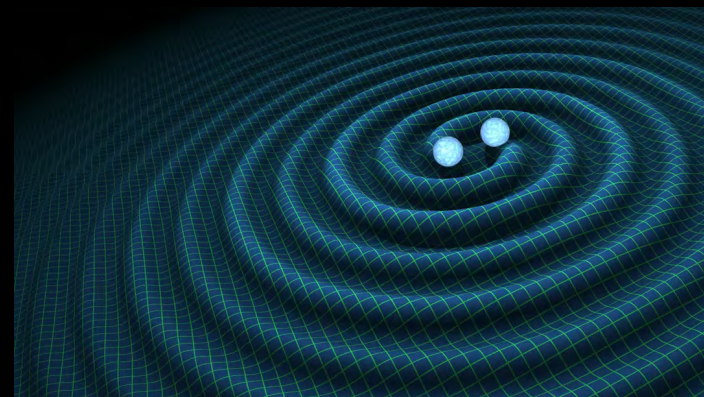
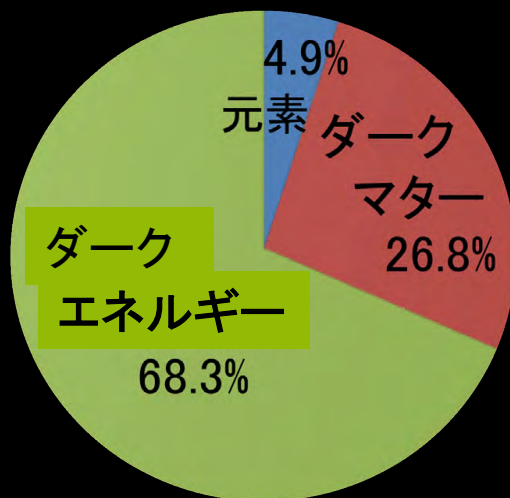


この空のかなた:

第二の地球、ダークエネルギー、重力波



須藤 靖 日本学術会議 第三部会員

科学と社会委員会 科学力増進分科会委員長

日本学術会議 第1回全国縦断サイエンスカフェ

高知工科大学 サイエンスカフェ

2016年5月18日 17:30-19:00@高知工科大学永国寺キャンパス

はじめに

日本学術会議の職務

<http://www.scj.go.jp/ja/scj/index.html>

- 科学が文化国家の基礎であるという確信の下、行政、産業及び国民生活に科学を反映、浸透させることを目的として、昭和24年(1949年)1月、内閣総理大臣の所轄の下、政府から独立して職務を行う「特別の機関」として設立。

■ 2つの職務

- 科学に関する重要事項を審議しその実現を図る
- 科学に関する研究の連絡を図りその能率を向上させる

日本学術会議の主たる役割



日本学術会議

SCIENCE COUNCIL OF JAPAN

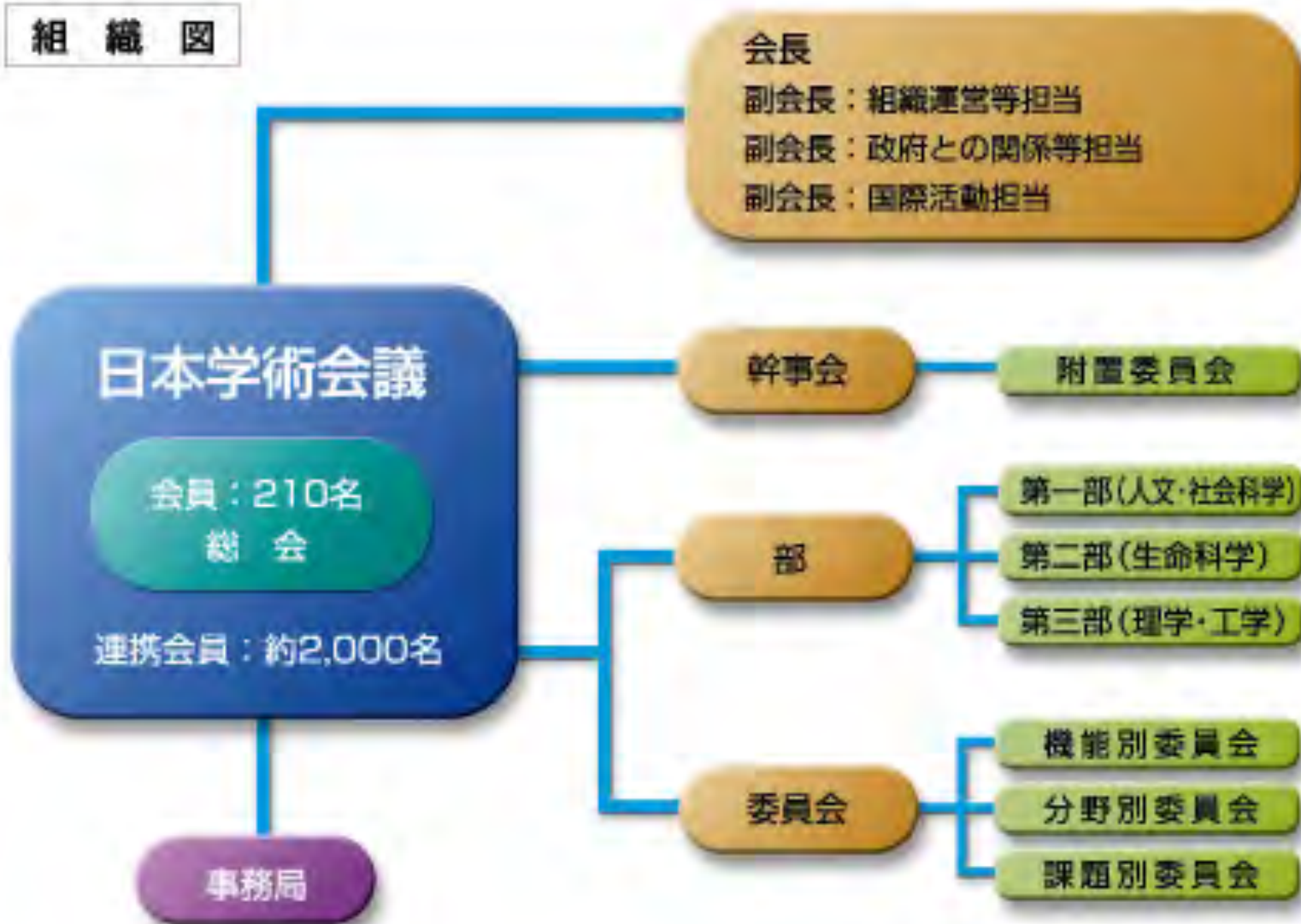
<http://www.scj.go.jp/ja/scj/index.html>

日本学術会議の構成

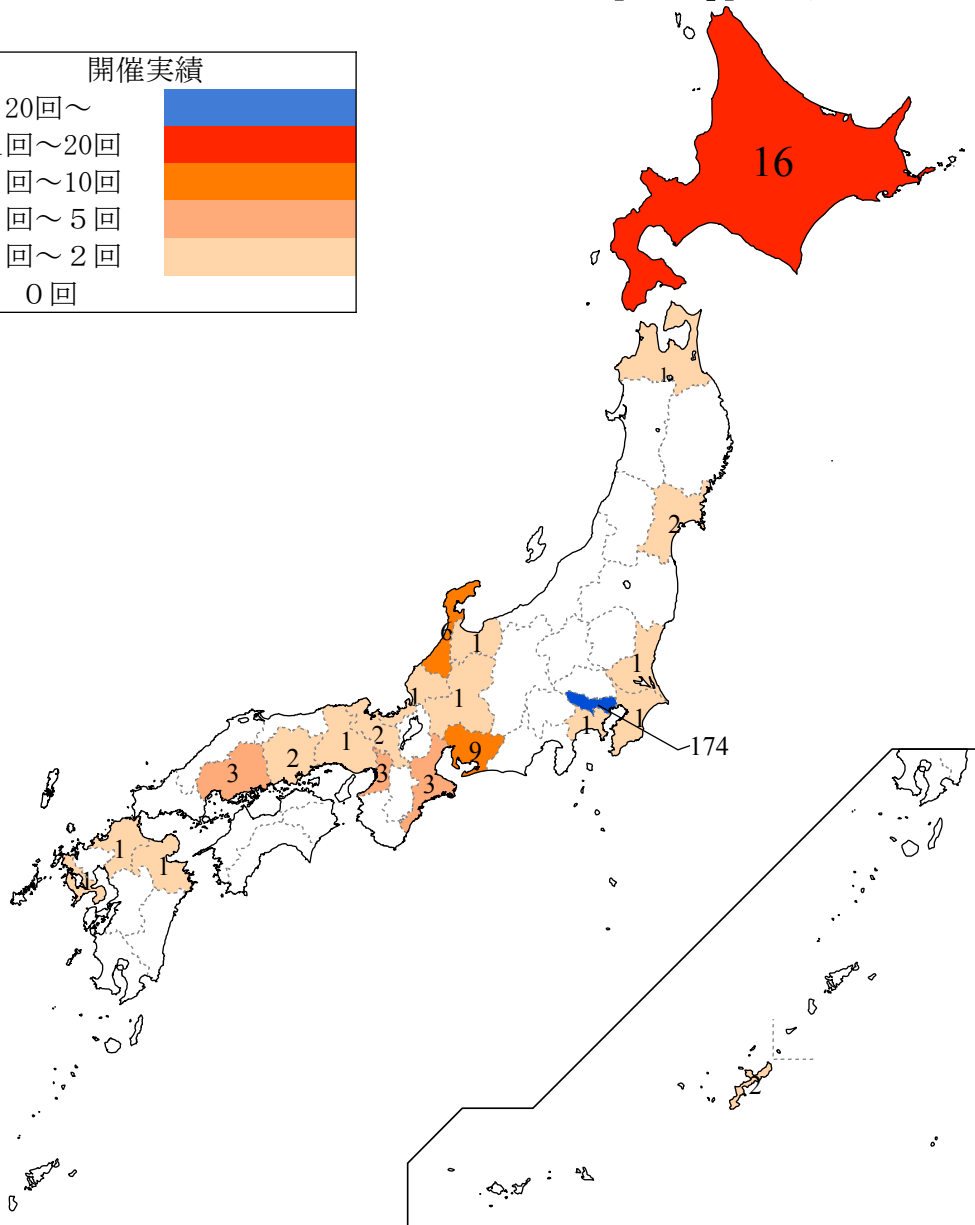
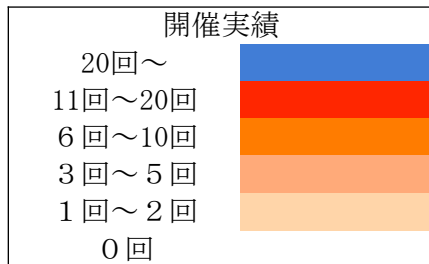
- 日本には約84万人の科学者がいる
- そのなかから会員210名を選出
 - 第一部： 人文・社会科学（72名）
 - 第二部： 生命科学（67名）
 - 第三部： 理学・工学（71名）
 - 任期は6年間、再選なし（無給！）
- 約2000名の連携会員と協力して活動
- 学者の国会と呼ばれるが権力はなし

日本学術会議の組織図

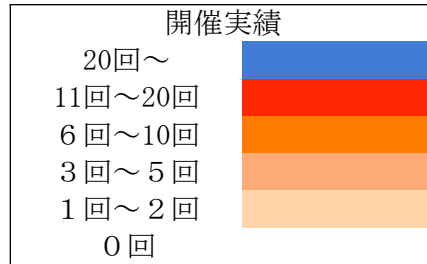
組織図



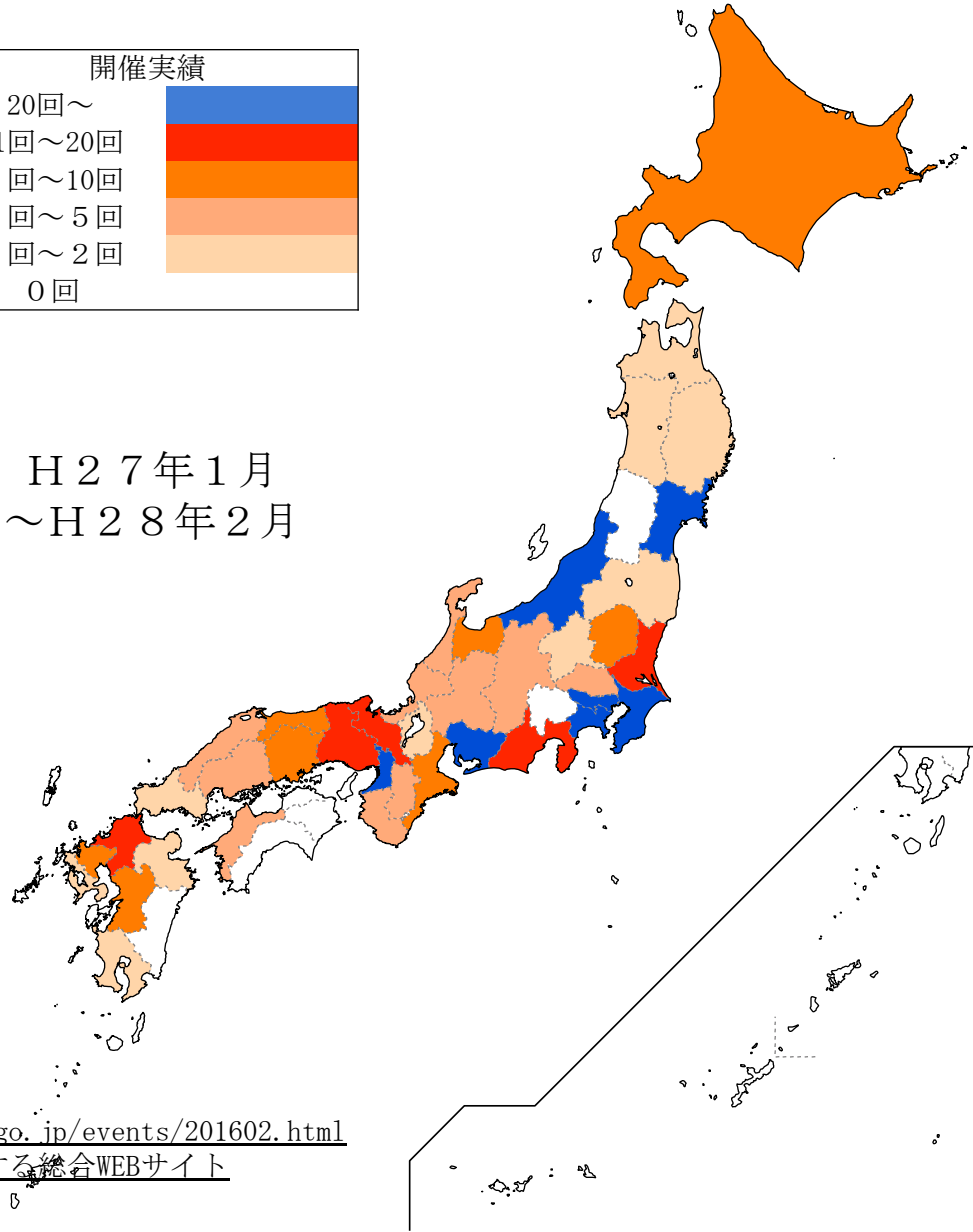
日本学術会議が関与している2006年以降のサイエンスカフェ開催状況



JST Science Portal に基づく 各都道府県におけるサイエンスカフェ開催状況



H27年1月
～H28年2月



※<http://scienceportal.jst.go.jp/events/201602.html>

科学技術の最新情報を提供する総合WEBサイト

各都道府県におけるサイエンスカフェ開催回数

H27年1月～H28年2月28日

都道府県	回数	都道府県	回数	都道府県	回数
東京都	247	鳥取県	7	滋賀県	2
大阪府	65	岡山県	7	山口県	2
神奈川県	49	熊本県	7	長崎県	2
愛知県	36	佐賀県	6	鹿児島県	2
宮城県	26	石川県	5	秋田県	1
千葉県	25	福井県	5	福島県	1
新潟県	20	島根県	5	群馬県	1
京都府	19	岐阜県	4	大分県	1
静岡県	18	和歌山県	4	山形県	0
兵庫県	18	広島県	4	山梨県	0
茨城県	14	愛媛県	4	徳島県	0
福岡県	14	埼玉県	3	香川県	0
富山県	9	長野県	3	高知県	0
北海道	7	奈良県	3	宮崎県	0
栃木県	7	青森県	2	沖縄県	0
三重県	7	岩手県	2		

最近の天文学から3つの話題を提供します

それぞれ5、6枚のスライドを使って説明を
してから、質問を受け付けます

これを3回繰り返すというスタイルで進め
たいと思います

わからないこと、疑問に思ったことなど、遠
慮せず何でも自由に話してください

宇宙を見て世界を知る

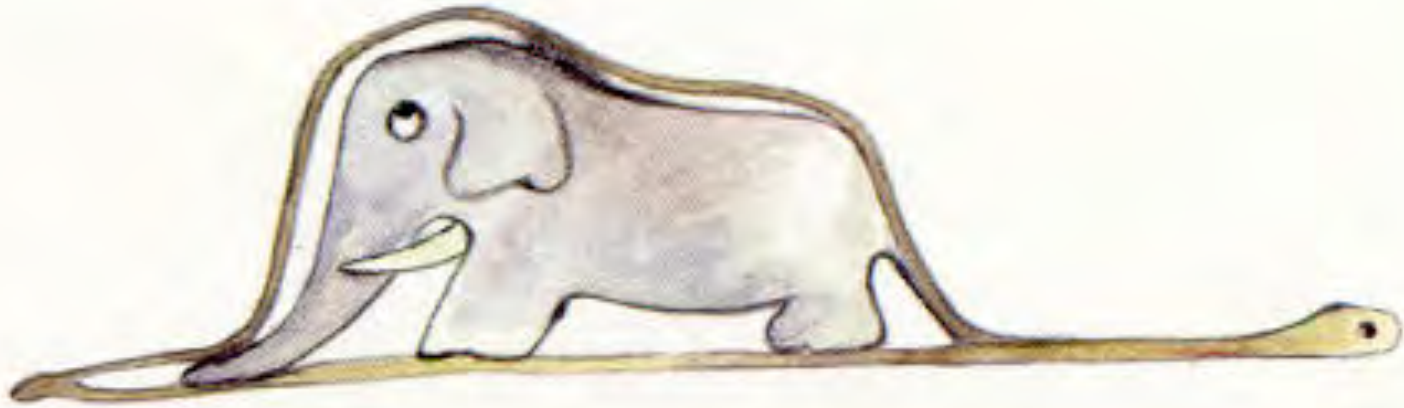
～この空のかなた～

みえているものだけがすべてではない



*Mon dessin ne représentait pas un chapeau. Il représentait
un serpent boa qui digérait un éléphant*

大切なものは目に見えない



*J'ai alors dessiné
l'intérieur du serpent boa, afin que les grandes personnes puissent
comprendre. Elles ont toujours besoin d'explications*



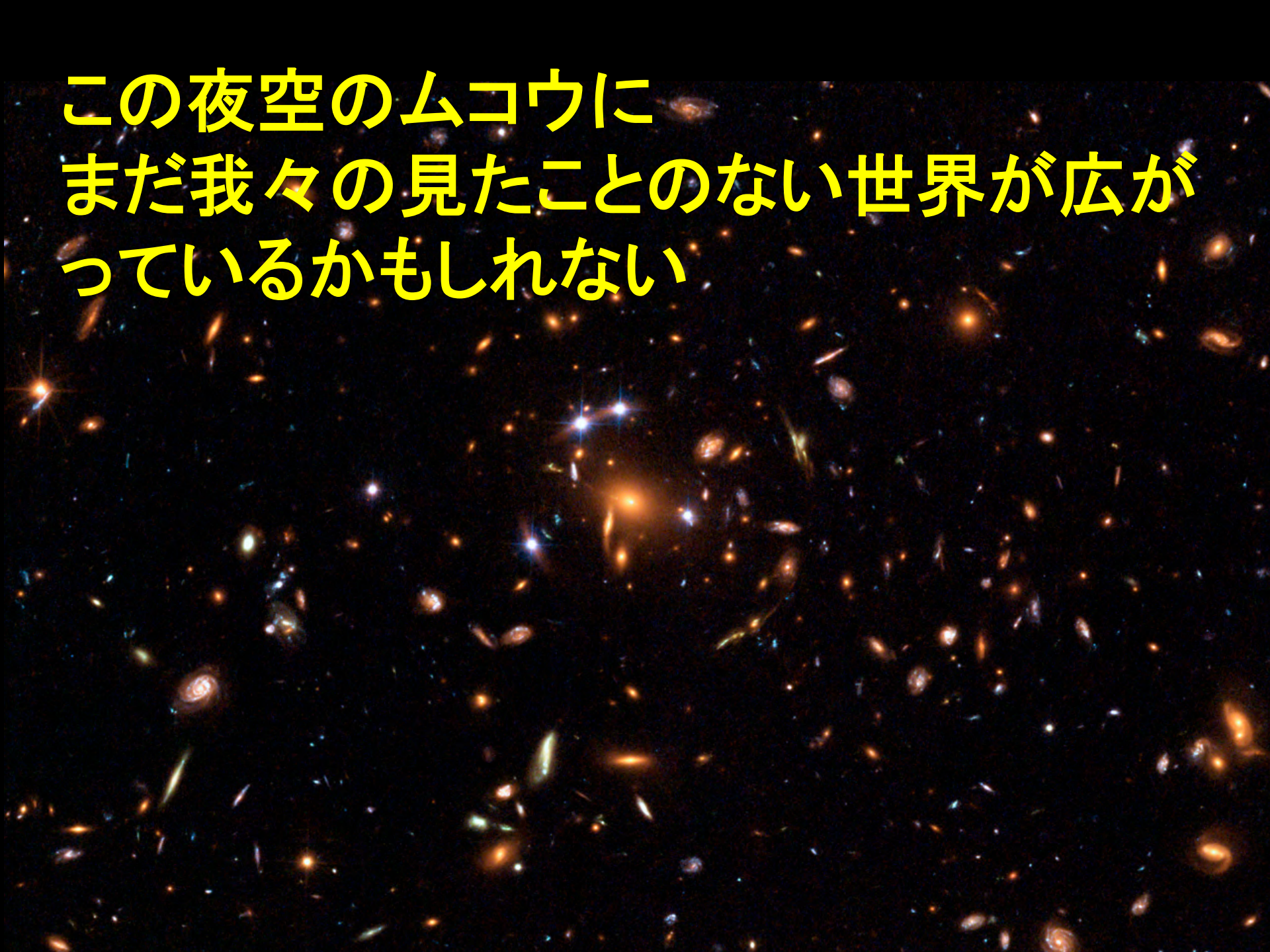
この青空の向こうに何かがあるはず



この星空の向こうにも何かがあるはず



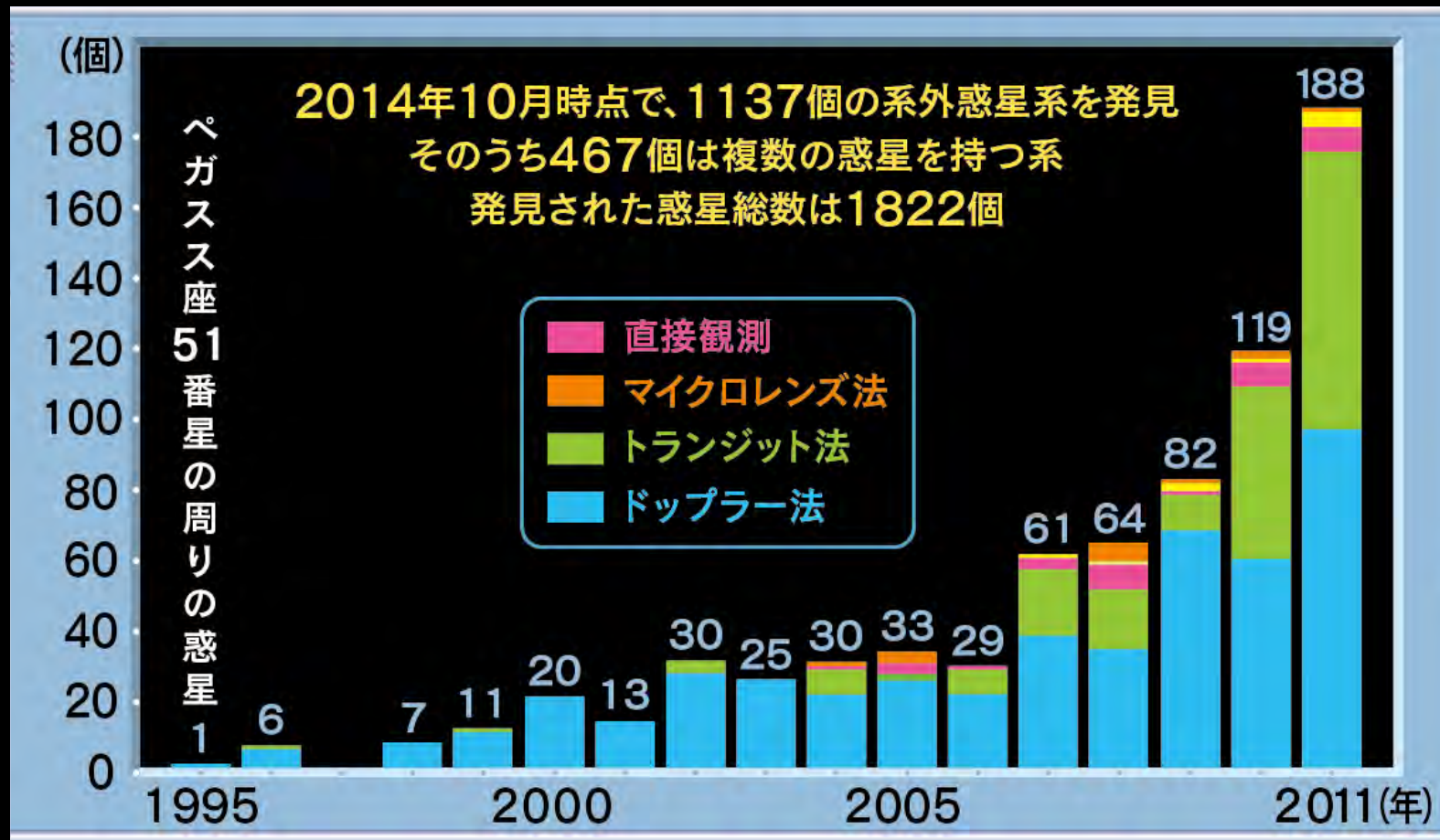
この夜空のムコウに
まだ我々の見たことのない世界が広が
っているかもしれない



第二の地球



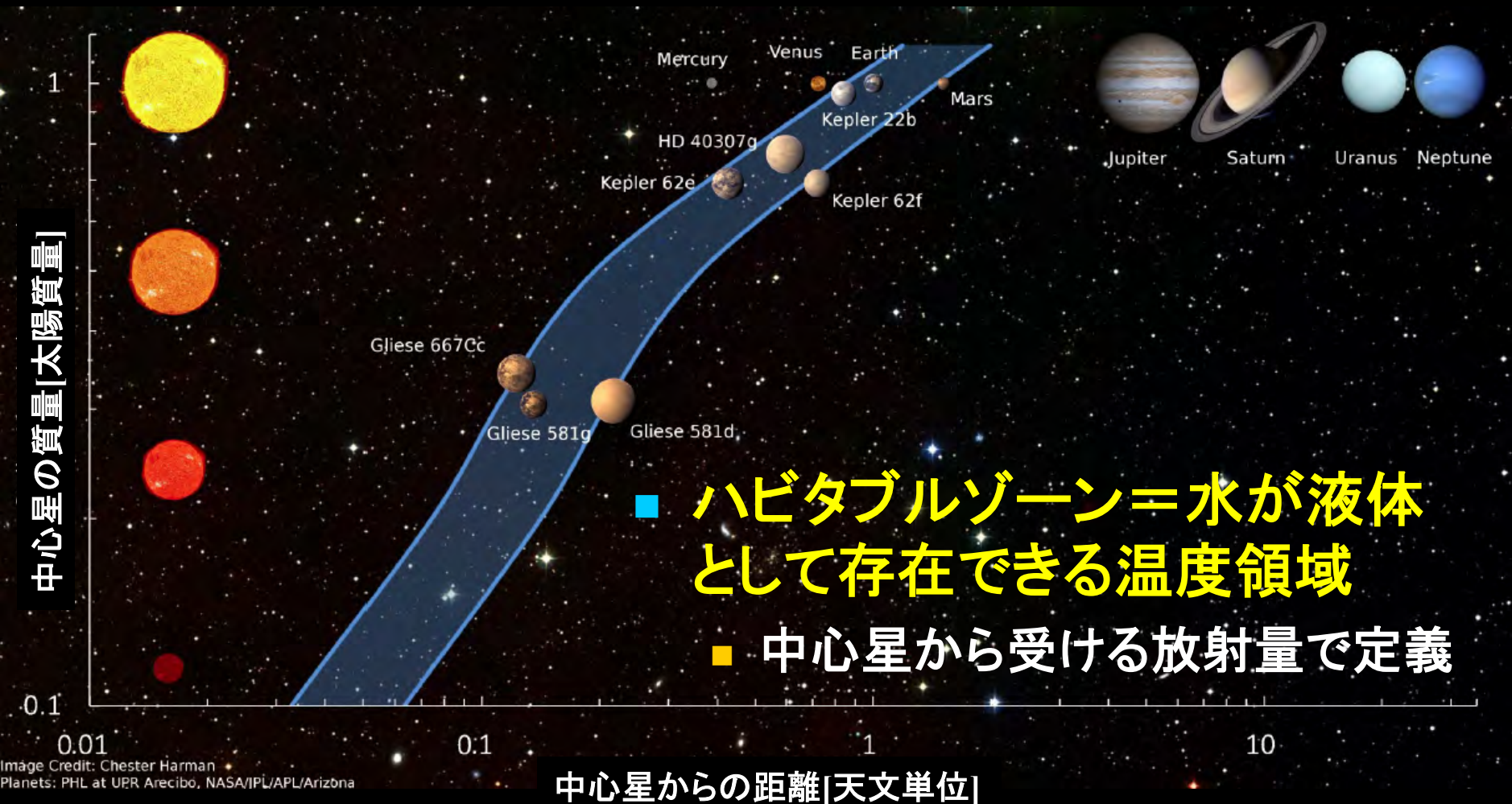
わが太陽系の外で、初めて惑星が発見されたのはわずか20年前



2016年6月時点では

8重惑星系:太陽系のみ、7重惑星系:3、6重惑星系:2、5重惑星系:15、
4重惑星系:49、3重惑星系:99、2重惑星系 300個以上

ハビタブル惑星候補 (生命が存在できるかもしれない)



Kasting, Kopparapu, Raminetz & Harman (2013)

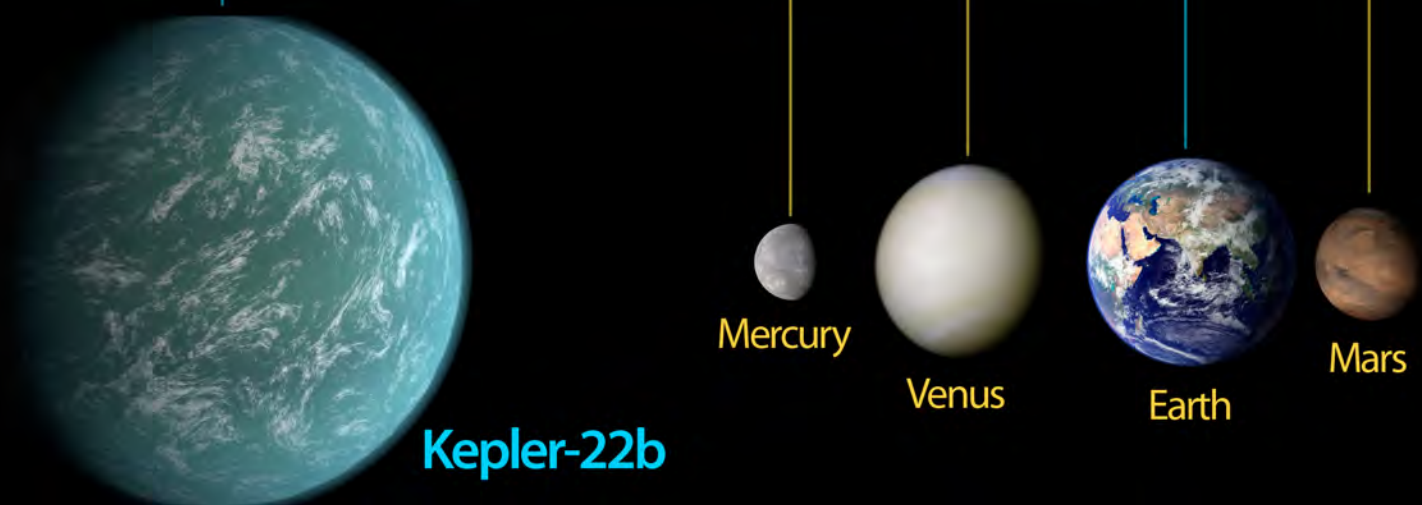
ハビタブル惑星候補の例

Kepler-22 System

第二の地球？ 生命は存在するのか？

Habitable Zone

Solar System



Kepler-22b

Mercury

Venus

Earth

Mars

Planets and orbits to scale

須藤 靖

私が宇宙に関する議論をした後で、しばしば聞かれるのが「宇宙人はいまいますか」。残念ながら今のところ、この質問の正解は誰も知りません。でも、私を含めて「実際に泥足引きかたが明かして、この広い宇宙どこかに存在していると思えます」と等々英文で書きながら多いことしばしば。

彼女と「宇宙人がいる」と言っているのは、彼女が「前は存在した、または存在しなかった」と言っているのと同じです。でも、これは「宇宙人を見たことがあろう」と「宇宙人がいる」という主張は全く意味が違います。宇宙人がいると主張する人は、地球に生命が存在する可能性を否定していません。むしろ、生命の存在は、長い歴史にわたって築かれてきた現代科学では明らかに矛盾しています。科学的な理由をもう思いめぐらしてみよう。僕は「宇宙人がいる」と主張する人を見たい。

一方これに対して、宇宙人（すなわ

ち、自分の星を飛び出し宇宙に進出できるだけの高度な文明を持つ知的生命体の存在自体は科学的にはおかしな事ではない。そもそもわれわれ人類がその一例なのだから、たまたま宇宙に宇宙人がいるとしても、それを実際に発見できるかどうかは別話です。

われ地球は、太陽とほろから約46億年前に生まれた。地球で最初の原始的生命が生まれたのはそれから約10億年後と推定されています。しかしそれらが進み、人類、あるいはその祖先が誕生したのは今から約40億年前。さらに宇宙へ探検を飛ばすまでには、少なくとも10億年以内を要したのだ。つまり、

しかもこの現代文明がこれからの程度までに発達するのにもまだ時間がかかりません。地球も資源の枯渇（石油は今から約50年以内）に悩まされて

れてしまっているものもあり、未知の病源による大規模減、さらには未知の天災がいつか起こる可能性があります。また、一部の悪徳な政治家が引き起す、予かめられない核戦争、などなど。これらも考慮して、地球のような、高度な文明は必ず数億年程度しか存続しないという悲観的な推定もあ

ります。とすれば、太陽が全く同じ惑星系が存在したとしても、この期間にたまたま高度な文明が来ている確率は、46億中の数億年、すなわちたった1千分の1に過ぎません。もちろん、この推定は単純すぎて極めて大雑把なのですが、ある意味では初期の興味深い「1」の統計が与えられます。

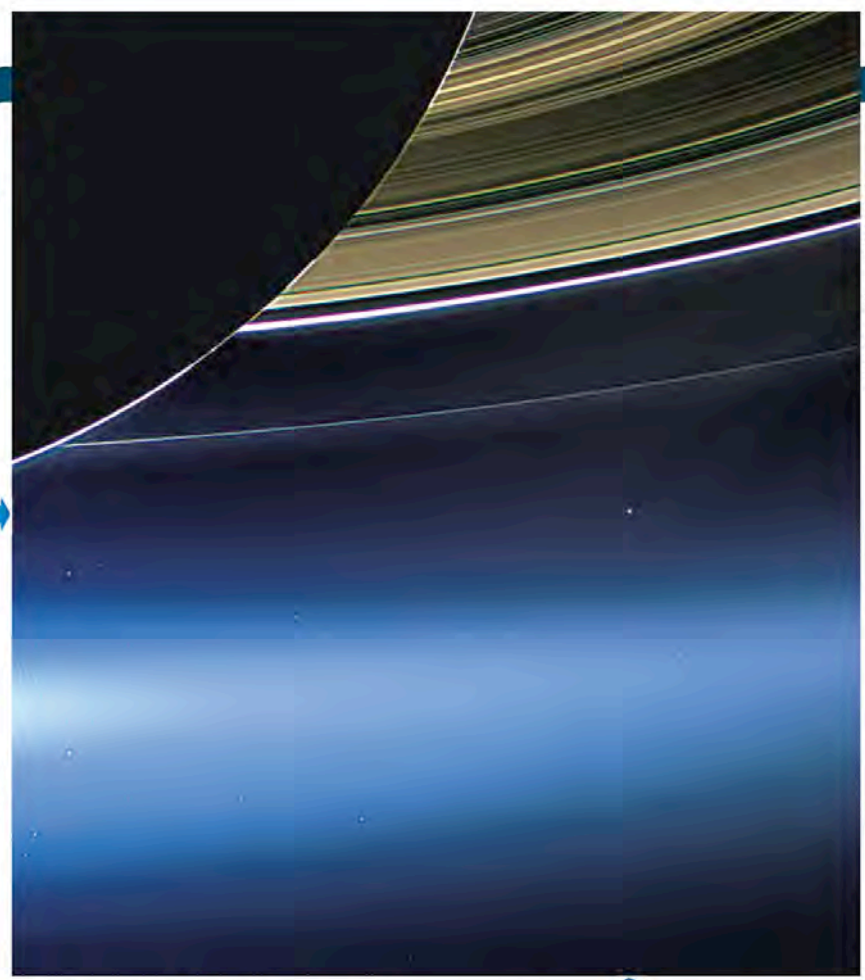
つまり、宇宙人の存在を論議するのは極めて難しいという悲観的な見方。太陽系のように生命を孕育条件がた

きないというわけでは、未知の文明が多岐の宇宙的な解釈が可能です。われわれが住むこの天の川銀河には約1千億個の星系があります。仮にそれらのすべてが太陽系のような惑星系が少なくとも1千分の1、すなわち1万個の高度な文明が誕生したと推定しても、この銀河系だけでも、約10億個の高度な文明が誕生していることになる。さらに、われわれが観測できる領域の1、すなわち1万個の銀河系が1個存在していることになる。

さらに、われわれが観測できる領域の1、すなわち1万個の銀河系が1個存在していることになる。さらに、われわれが観測できる領域の1、すなわち1万個の銀河系が1個存在していることになる。

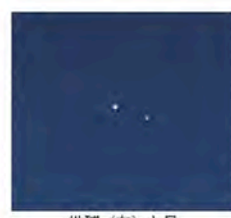
さらに、われわれが観測できる領域の1、すなわち1万個の銀河系が1個存在していることになる。

土星から見た地球



カッシーニ探査機が撮影した土星の輪と地球 ©NASA/JPL-Caltech ※写真左辺と下辺の矢印延長線が交差するあたりが地球

出典…http://www.jpl.nasa.gov/news/news.php?release=2013-229 http://www.jpl.nasa.gov/spacemages/details.php?id=PIA1171



地球（左）と月

開くにもなっていない。宇宙のどこかに宇宙人がいるのか、という問いは、しばしば聞かれる。でも、私を含めて「実際に泥足引きかたが明かして、この広い宇宙どこかに存在していると思えます」と等々英文で書きながら多いことしばしば。彼女と「宇宙人がいる」と言っているのは、彼女が「前は存在した、または存在しなかった」と言っているのと同じです。でも、これは「宇宙人を見たことがあろう」と「宇宙人がいる」という主張は全く意味が違います。宇宙人がいると主張する人は、地球に生命が存在する可能性を否定していません。むしろ、生命の存在は、長い歴史にわたって築かれてきた現代科学では明らかに矛盾しています。科学的な理由をもう思いめぐらしてみよう。僕は「宇宙人がいる」と主張する人を見たい。一方これに対して、宇宙人（すなわち、自分の星を飛び出し宇宙に進出できるだけの高度な文明を持つ知的生命体の存在自体は科学的にはおかしな事ではない。そもそもわれわれ人類がその一例なのだから、たまたま宇宙に宇宙人がいるとしても、それを実際に発見できるかどうかは別話です。われ地球は、太陽とほろから約46億年前に生まれた。地球で最初の原始的生命が生まれたのはそれから約10億年後と推定されています。しかしそれらが進み、人類、あるいはその祖先が誕生したのは今から約40億年前。さらに宇宙へ探検を飛ばすまでには、少なくとも10億年以内を要したのだ。つまり、しかもこの現代文明がこれからの程度までに発達するのにもまだ時間がかかりません。地球も資源の枯渇（石油は今から約50年以内）に悩まされて、未知の病源による大規模減、さらには未知の天災がいつか起こる可能性があります。また、一部の悪徳な政治家が引き起す、予かめられない核戦争、などなど。これらも考慮して、地球のような、高度な文明は必ず数億年程度しか存続しないという悲観的な推定もあります。とすれば、太陽が全く同じ惑星系が存在したとしても、この期間にたまたま高度な文明が来ている確率は、46億中の数億年、すなわちたった1千分の1に過ぎません。もちろん、この推定は単純すぎて極めて大雑把なのですが、ある意味では初期の興味深い「1」の統計が与えられます。つまり、宇宙人の存在を論議するのは極めて難しいという悲観的な見方。太陽系のように生命を孕育条件がたきないというわけでは、未知の文明が多岐の宇宙的な解釈が可能です。われわれが住むこの天の川銀河には約1千億個の星系があります。仮にそれらのすべてが太陽系のような惑星系が少なくとも1千分の1、すなわち1万個の高度な文明が誕生したと推定しても、この銀河系だけでも、約10億個の高度な文明が誕生していることになる。さらに、われわれが観測できる領域の1、すなわち1万個の銀河系が1個存在していることになる。さらに、われわれが観測できる領域の1、すなわち1万個の銀河系が1個存在していることになる。さらに、われわれが観測できる領域の1、すなわち1万個の銀河系が1個存在していることになる。

高知新聞二〇一六年五月十三日

宇宙物理学者、東京大学教授 須藤靖

土星から 見た地球



- 土星探査機カッシーニが撮影した地球と月
 - 2013年7月20日(日本時間): 2万人がこちらに手を振っている

View from Saturn (Cassini)
900 million miles away

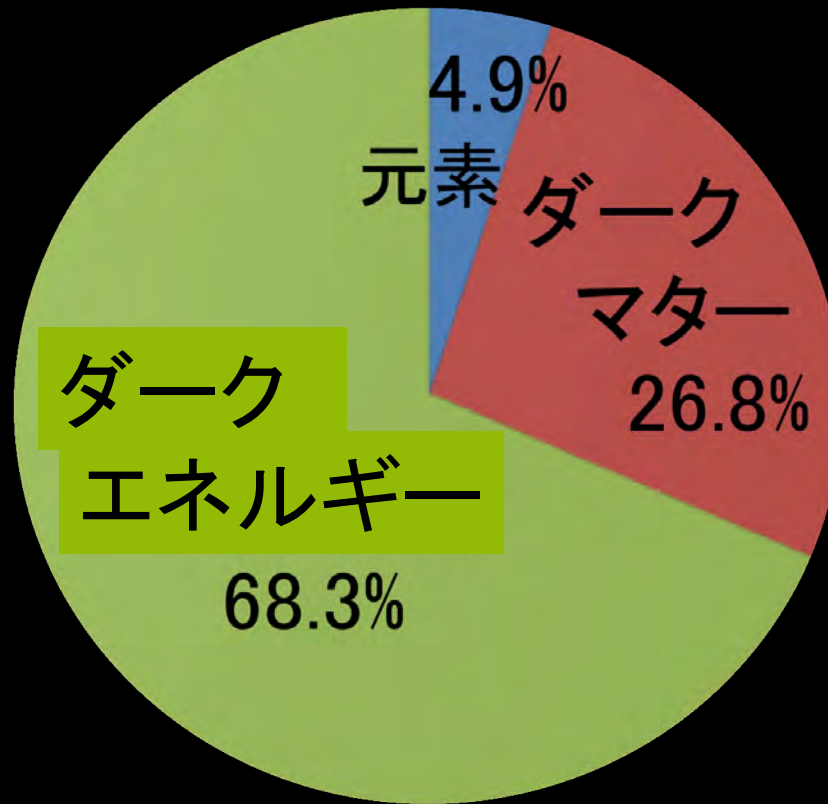
予想もできない展開が待っているはず

■ 最初に起こるのはどれだろう

- 地球外生物の痕跡の天文学的検出
- 実験室での人工生物の誕生
- 地球外文明からの交信の検出
- 地球文明の破滅（いったん発達した文明は、疫病、核戦争、資源の枯渇などの要因で不安定）

■ 交信できるレベルまで安定に持続した地球外文明の有無を知ることは、我々の未来を知ることと等しい

ダークエネルギー



世界は何からできている？

■ 古代ギリシャの4元素説

- 空気、土、火、水

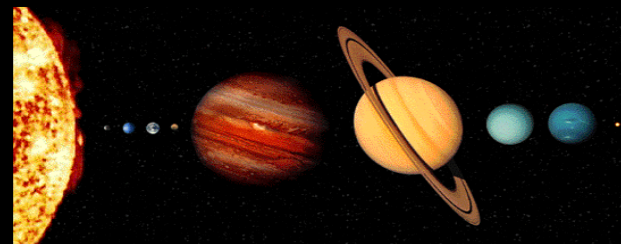
■ 中国の五行説

- (木、火、土、金、水)
× (陽、陰)

- これが日本で用いられている惑星
と曜日の名前の由来

■ 現代物理学

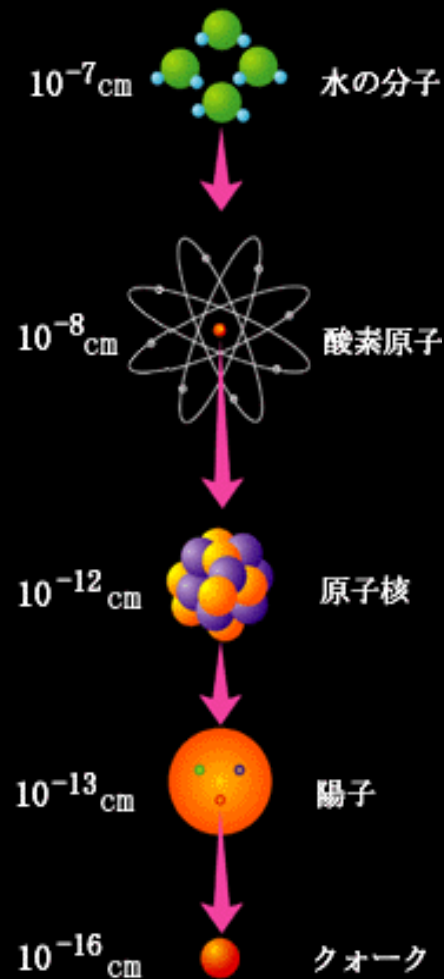
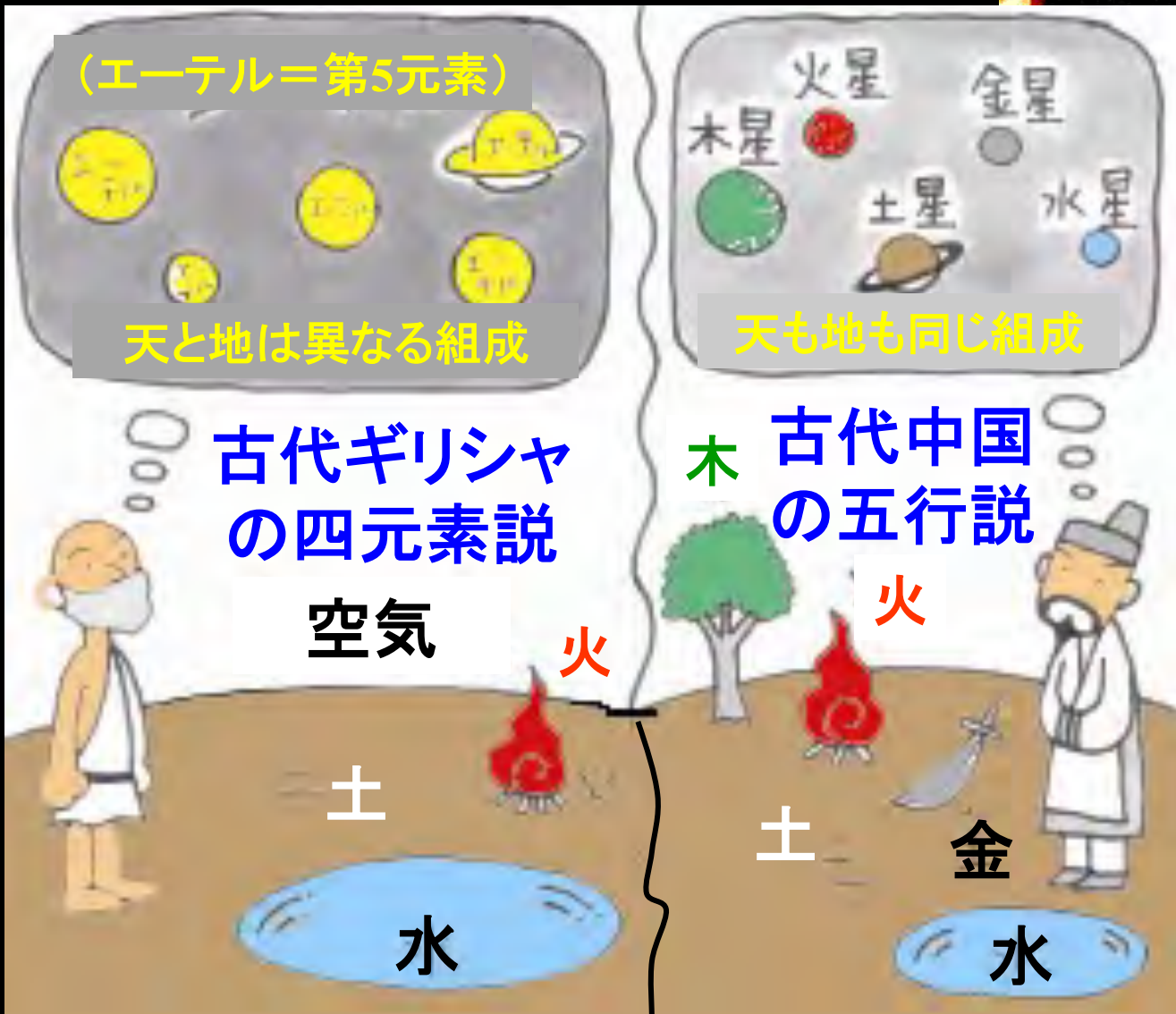
- 分子⇒原子⇒原子核(陽子・中性子)
⇒素粒子(電子、ニュートリノ:
クォーク・レプトン)



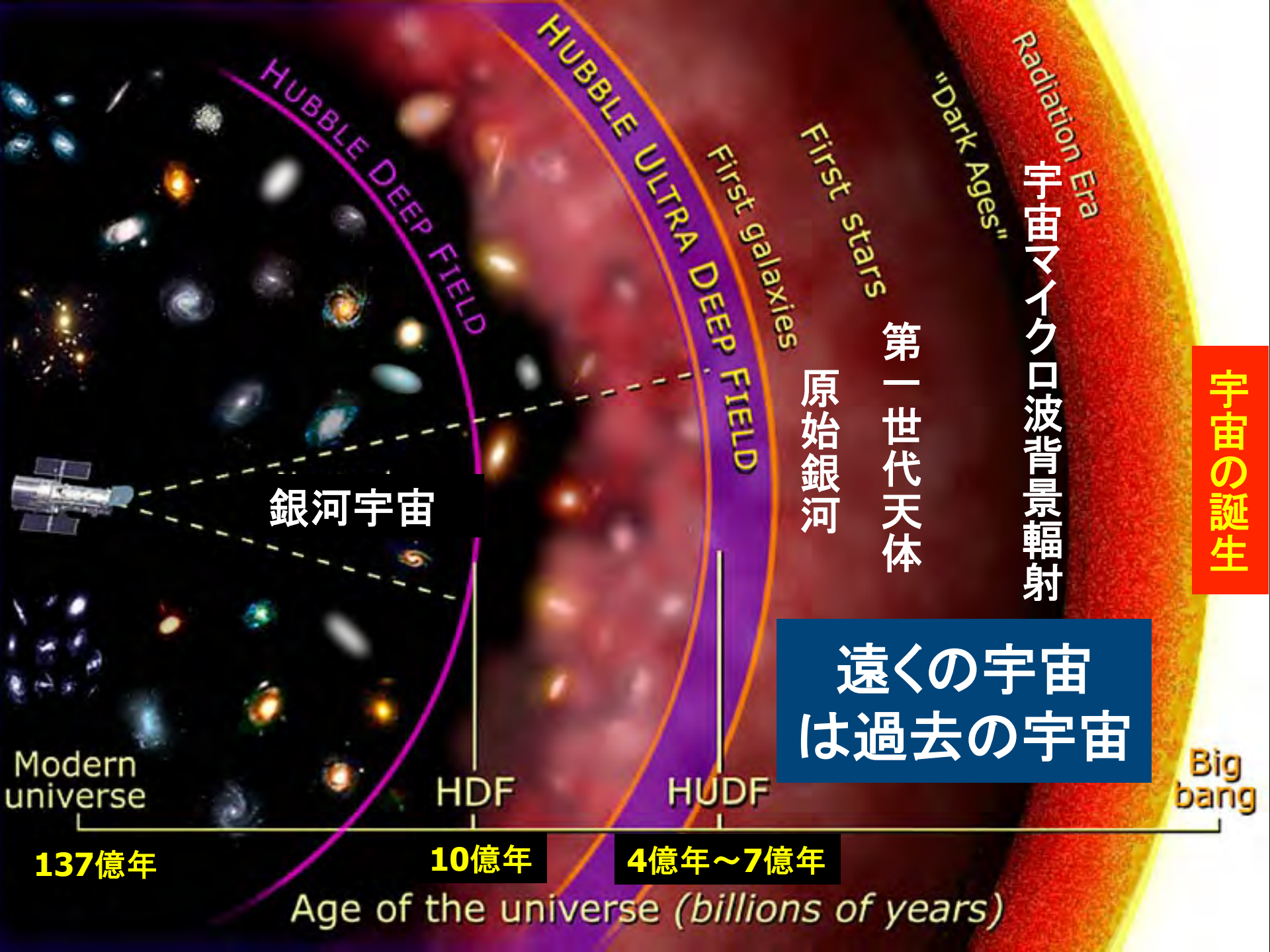
日月火水木金土

	陽	陰
木	きのえ 甲	きのと 乙
火	ひのえ 丙	ひのと 丁
土	つちのえ 戊	つちのと 己
金	かのえ 庚	かのと 辛
水	みずのえ 壬	みずのと 癸

天の世界と地の世界



(いずれも 図: 須藤靖「ものの大きさ」図1.1より)



宇宙の誕生

宇宙マイクロ波背景放射

Radiation Era
"Dark Ages"

第一世代天体

First stars

原始銀河

First galaxies

HUBBLE ULTRA DEEP FIELD

HUDF

HDF

HUBBLE DEEP FIELD

銀河宇宙

遠くの宇宙
は過去の宇宙

Big bang

137億年

10億年

4億年~7億年

Age of the universe (billions of years)

Modern universe

2011年 ノーベル物理学賞

- **Saul Perlmutter, Brian P. Schmidt and Adam G. Riess**
 - 遠方超新星の観測にもとづく宇宙の加速膨張の発見に対して
 - 宇宙を加速膨張させているのがダークエネルギー



重力だけでは加速膨張できないはず？

■ ニュートンの重力の逆二乗則

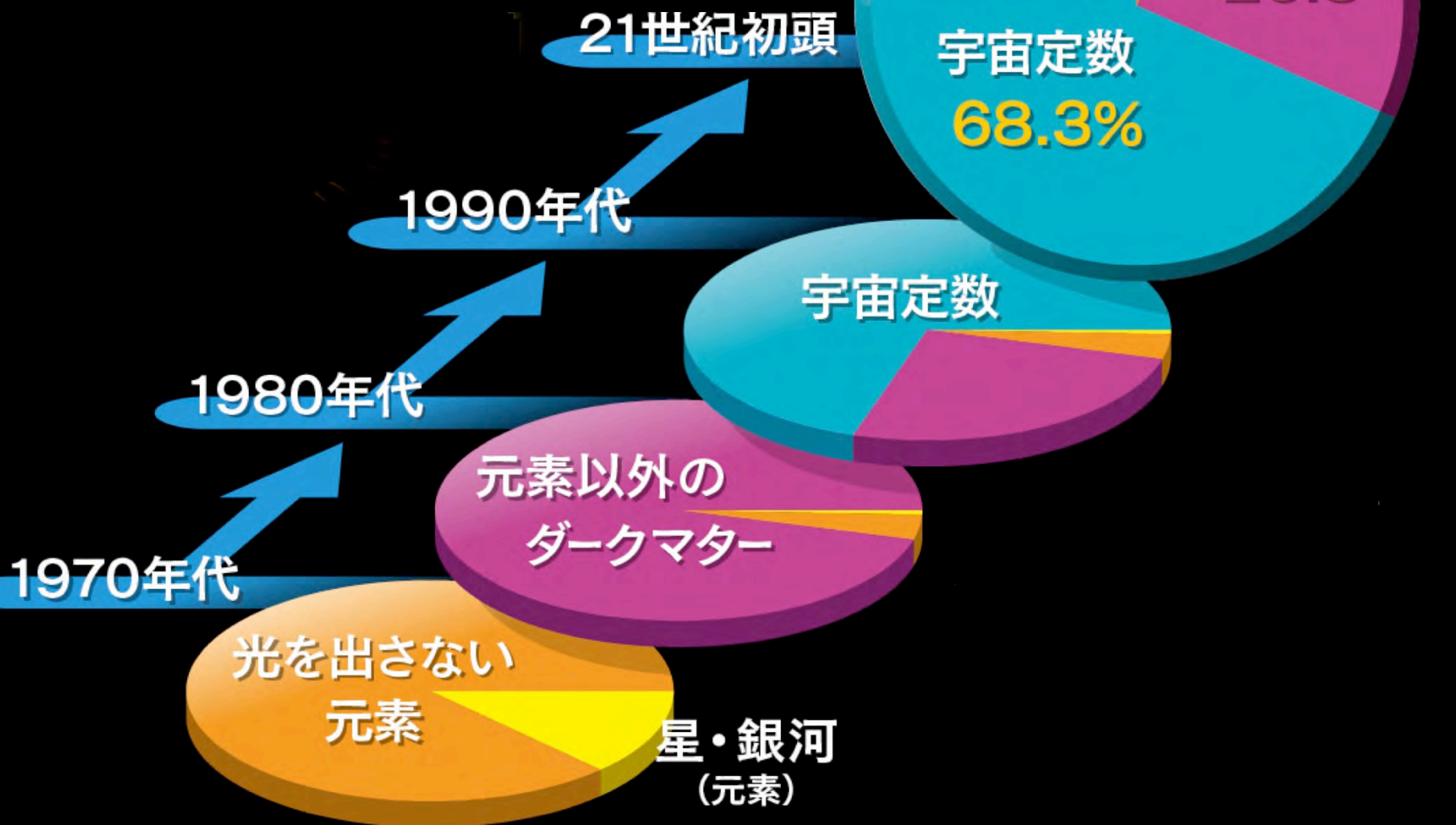
$$\frac{d^2 a}{dt^2} = -\frac{GM(<a)}{a^2} = -\frac{G}{a^2} \left(\frac{4\pi}{3} \rho a^3 \right) = -\frac{4\pi G}{3} \rho a < 0$$

■ 一般相対論による宇宙膨張の式

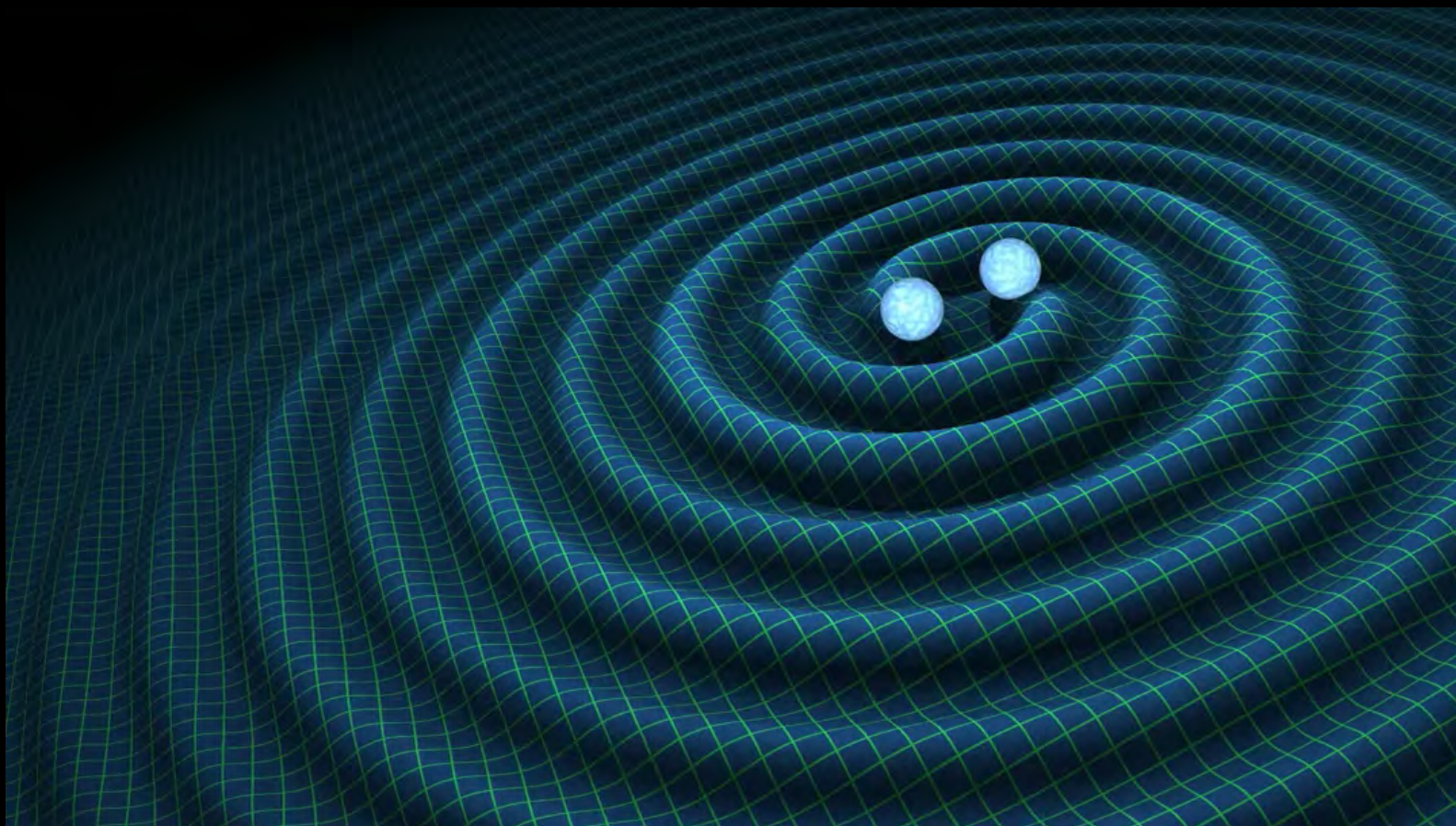
$$\frac{d^2 a}{dt^2} = -\frac{4\pi G}{3} (\rho + 3p)a$$

- 圧力(p)も実効的な重力源として寄与する
- 正の加速度を説明するには、負の質量あるいは負の圧力を仮定するしかない
 - アインシュタインの宇宙定数: $p = -\rho$
 - より一般化したのがダークエネルギー: $p = w\rho$ (定数 $w < -1/3$)
- あるいはそもそも宇宙論スケールでは一般相対論が正しくないのかも(修正重力理論)

現代天文学による 宇宙観の進化



重力波



2016年2月12日：物理学の歴史に残る 重力波発見の大ニュースが世界中を駆け巡る

朝日新聞
2月12日
金曜日

号外

朝日新聞
2016年2月12日
220-33-0277
http://www.asahi.com

朝日新聞
朝日新聞

速報も詳報もデジタル版で

重力波を初観測

アインシュタインの予言実証

100年前にアインシュタインが存在を予言し、世界の研究者が観測を目指していた「重力波」について、米国の研究チームが11日、初めて観測したを発表した。最終的に確認されれば理論が実証されたことになり、物理学の歴史的な成果となる。光や電波ではわからない宇宙の姿を捉える新たな天文観測にも道が開ける。

米研究チーム発表

重力波は、時間や空間がわずかに縮み、伸ぶ。時空のひずみが生じた波のようになり、物体が加速して動くときに起こる。アインシュタインが1916年、一般相対性理論から予言していた。その観測は「最後の宿題」とされ、物理学の長年の懸念だった。

重力波はあらゆる運動で生じるとされるが、極めて微弱で通常は観測できない。このため、星の合体などで生じた大きな重力波を捉えることになる。研究チームは米国のカリフォルニア州にある装置「LIGO」の性能を大幅に高め、昨年9月から今年1月上旬まで観測、分析作業を進めていた。

重力波は「重力波望遠鏡」とも呼ばれる。重力波を捉えることで、二つの星が互いに回る連星の動きや超新星爆発、宇宙の始まりなど様々な天体現象を新たな視点で探れるようになる。専門家の間では「観測すればノーベル賞確実」と言われている。

9月11日、地球から13億光年離れた二つのブラックホールが合体したときに似たような重力波を十分な精度で検出できたとしている。物理学誌「フジ」に掲載された。

重力波に詳しい大塚博司・米カリフォルニア工科大理論物理学研究所長は「高い精度の分析結果で、重力波がきちんと観測されたことが、宇宙を探究する新しい窓が開けたことは素晴らしい。今後、検出が続く。さらに精度が上がっていくだろう」とのコメントを寄せた。（小林哲朗・シエラ・黒川 提供）

平成28年2月12日(金) 産経新聞 号外 THE SANKEI SHIMBUN

重力波 初検出

米チーム 宇宙誕生の謎迫る 相対性理論裏付け

宇宙の始まり、重力波を宇宙誕生の謎迫る。検出された重力波は、米国の研究チームが11日、日本時間12日、発表した。アインシュタインが100年前に予言していた重力波が、ついに観測された。重力波は、時空のひずみが生じた波のようになり、物体が加速して動くときに起こる。アインシュタインが1916年、一般相対性理論から予言していた。その観測は「最後の宿題」とされ、物理学の長年の懸念だった。

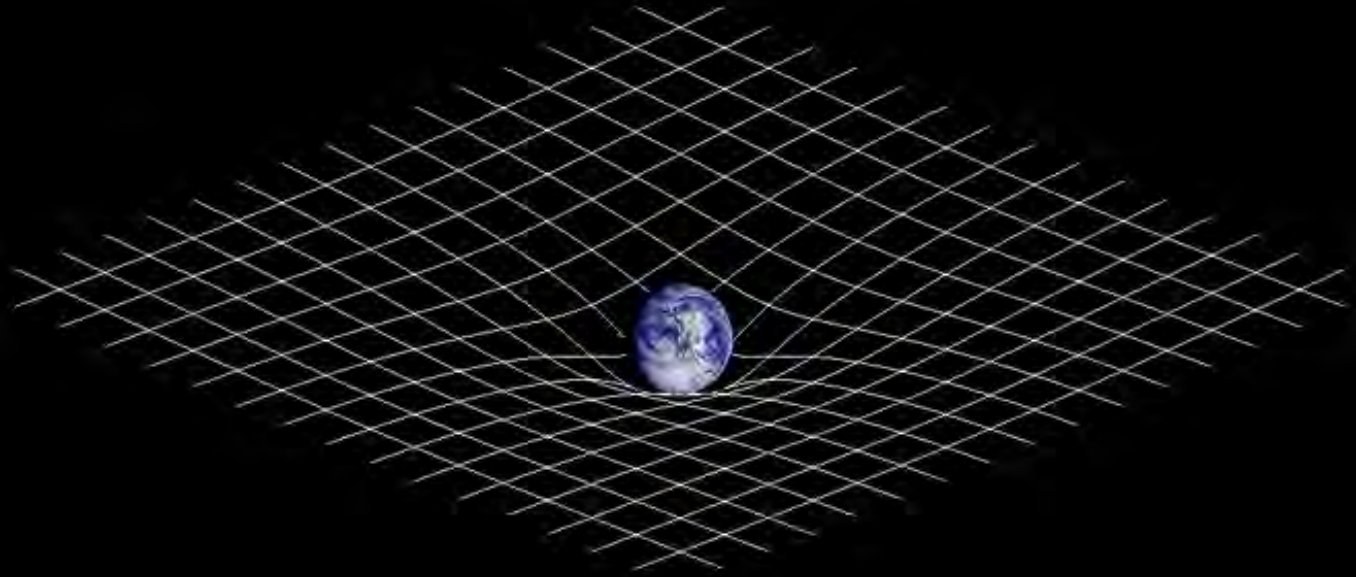
重力波はあらゆる運動で生じるとされるが、極めて微弱で通常は観測できない。このため、星の合体などで生じた大きな重力波を捉えることになる。研究チームは米国のカリフォルニア州にある装置「LIGO」の性能を大幅に高め、昨年9月から今年1月上旬まで観測、分析作業を進めていた。

9月11日、地球から13億光年離れた二つのブラックホールが合体したときに似たような重力波を十分な精度で検出できたとしている。物理学誌「フジ」に掲載された。

重力波に詳しい大塚博司・米カリフォルニア工科大理論物理学研究所長は「高い精度の分析結果で、重力波がきちんと観測されたことが、宇宙を探究する新しい窓が開けたことは素晴らしい。今後、検出が続く。さらに精度が上がっていくだろう」とのコメントを寄せた。（小林哲朗・シエラ・黒川 提供）

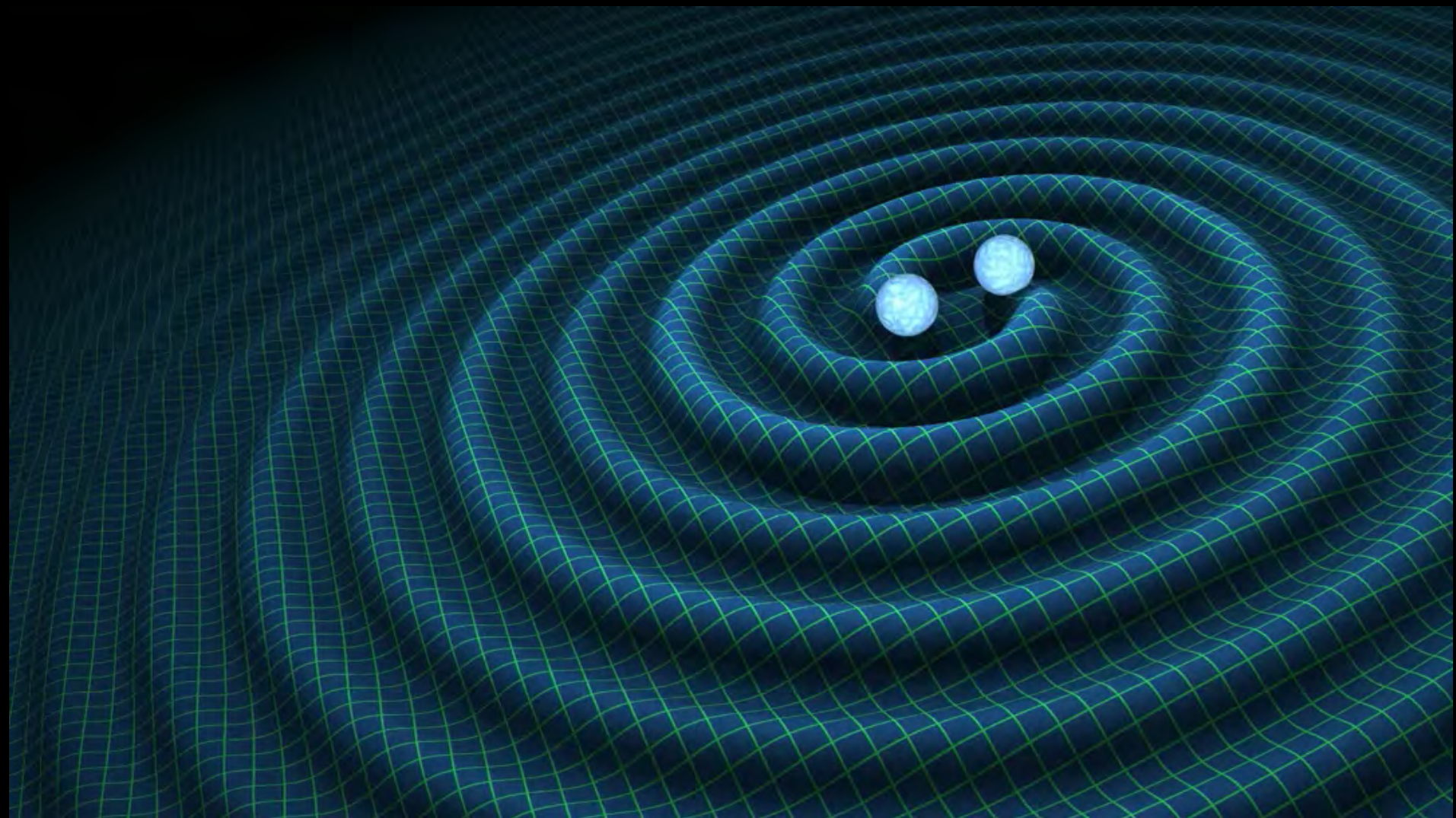
重力波：時空の歪みが波として伝わる

- 一般相対論の最も基本的な考え方
 - 静止している物体のまわりの空間は歪む。そのためにその周りの物体が重力を受ける

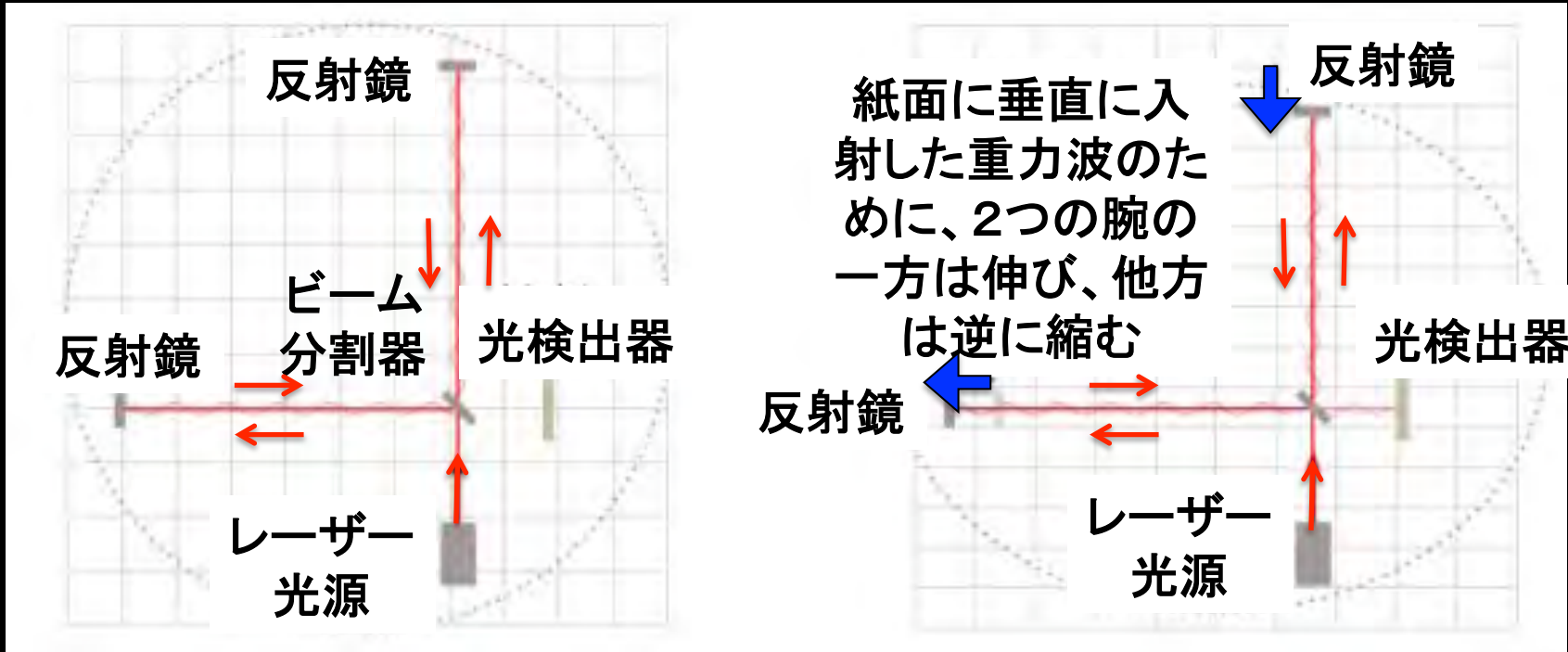


- さらに、物体が運動すると、この歪みのパターンが時間変化し、波として伝わる(重力波)

連星中性子星合体時の重力波



レーザー干渉計による 空間の歪み(=重力波)検出原理



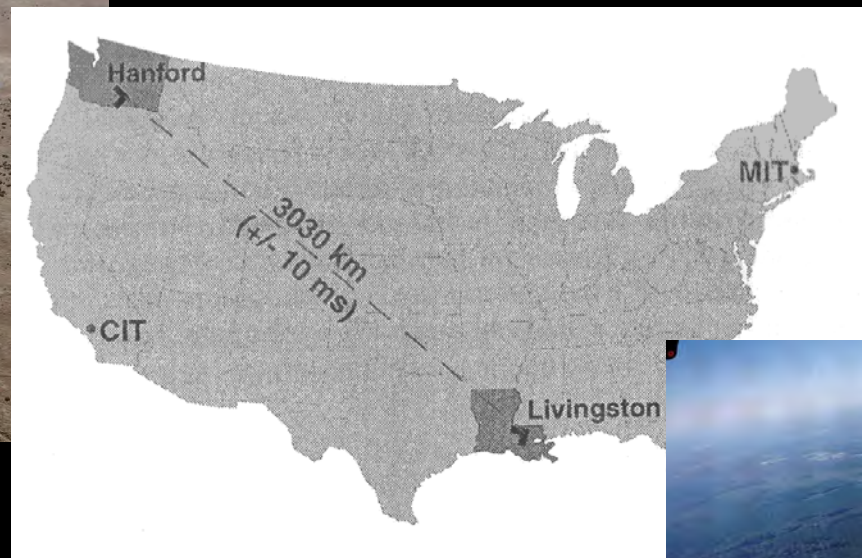
反射して戻って来た2つの
光が互いに打ち消して、光
検出器には届かないように
調整しておく

腕の長さが変化したために、
反射して戻って来た2つの
光はもはや打ち消されず
光検出器に届く

重力波の直接検出を目指して advanced LIGO(Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory)



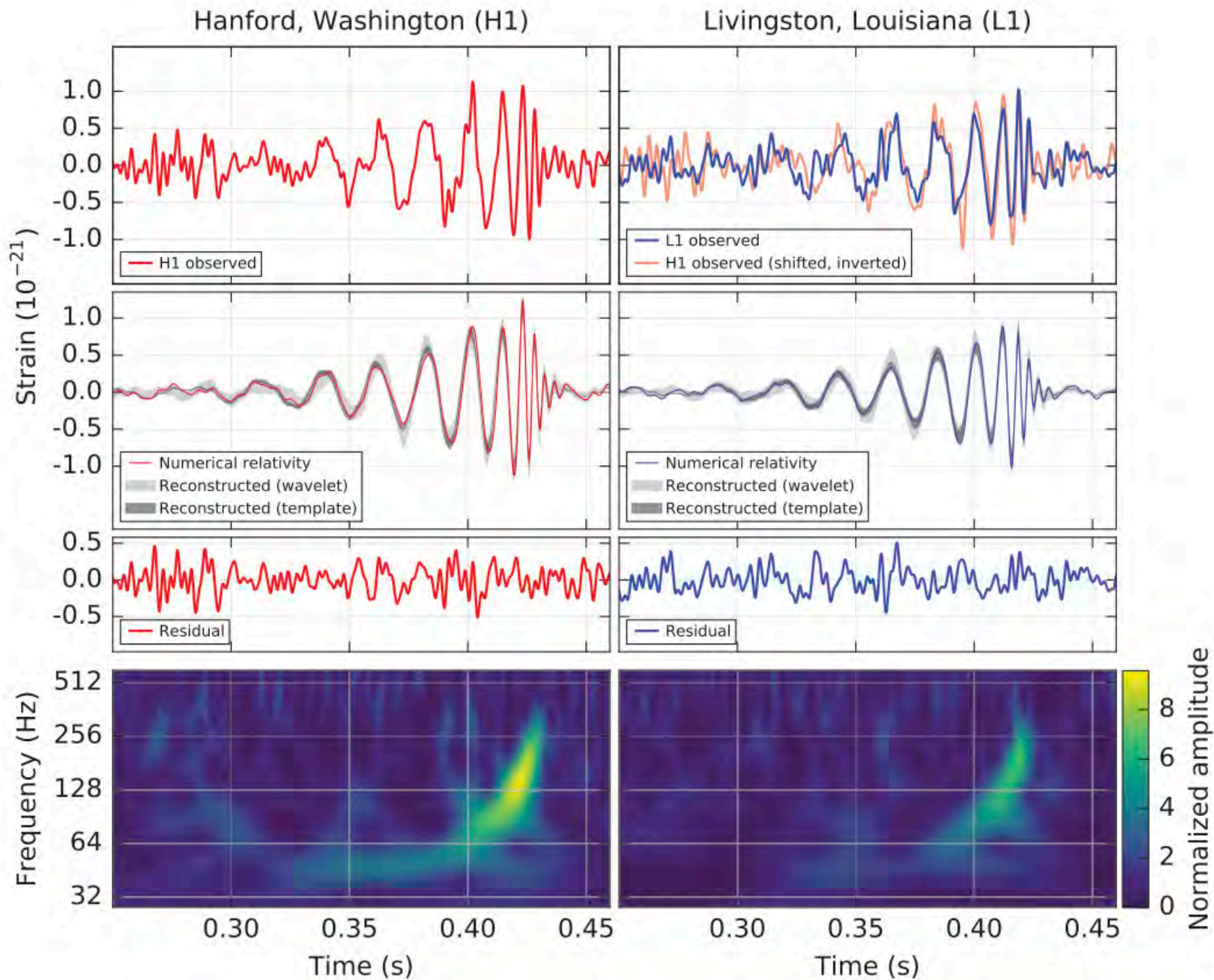
米国ワシントン州
ハンフォード



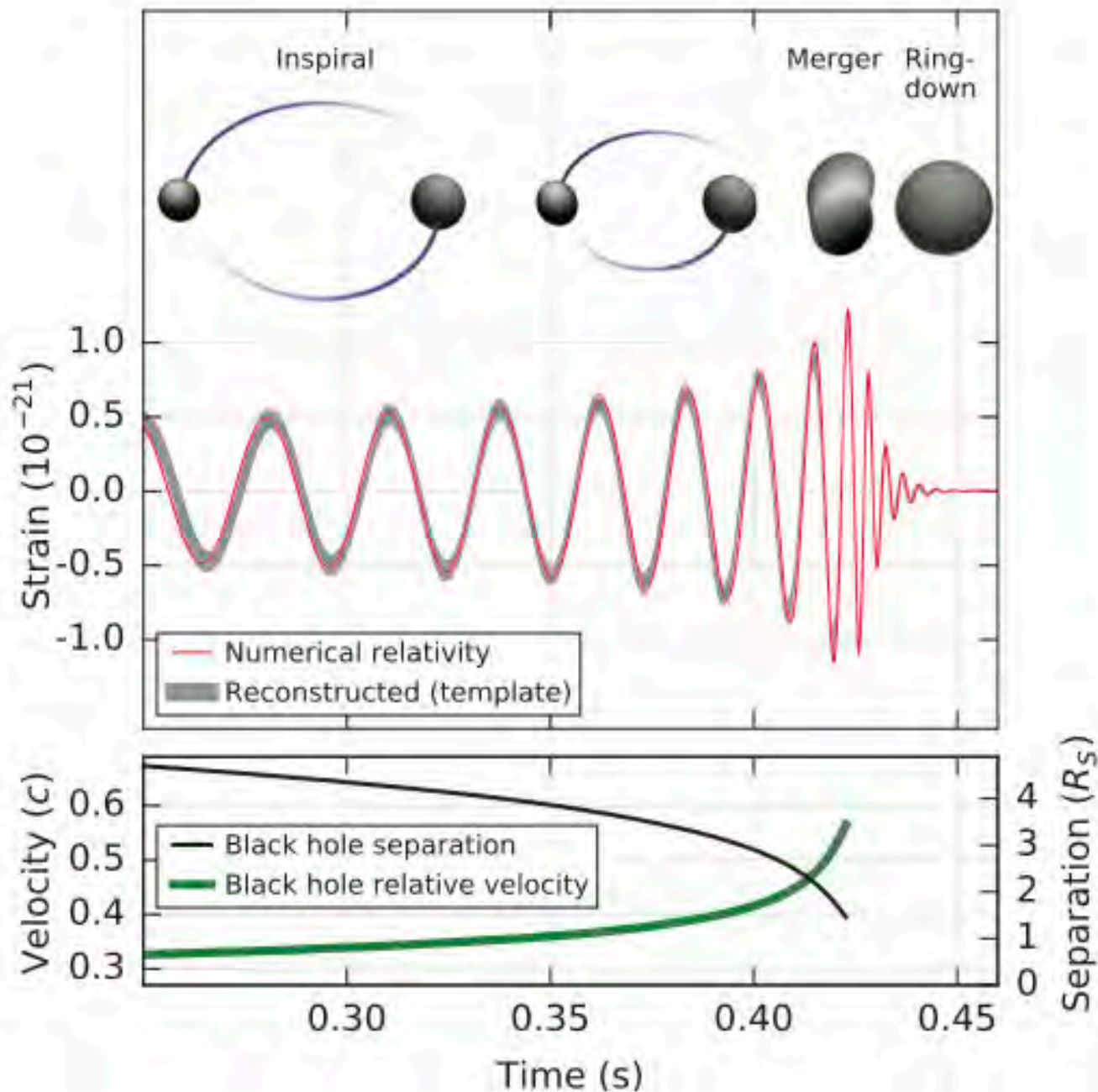
米国ルイジアナ州
リビングストン



2015年9月14日 9時50分45秒 (世界時)



2つのブラックホールが合体
する最後の10分の1秒間に
放出された重力波だった！



重力波天文学の幕開け

- 得られた信号の大きさは、**地球と太陽間の距離が原子一個分程度変化**する程度の恐るべき小ささ
 - 技術の発展が科学の進歩を支えている
- 光以外で宇宙を見る**新しい天文学の誕生**
 - しかも最初に発見されたのは、太陽の30倍の質量をもつ2つのブラックホールからなる連星系が合体した際に生まれた重力波(空間の歪み)
 - 実は今まで知らなかっただけで、宇宙はブラックホールで満ちているのかも？

まとめ

この青空の向こうに何かがあるはず



この星空の向こうにも何かがあるはず



この夜空のムコウに
まだ我々の見たことのない世界が広が
っているかもしれない

