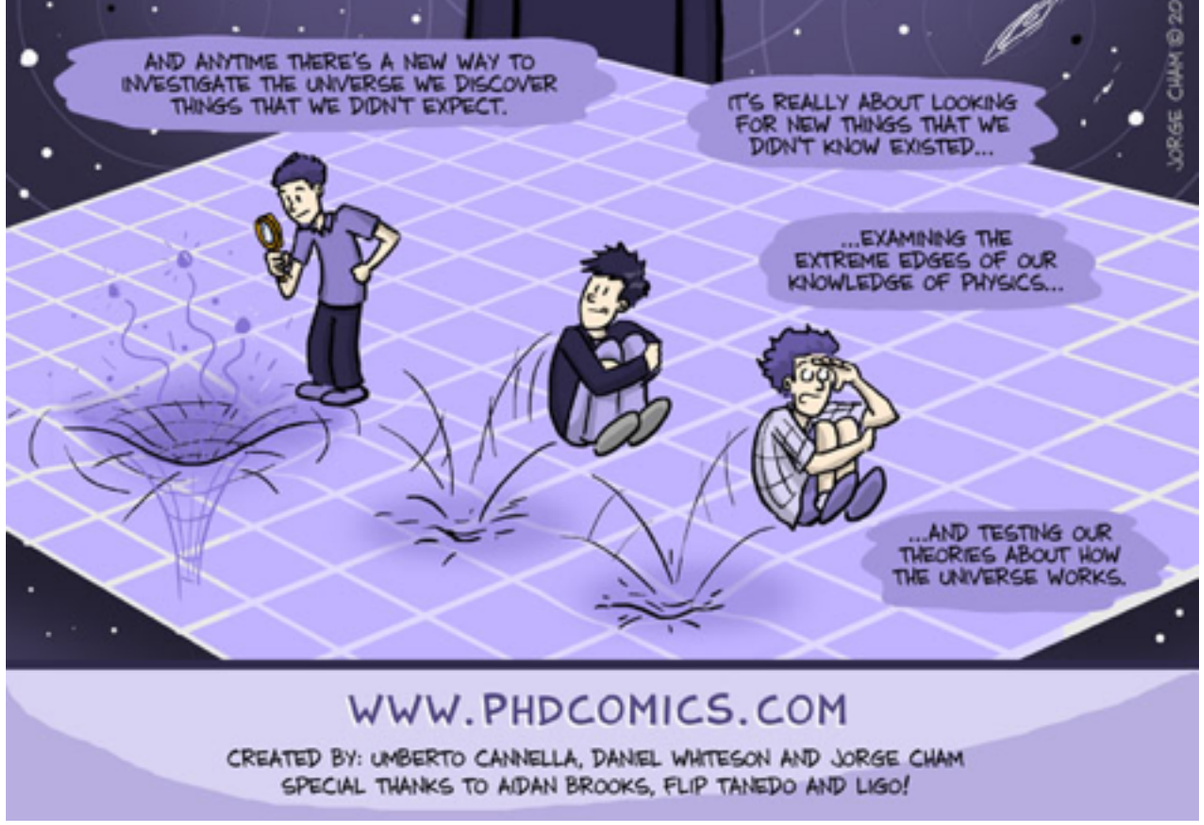
2. 重力波で見える

重力波とブラックホール

2016年2月，LIGOが重力波を初めて検出した，と発表した

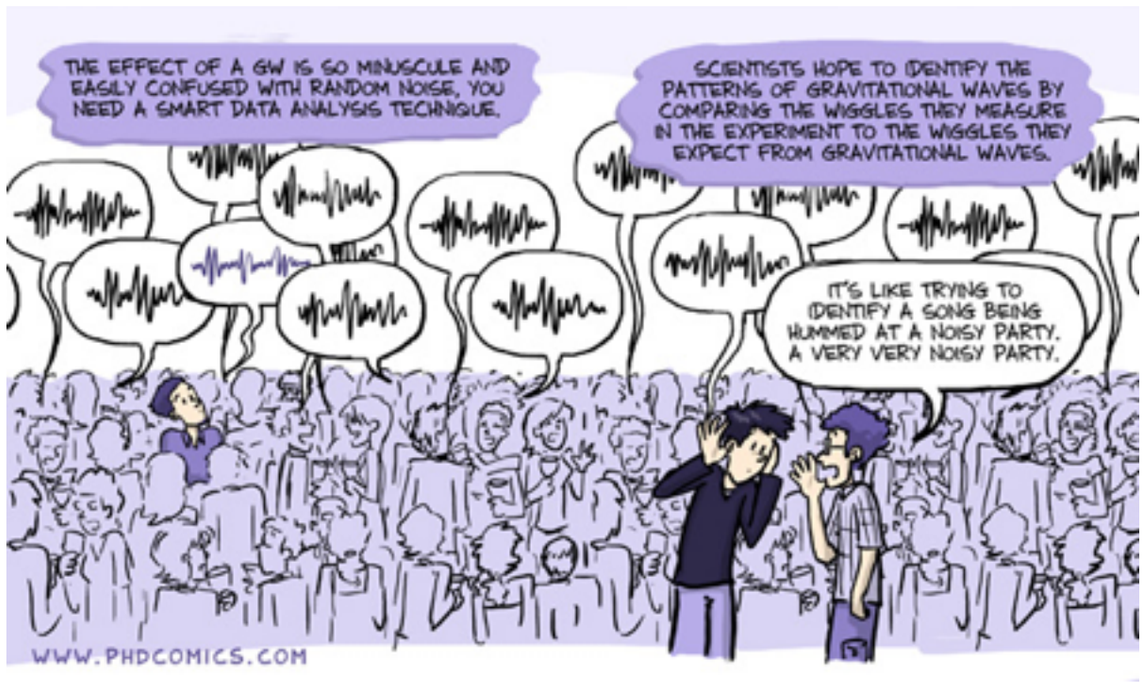
四国新聞だけ
ちがった．．．残念（笑）



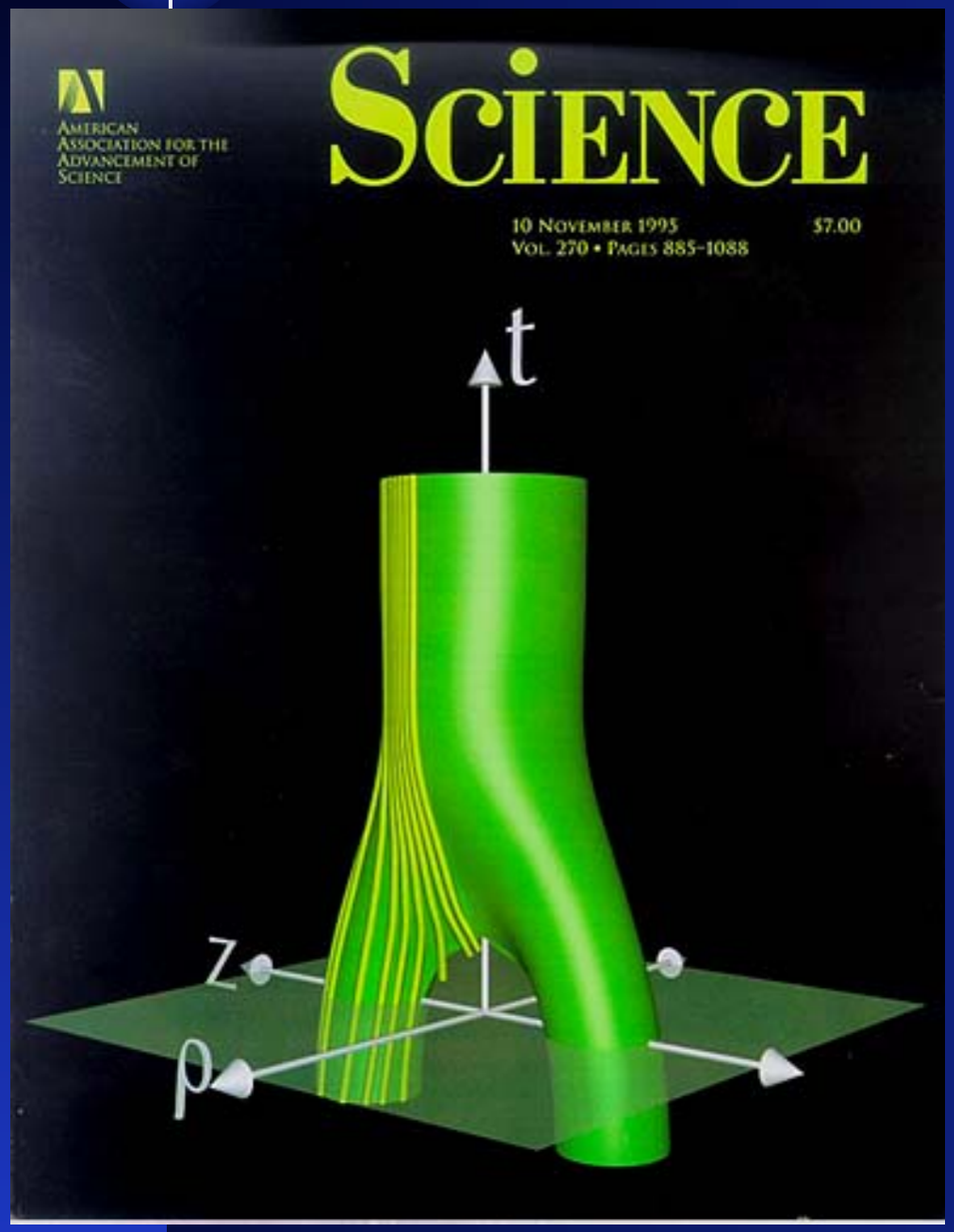


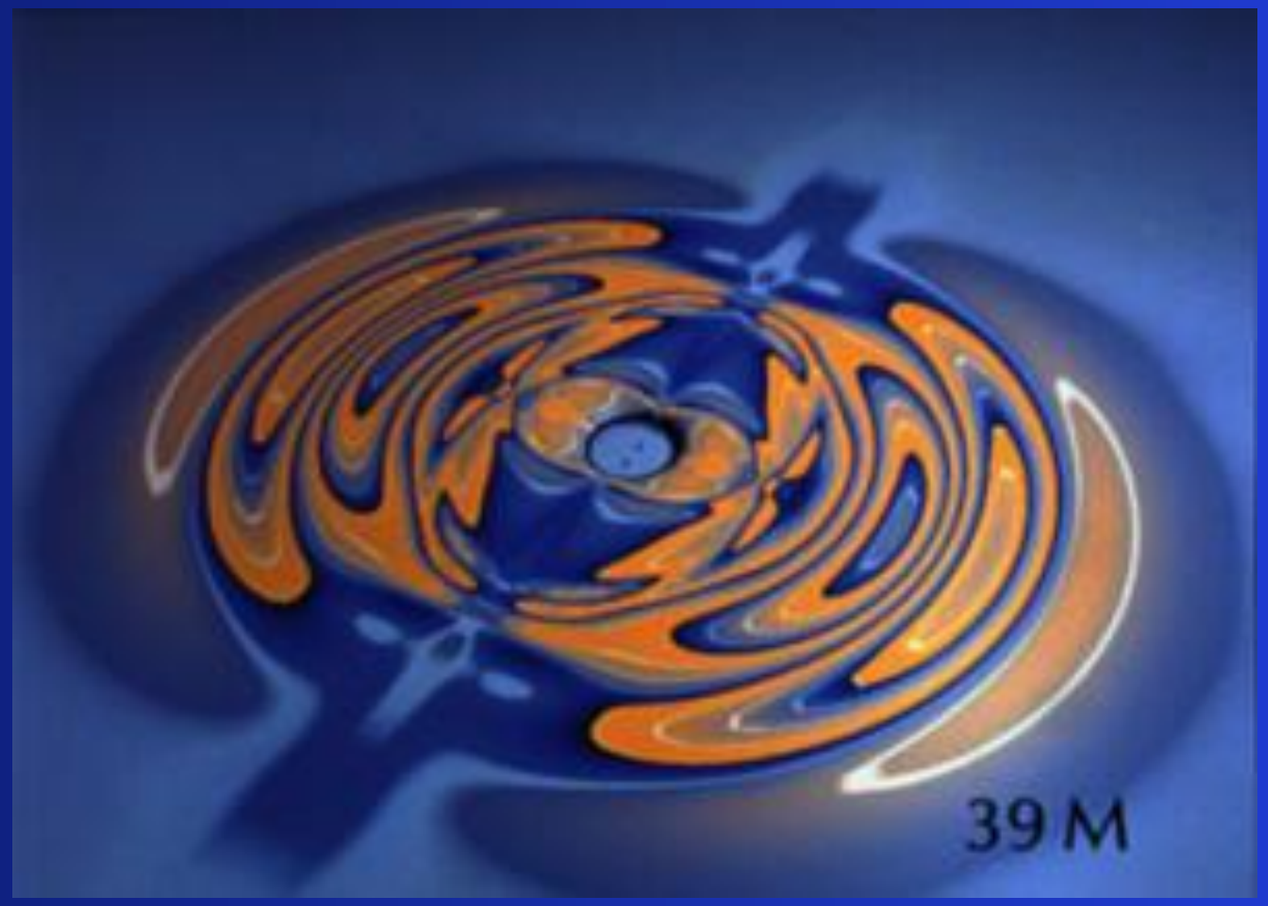
www.phdcomics.com

"gravitational waves explained"



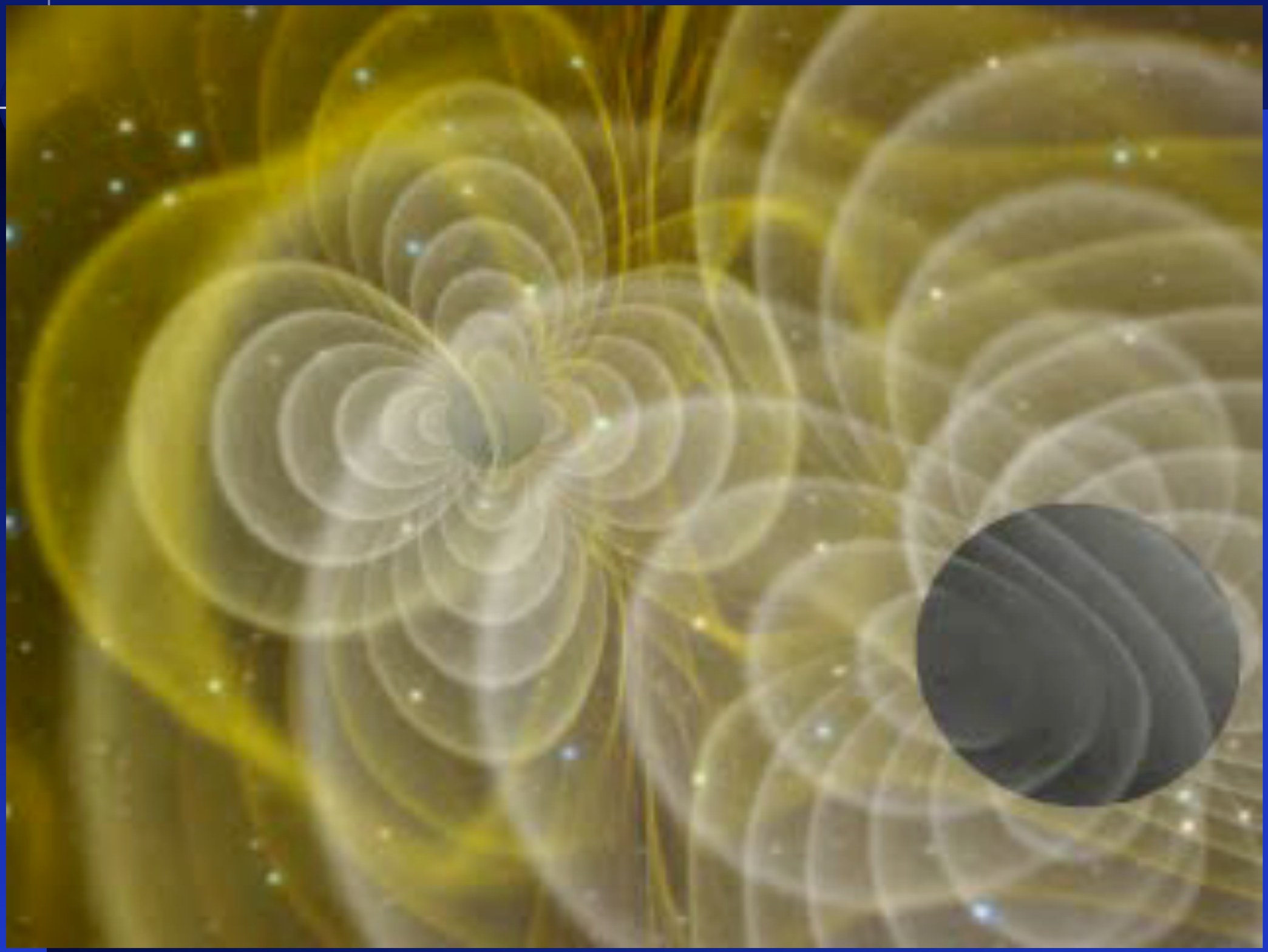
ブラックホールの合体シミュレーション



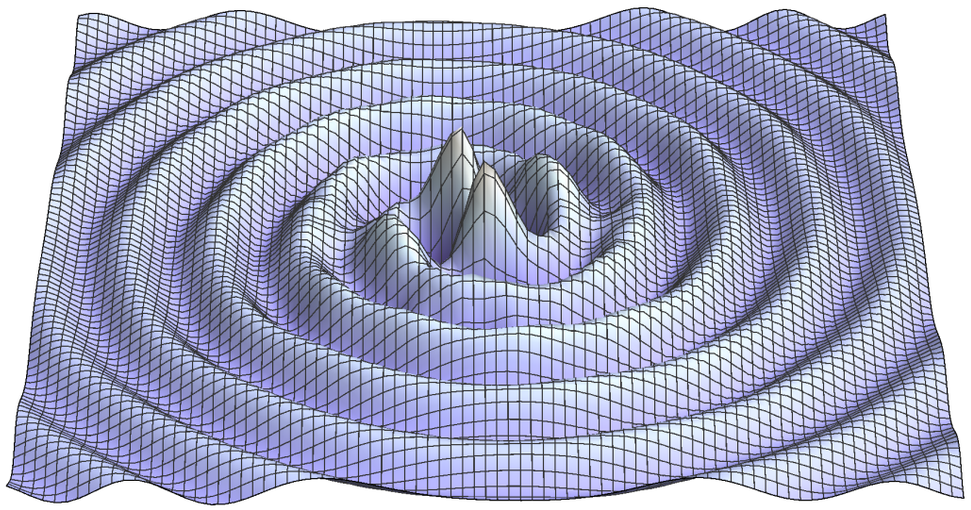


２つのブラックホールの合体と重力波放出
（90年代，NCSAグループ）

ブラックホールの合体シミュレーション

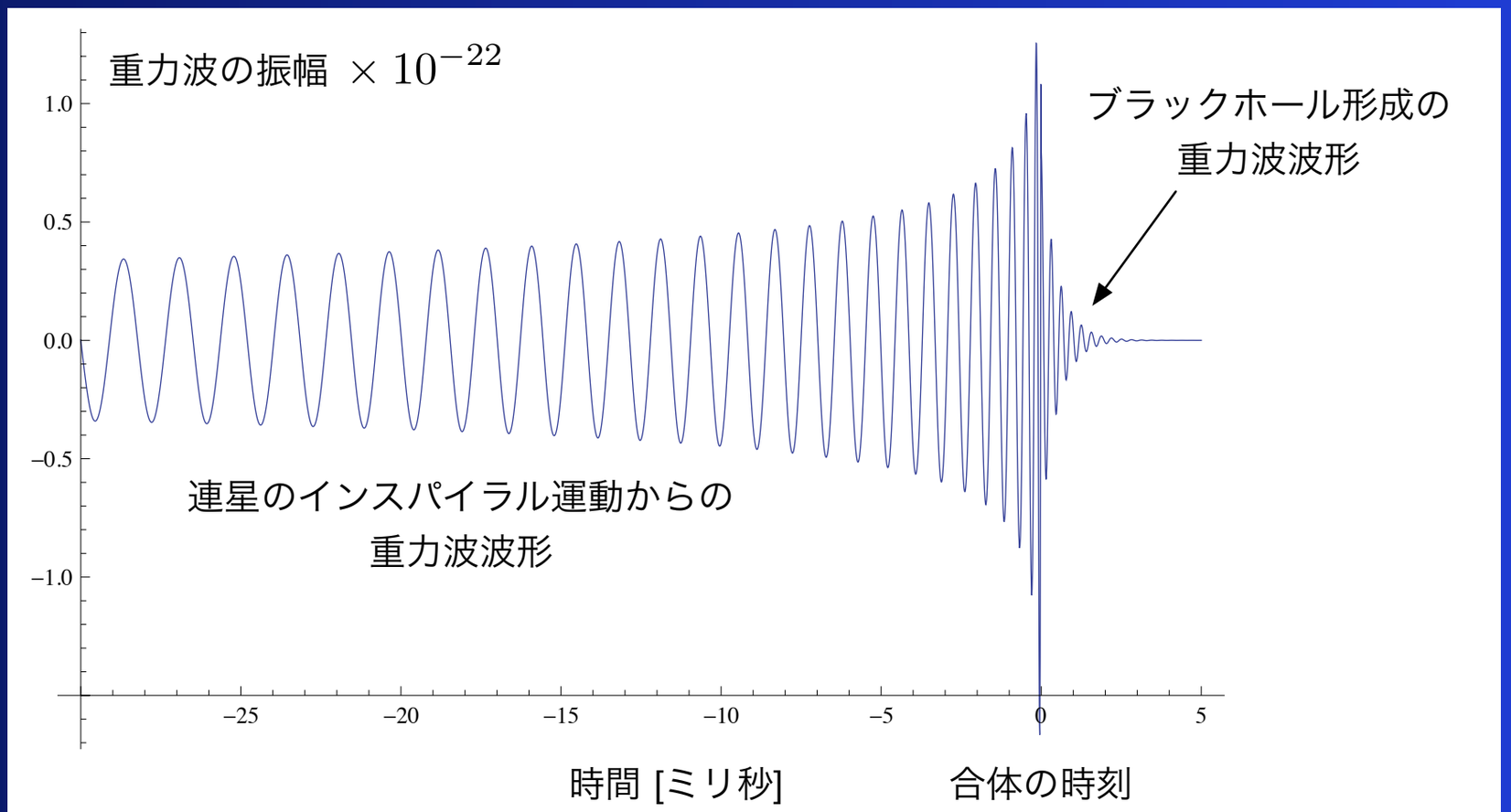


NCSA-AEI group (1998)



重力波の直接観測をしたい！

連星中性子星
連星ブラックホール



重力波初検出を発表するライツィLIGO所長

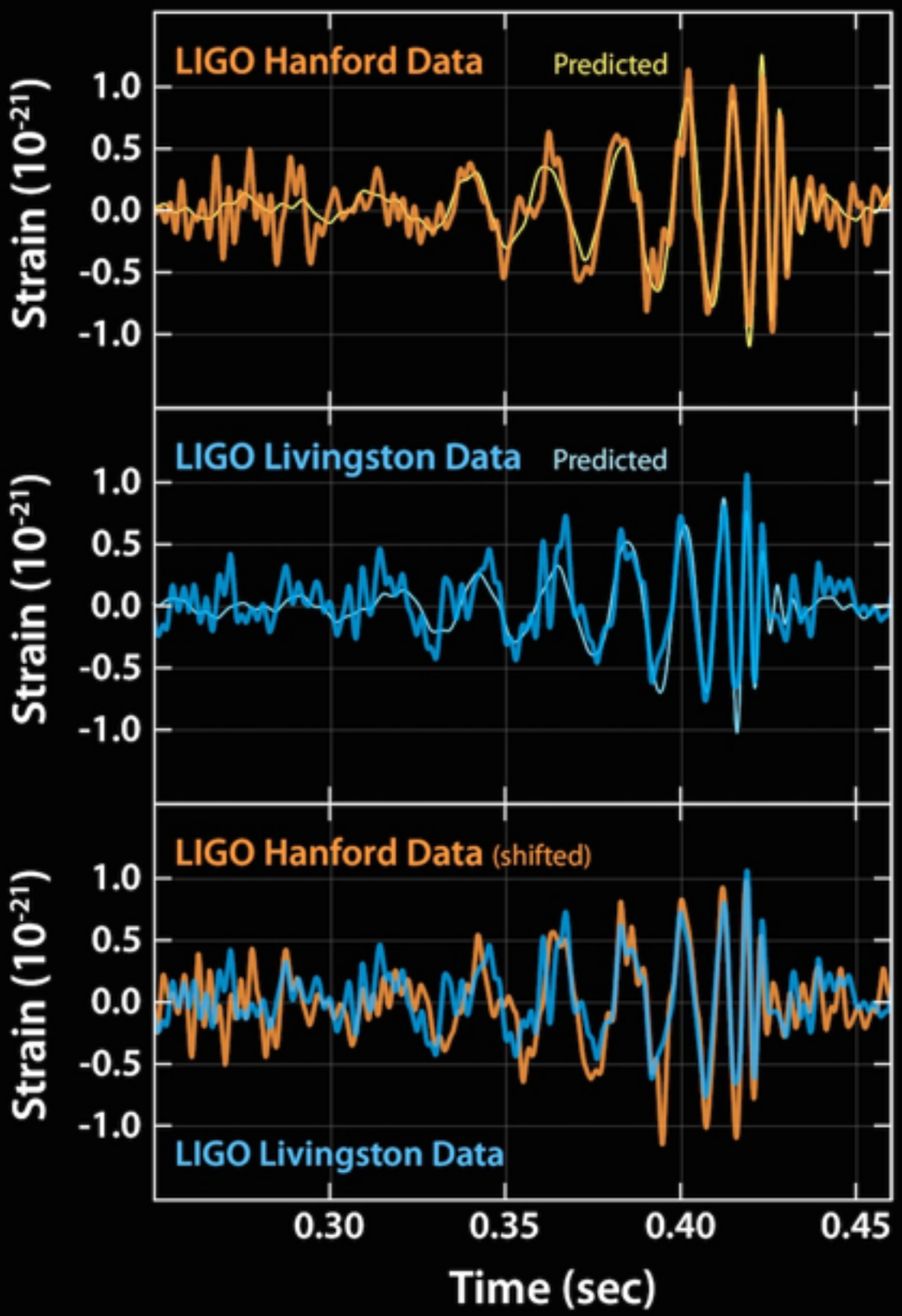
2016年2月11日

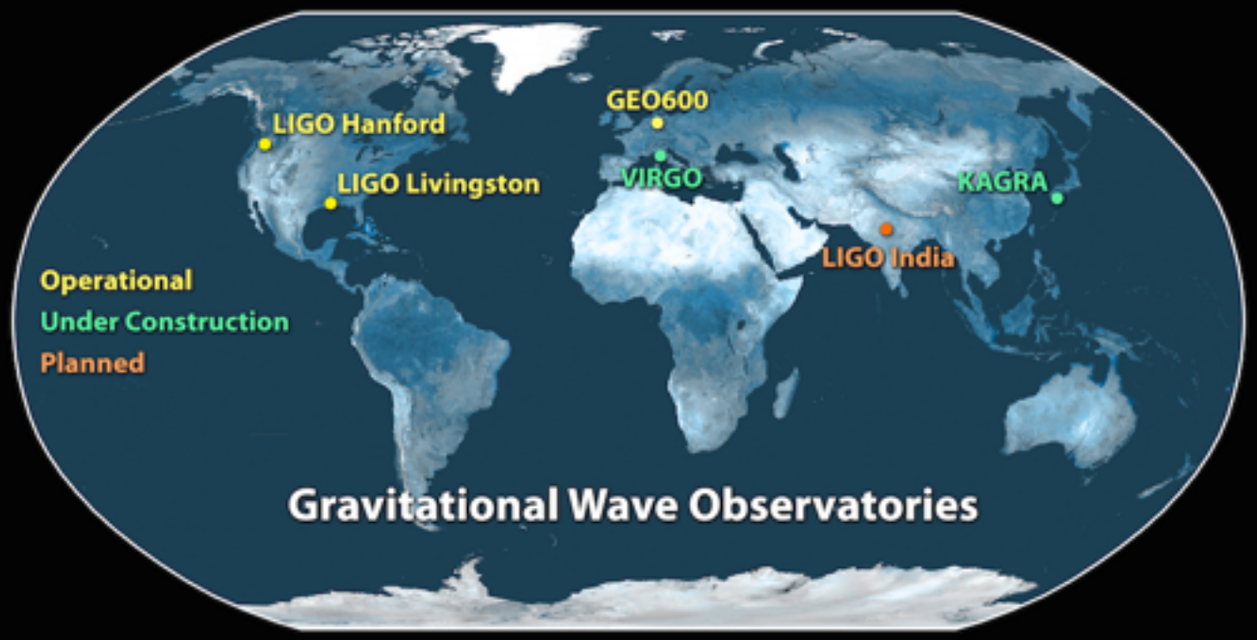
“We had detected gravitational waves.　We did it. ”

“我々は，重力波を検出した.　やり遂げたのだ. ”

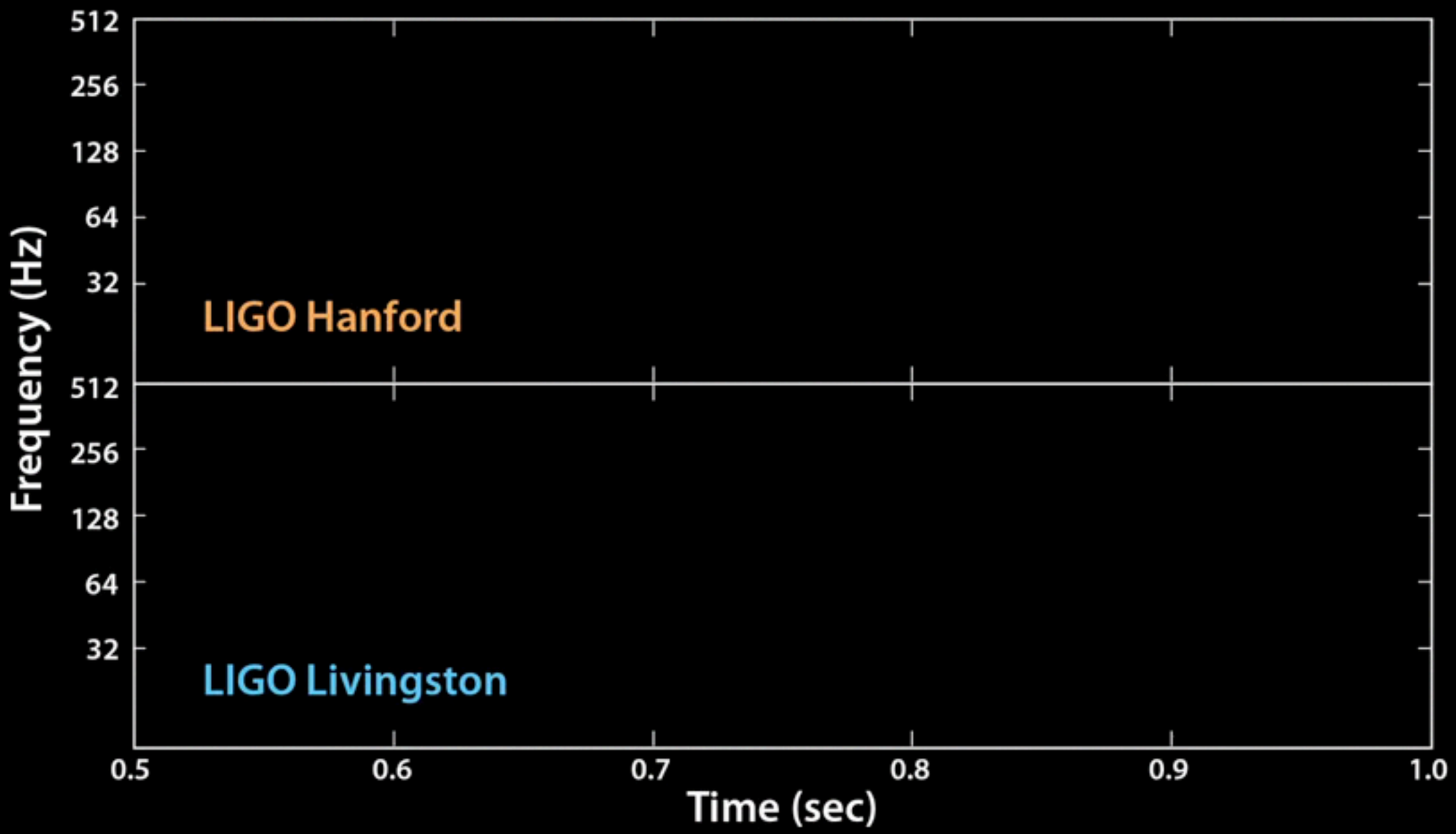
https://www.youtube.com/watch?v=aEPlwEJmZyE

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

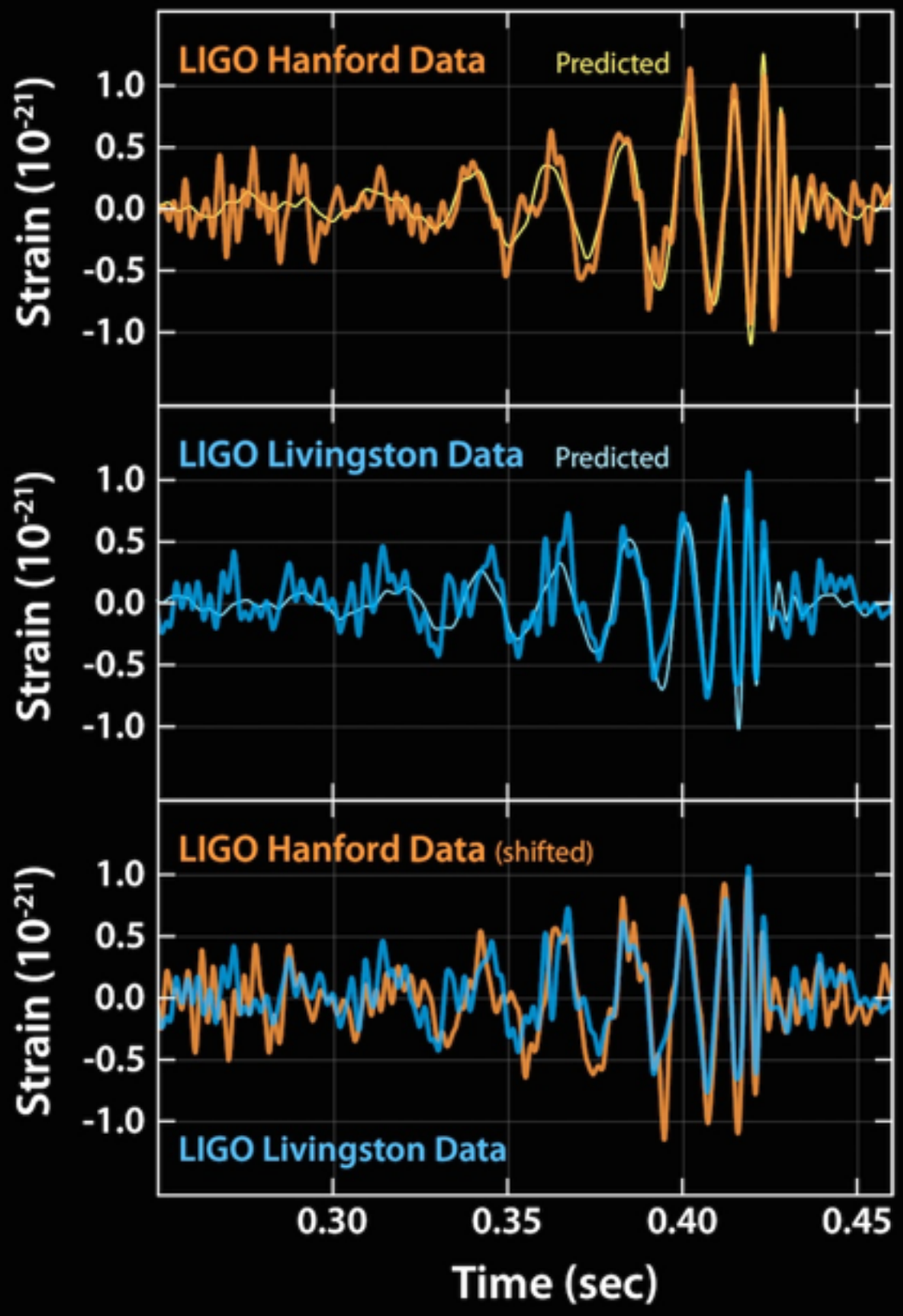
重力波波形を音にすると．．．

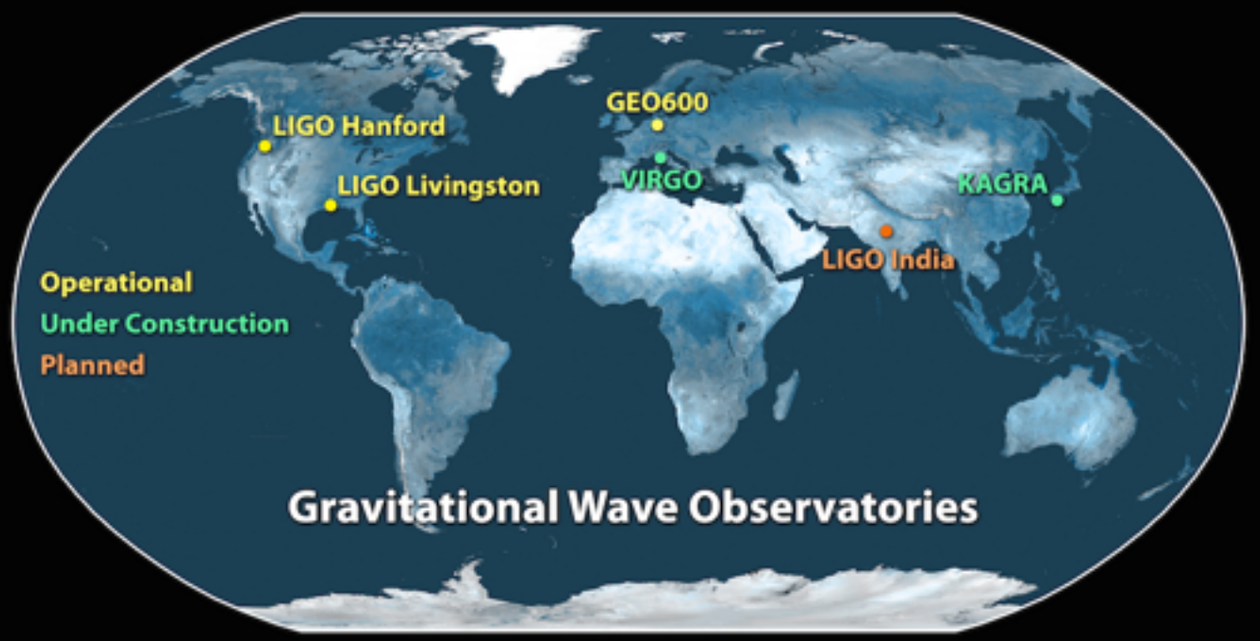


始め2回は実周波数，後の2回は聞えやすいように+400Hz

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

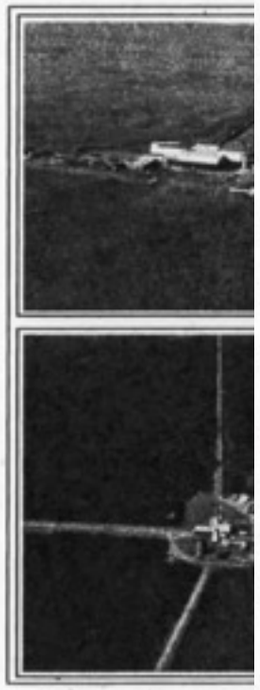
ブラックホール 解明に期待

る精度を目指す。実現すれば七億光年の範囲にある連星からの重力波を捉えられる。一年で十回ほどキャッチできる計算だという。

重力波の大きな特徴はブラックホールからも放出されること。連星が合体してブラックホールが生まれる瞬間を観測できると期待される。時間と空間をねじ曲げてすべてをのみ込むブラックホールは、光も電波も出さないため直接には観測できなかった。その謎に迫る強力な手段になる。

また、弱まらずに遠くまで届くので、遠い星の観測や誕生直後の宇宙の姿を知るのにも役立つと期待されている。

大阪工業大の真貝寿明教授（理論物理学）は「重力波を天文学に使うには、発生した場所を割り出す必要がある。それには望遠鏡が四カ所必要だ。KAGRAを含めた世界的なネットワークが重要」と話す。



東京新聞 2016/2/12

「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

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。

毎日新聞 2016/2/13

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】

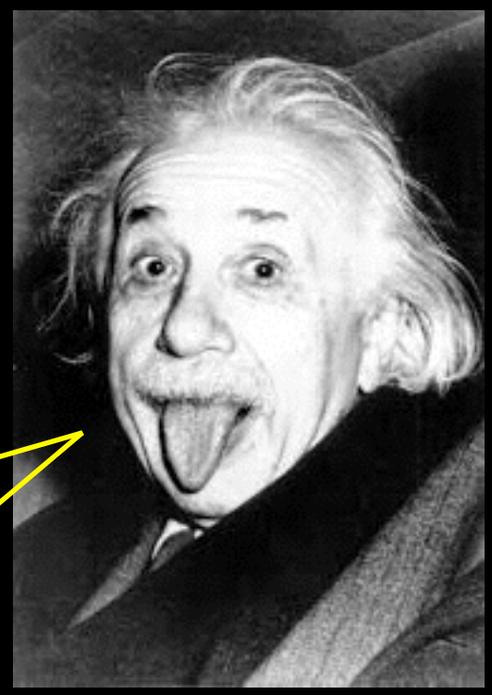
重力波が検出された！
重力波が検出できた！
ブラックホールが存在した！
ブラックホール連星が存在した！
相対性理論，正しかった！

2016年　重力波天文学の幕開け

重力波が検出された！
重力波が検出できた！
ブラックホールが存在した！
ブラックホール連星が存在した！
相対性理論，正しかった！

光学天文学の幕開け
ガリレイ　1609年

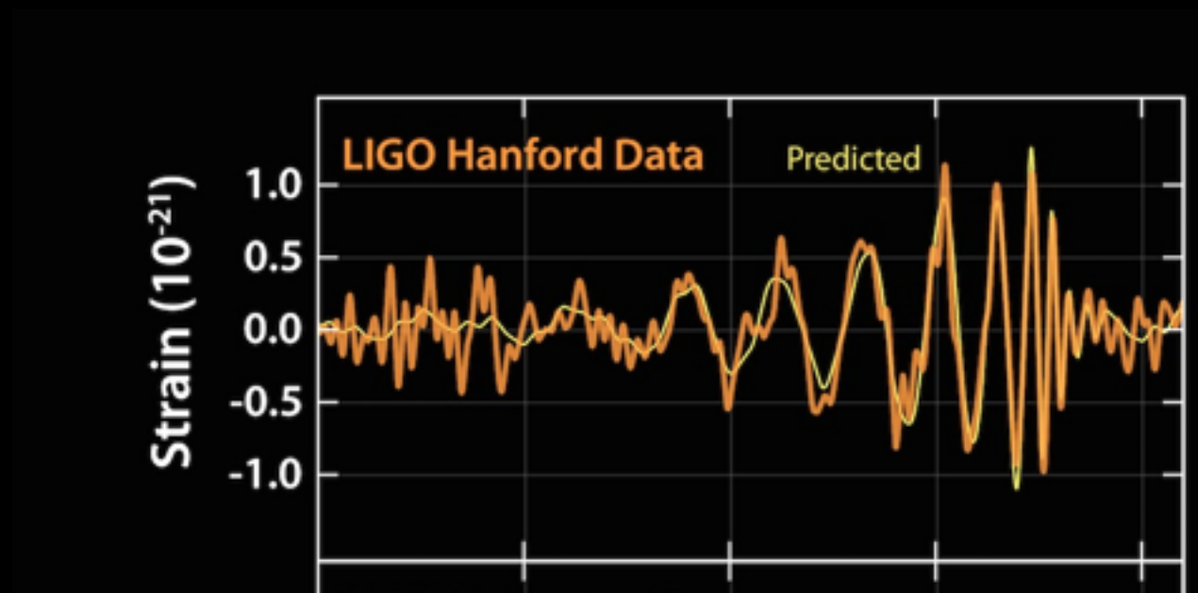
100年もかかったのか.



ブラックホールはどう見える？

1. 重力レンズで曲がって見える

2. 重力波で見える



はくちょう座

こと座

へびつかい座

デネブ α

δ

γ サドル

ε

アルビレオ β

スラファト γ

β シェリアク

α ベガ

ε

δ

ζ

ラス・アルハゲ α

ケバルライ β

η

X-1

γ タラゼド

アルタイル α

アルシャイン β

ζ

θ

δ

λ

わし座

Sgr A*

南斗六星

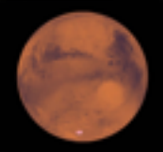
カウス・アウストラリス ε

ルクバト α

いて座

土星

火星



β

δ

アンタレス α

M4

ε

M6

λ シャウラ

θ サルガス

さそり座