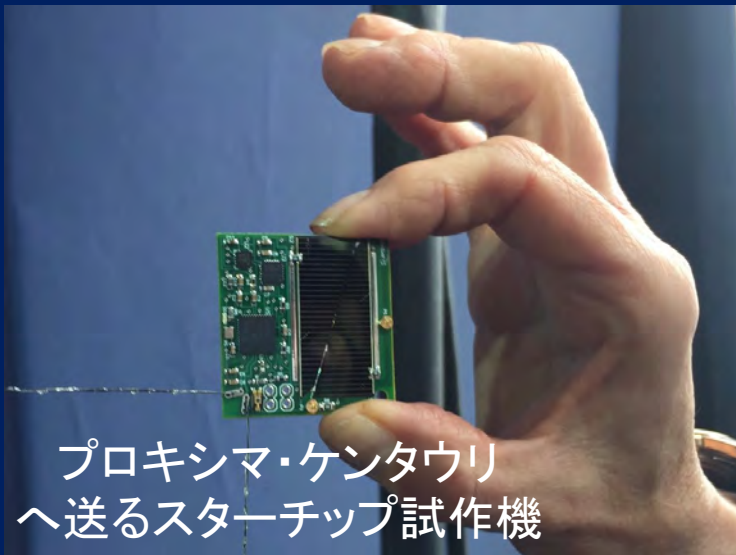
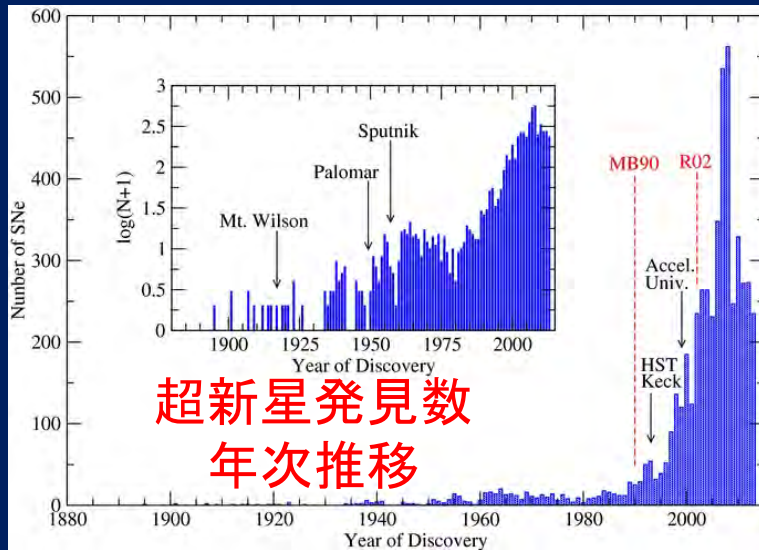


工学と天文学



東京大学大学院理学系研究科

物理学専攻 須藤 靖

平成30年度中国・四国工学教育協会

大学教育部会役員会・研究会

2018年12月13日 13:40-14:20

@高知工科大学

理学部と工学部の文化の違い

- 理学部物理学科出身で、工学部物理工学科に長くいた後再び理学部物理学科に戻って来た先生から以前聞いた話
 - 理学部(特に物理)の人たちは、物事の判断においては原理原則にのっとり、再現可能性や普遍性、公平性、以前の判断との整合性を重視する。一方、工学部は効率的に、現時点で最も合理的だと考える判断を行う。なぜならば、以前と現在では、外的状況が変化しているので、その間の整合性にはほとんど意味がないからである。それに至るプロセスには関係なく、最適な結果を得ることを好むようだ。

どちらが良い悪いではない

■ 理学部

- 全員参加で行うため議論が長く、面倒くさい
- 結論の合意が遅く、時宜を逸することが多い
- 一旦まとまれば、一般論なのでぶれず安定する

■ 工学部（こちらは多分に私の個人的印象）

- トップダウン的なので迅速に対応できる
- あらゆる可能性・機会を逃さず活用する
- その時点での最適化が優先されるので、必ずしも過去の判断と整合性がなく分、結論が予想不可能

工学的技術の革新がもたらした 天文学のブレイクスルーの紹介

■ 超新星(時間変動天体)自動探査

- 宇宙の主成分はダークエネルギー

■ スペース惑星探査ミッション

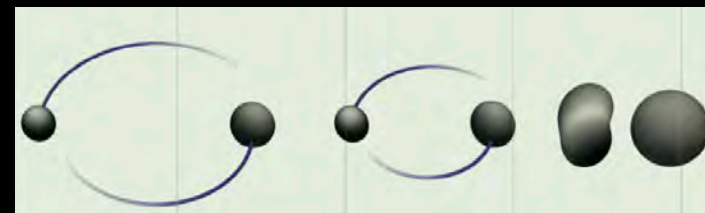
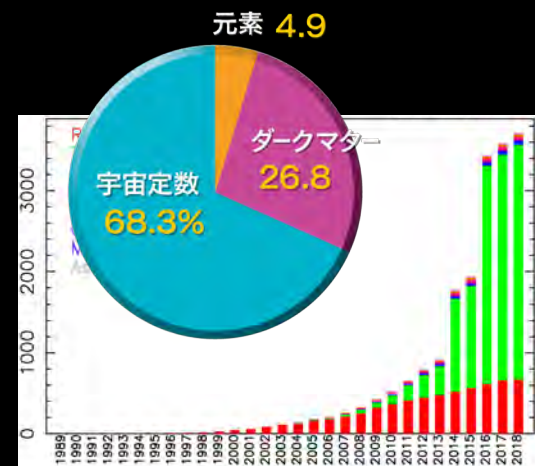
- 宇宙は無数の惑星で満たされている

■ 地上超精密レーザー干渉計

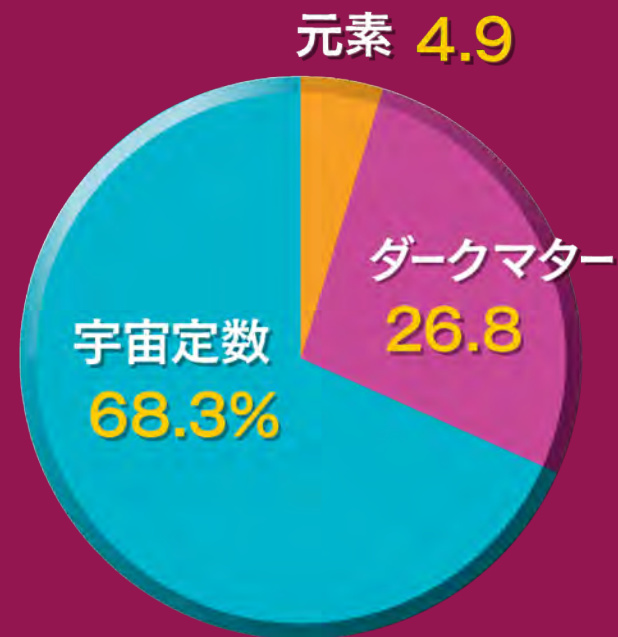
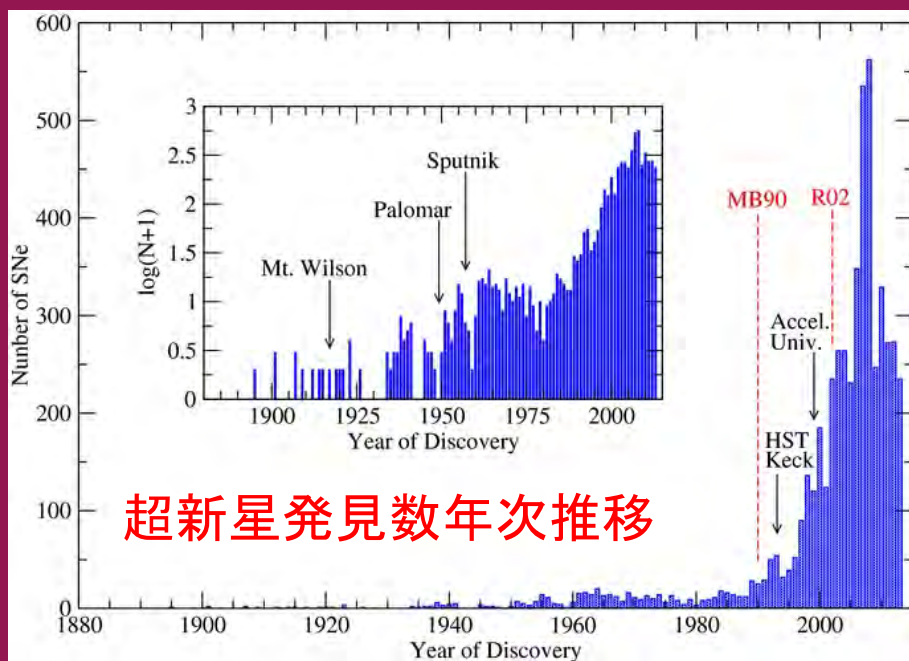
- 一般相対論の直接検証
- 宇宙は無数のブラックホールで満たされている

■ プロキシマ・ケンタウリへのナノ探査機

- 50年後にどのようなデータが地上に届くのか



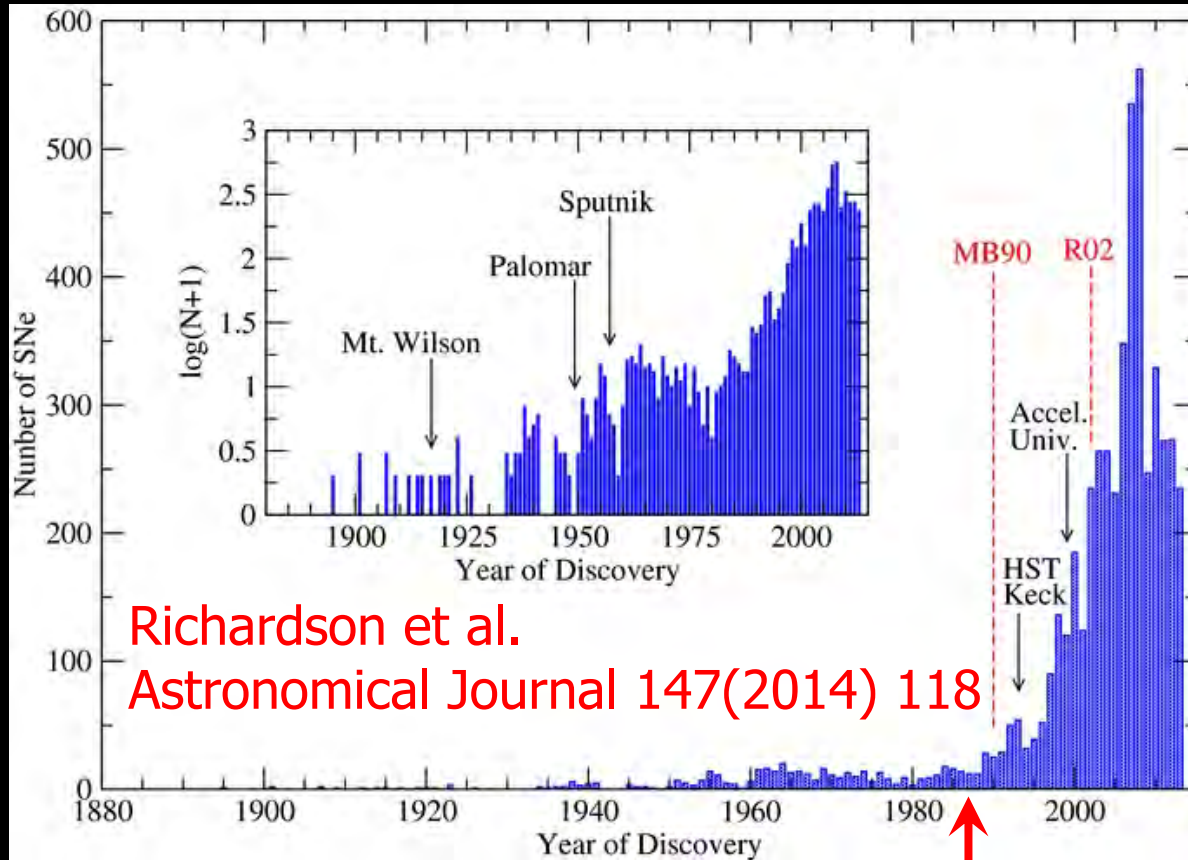
超新星(時間変動天体)自動探査



時間変動天体

- 一般に、天体の進化スケール(数千万年から10億年)は人生(100年)よりもはるかに長い
- 通常のアストロノミー
 - 宇宙は、いつ見ても同じ⇒静止画撮影
- 時間領域天文学
 - 時間変動する天体(現象)⇒動画撮影
 - 重力マイクロレンズを用いたMACHO探査
 - 超新星探査と宇宙の加速膨張
 - トランジットを用いた太陽系外惑星探査
 - 重力マイクロレンズを用いた太陽系外惑星探査

超新星の発見数年次推移

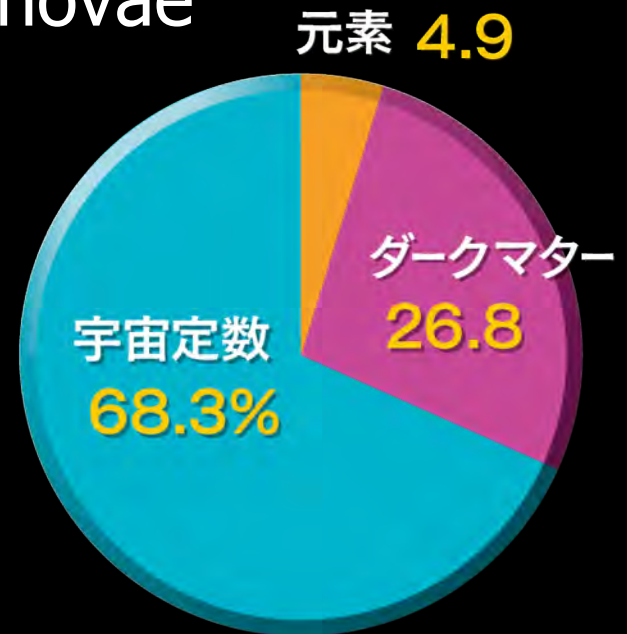


私がカリフォルニア大学バークレーで博士研究員をしていた1986-1988年ごろ、超新星の自動検出をめざしているグループがあった。しかし彼らは「初めて発見したと思っても、常に日本のアマチュアが一足先に発見を報告済みなんだ」と嘆いていた

SN1987A (小柴昌俊ノーベル賞:
浜松ホトニクスへの貢献は周知の通り)

2011年ノーベル物理学賞

- Saul Perlmutter, Brian P. Schmidt and Adam G. Riess
 - for the discovery of the accelerating expansion of the Universe through observations of distant supernovae



ケプラー探査機 (2009年-2018年)

トランジット惑星専用測光モニター観測

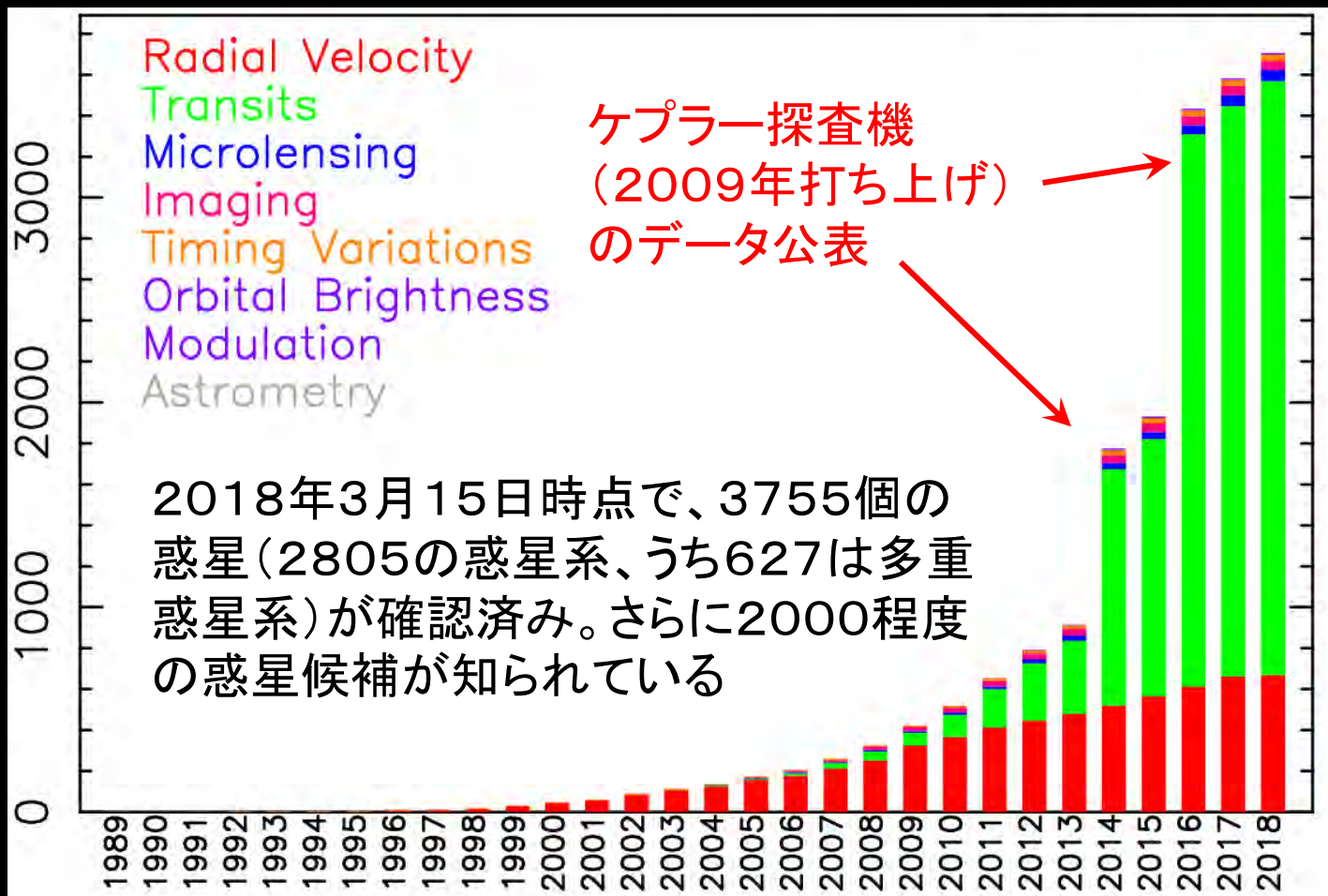
稀な現象なら10万個の星を常時モニターすれば良いだけ



<http://kepler.nasa.gov/>

宇宙は惑星で満ちている

発見総数

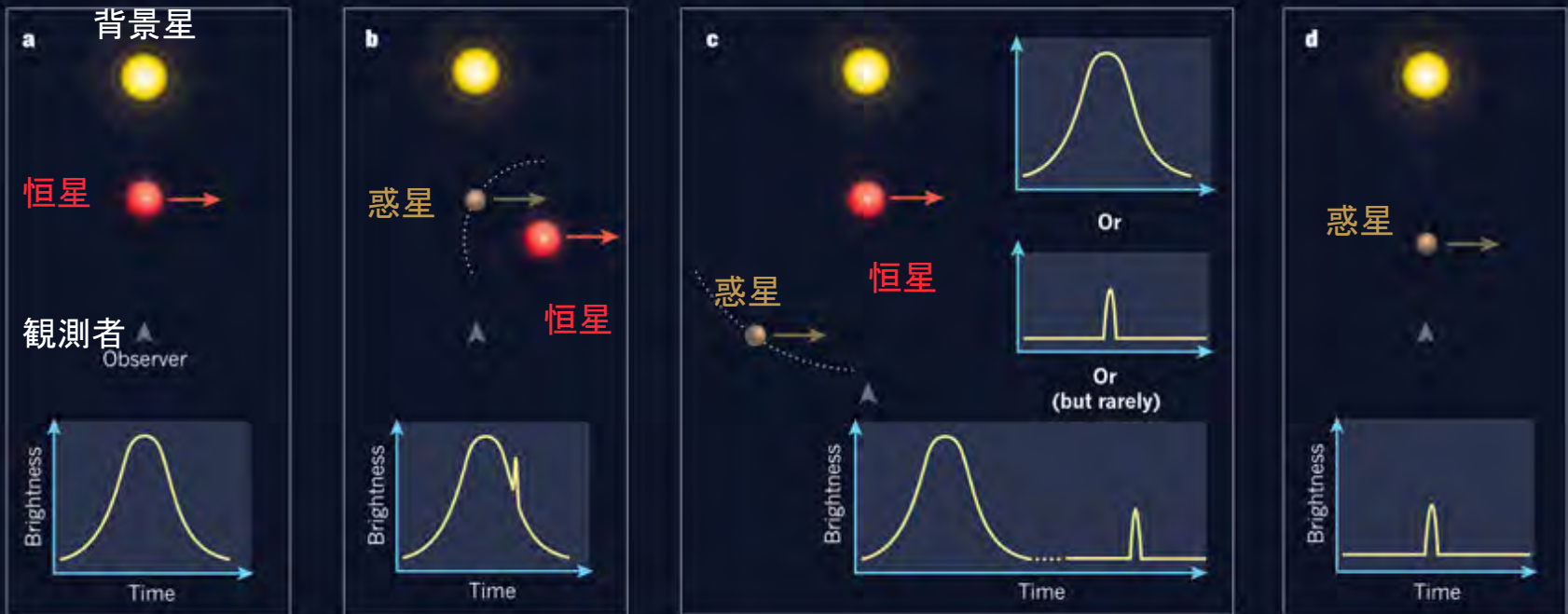


西暦

重カマイクロレンズを用いた系外惑星探査

Mao & Paczynski: *Astrophysical Journal* 374(1991)L37

- レンズ天体が惑星を伴った星だったら何が起こるか？
 - うまい配置をしていれば、増光曲線に鋭いピークが出現する
- この兆候を探査すれば系外惑星の検出が可能になるはず！
 - 最初の重カマイクロレンズ現象の検出(1993)
 - 最初の系外惑星の発見(1995)



地上超精密レーザー干渉計



2016年(平成28年)2月12日(金曜日) (日刊)

高知新聞

発行所 高知新聞社
高知市本町3丁目2-15
088-822-2111 780-8572
© 高知新聞社 2016

国際実験チーム

重力波を初観測

宇宙誕生の謎迫る

【ワシントン共同】浅見英一「アインシュタインが100年前に存在を予言した「重力波」について、米大学を中心とした国際実験チーム「LIGO(ライゴ)」が11日、二つのアラクホールが合体したときに放たれた重力波の観測に成功した、と発表した。重力波の直接観測は世界初で、宇宙の成り立ちに迫るノーベル賞級の成果。

重力波望遠鏡を米西部ワシントン州と南部ルイジアナ州で運用。2台ともほぼ同時に重力波を捉えた。一辺の長さが4kmのL字形の巨大な地下に重力波望遠鏡と鏡までの距離が伸び縮みし、光の戻る時間にずれが生じるのを検知する仕組みだ。

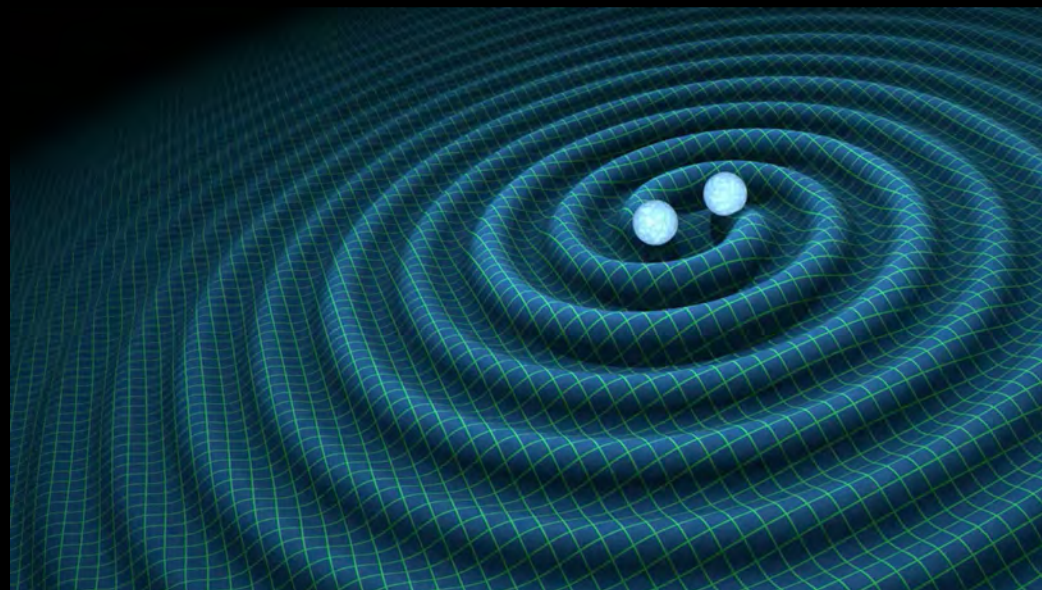
日本も岐阜県飛騨市

天気

| | | | | |
|-----|----|---------|----|----|
| 札幌 | 6 | 足指 | 高知 | 戸戸 |
| 東京 | 9 | | | |
| 名古屋 | 12 | | | |
| 大阪 | 15 | | | |
| 福岡 | 18 | | | |
| 山形 | 0 | 降水確率(%) | | |
| 高知 | 6 | 20 | 10 | 0 |
| 福岡 | 12 | 30 | 20 | 10 |
| 高知 | 18 | 19 | 17 | 16 |
| 高知 | 12 | 6 | 10 | |

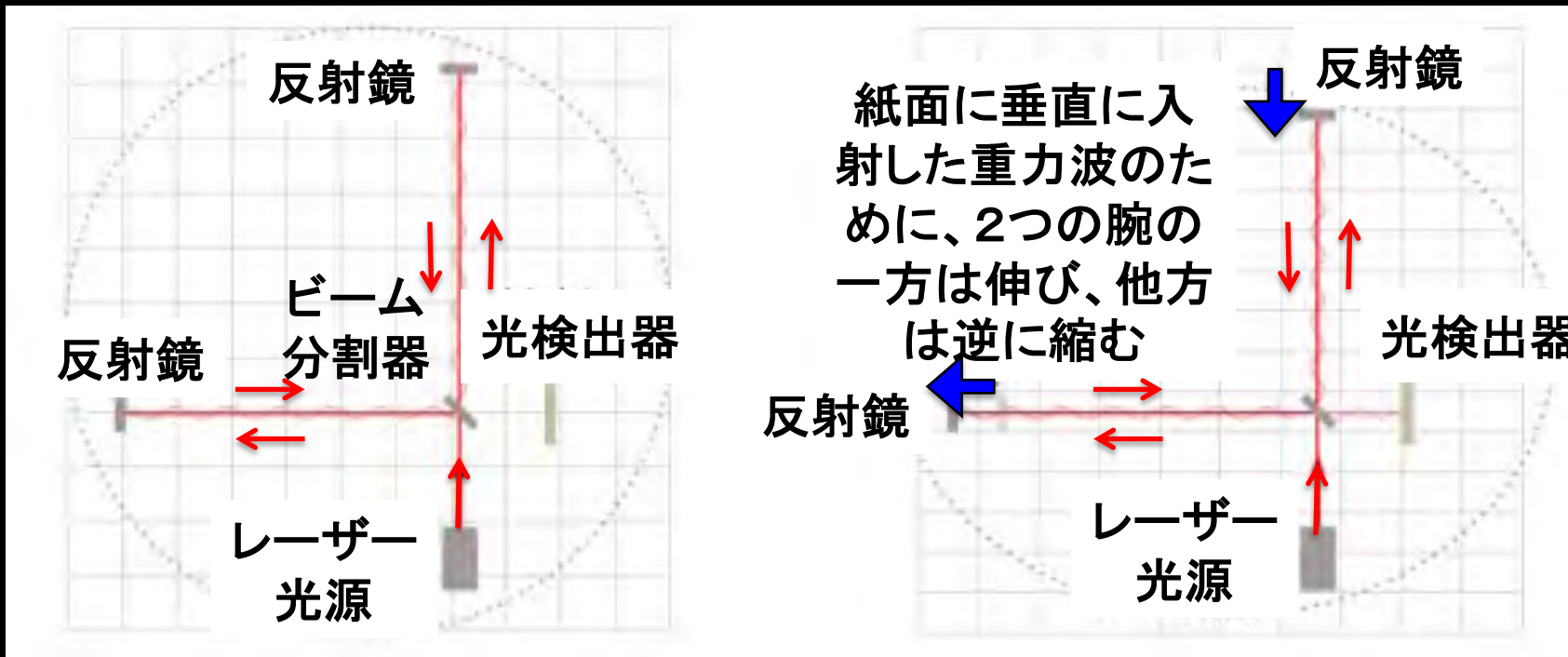
12日

重力波： 一般相対論的 時空のさざ波



- 電磁波：電荷の加速度運動
- 重力波：質量の加速度運動
 - 空間の歪みが光速で伝わる
 - 波の大きさが極めて小さく、検出は困難
 - 太陽と地球の間の距離が、原子一個の大きさだけ変化する程度(約 2.1×10^{-22} 桁下の振幅)！
 - 精密計測、実験物理学の最先端技術が必須

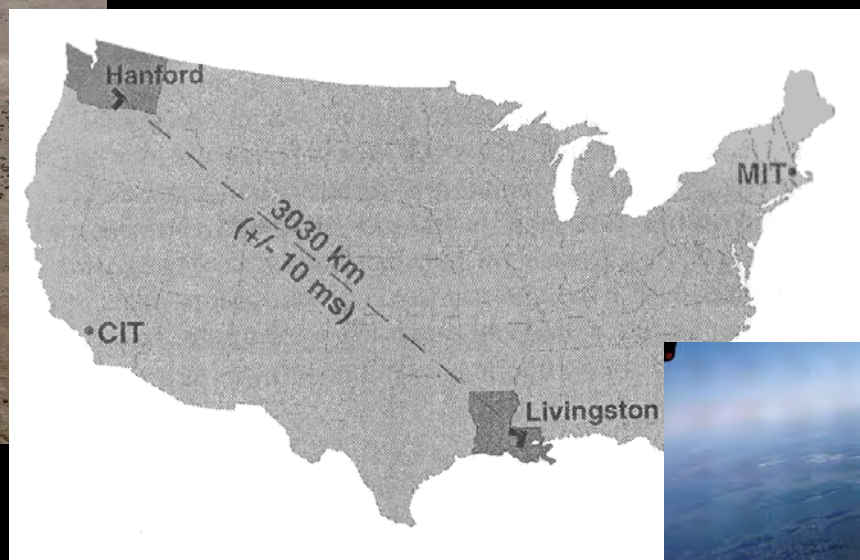
レーザー干渉計による 空間の歪み(=重力波)検出原理



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

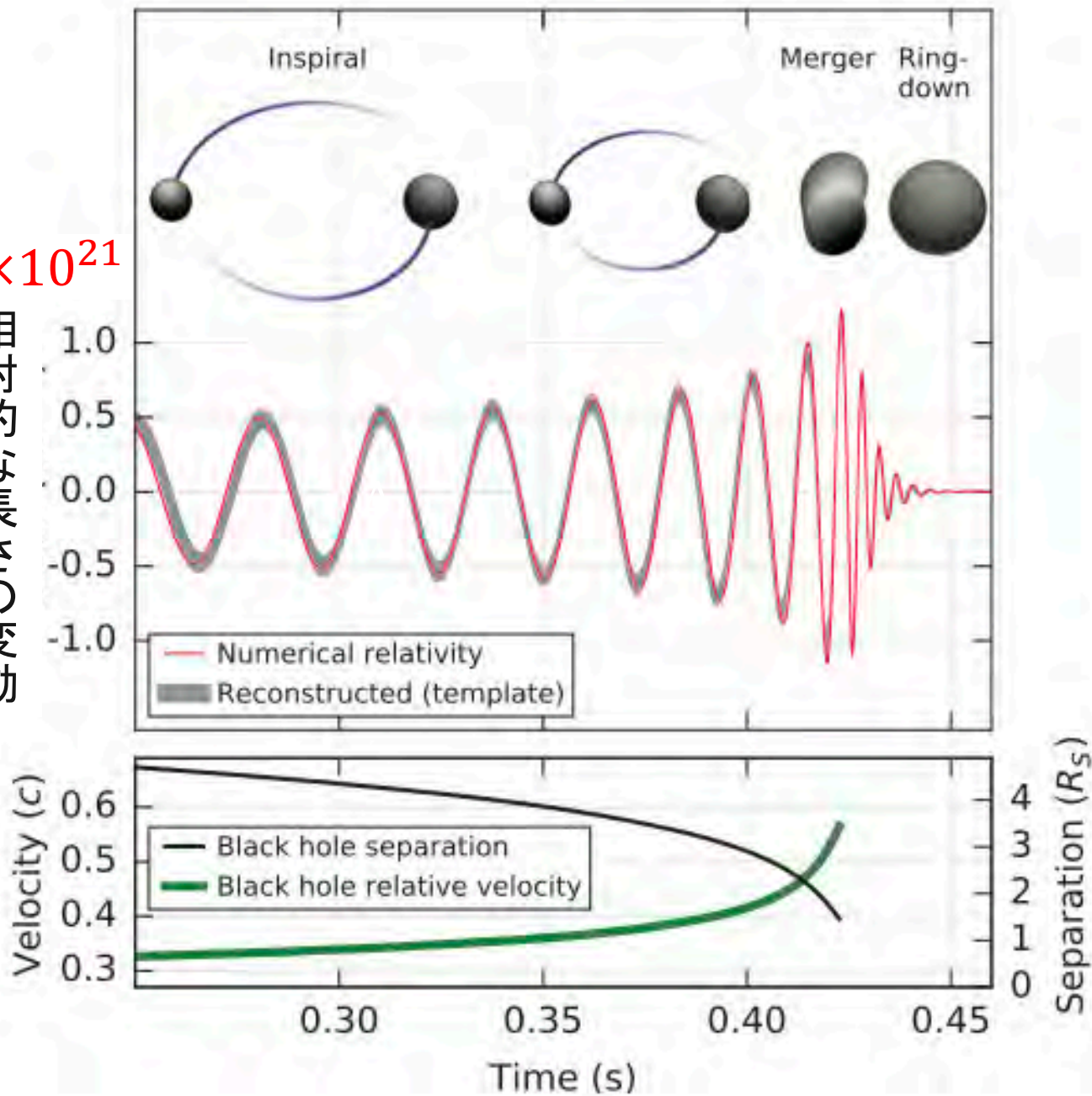
重力波の直接検出に成功した advanced LIGO(Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory)



ブラックホール連星系の合体

$$\Delta \ell / \ell \times 10^{21}$$

相対的な長さの変動

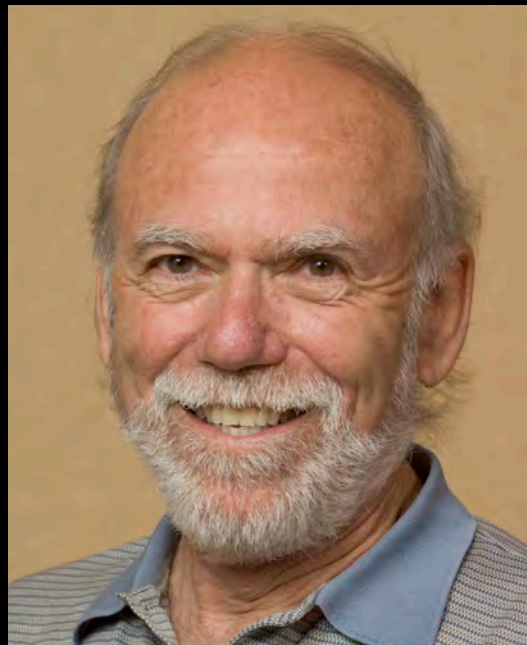


2017年ノーベル物理学賞

Rainer Weiss



Barry C. Barish



Kip S. Thorne



- ***for decisive contributions to the LIGO detector and the observation of gravitational waves***

<https://www.nobelprize.org/>

わが故郷の高知県でもトップニュース!



発行所 高知新聞社
高知市本町3丁目2-15
088-822-2111 780-8572
© 高知新聞社 2016

重力波を初観測

国際実験チーム

宇宙誕生の謎迫る

【ワシントン共同】浅見英一「アインシュタインが100年前に存在を予言した「重力波」について、米大学を中心とした国際実験チーム「LIGO(ライゴ)」が11日、二つのブラックホールが合体したときに放たれた重力波の観測に成功した、と発表した。重力波の直接観測は世界初で、宇宙の成り立ちに迫るノーベル賞級の成果。

重力波はアインシュタインが一般相対性理論で1916年に予言した。ブラックホールのような非常に重い物体が激しく動く、周囲の時間の流れや空間が揺れて、波のように伝わる現象とされる。

重力波はアインシュタインの一般相対性理論で1916年に予言した。ブラックホールのような非常に重い物体が激しく動く、周囲の時間の流れや空間が揺れて、波のように伝わる現象とされる。

重力波望遠鏡を米西部ワシントン州と南部ルイジアナ州で運用。2台ともほぼ同時に重力波を捉えた。一辺の長さが4キロのL字形の巨大装置で、それぞれの中心部から直角の2方向に同時にレーザー光を放ち、4キロ先の鏡に反射させ戻ってきた光を測る。重力波が届く

と鏡までの距離が伸び縮みし、光の戻る時間にずれが生じるのを検知する仕組みだ。日本も岐阜県飛騨市の地下に重力波望遠鏡「かぐら」を建設。ノーベル物理学賞を受賞した梶田隆章東大宇宙線研究所長らが観測を

重力波の初観測により、重力や時空を説明する相対性理論の正しさがあらためて裏付けられた。光や電波では見えない天体の姿や生まれたての宇宙を調べられると期待されている。

重力波の初観測により、重力や時空を説明する相対性理論の正しさがあらためて裏付けられた。光や電波では見えない天体の姿や生まれたての宇宙を調べられると期待されている。

重力波の初観測により、重力や時空を説明する相対性理論の正しさがあらためて裏付けられた。光や電波では見えない天体の姿や生まれたての宇宙を調べられると期待されている。

円急騰一時110円台

ロンドン市場

米利上げ観測後退で

ロンドン市場

【ロンドン共同】11日の海外市場で安全資産とされる円の対ドル相場が一時1ドル110円台へ急騰する一方、原油価格は1ドル26円台

証言をきっかけに早期の追加利上げ観測が後退。円急騰による輸出関連企業の採算悪化など日本に悪影響が及ぶ恐れが強まった。

チームによると2015年9月14日、地球から13億光年離れたと

チームによると2015年9月14日、地球から13億光年離れたと

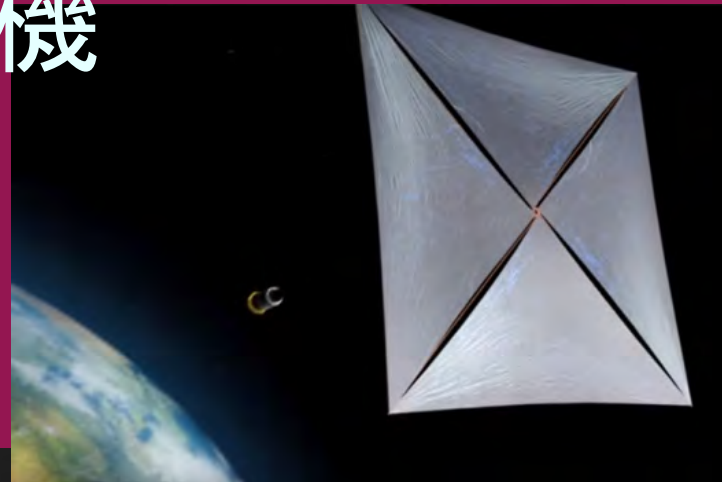
チームによると2015年9月14日、地球から13億光年離れたと

| | | | | |
|-----|----|----|----|----|
| 札幌 | 6 | 足指 | 高知 | 室戸 |
| 東京 | 9 | | | |
| 名古屋 | 12 | | | |
| 大阪 | 15 | | | |
| 岡山 | 18 | | | |
| 福岡 | 21 | | | |
| 那覇 | 0 | | | |
| 予報 | 6 | 20 | 10 | 0 |
| 予報 | 12 | 30 | 20 | 10 |
| 予報 | 18 | 19 | 17 | 16 |
| 予報 | 24 | 12 | 6 | 10 |

天気

12日

プロキシマ・ケンタウリへの ナノ探査機



プロキシマ ケンタウリb

- ケンタウルス座アルファ星は、太陽に最も近い3重連星系で、その一つがα Cen C =プロキシマ ケンタウリ(4光年先)
- その周りに、水が液体として存在できる可能性のある惑星(プロキシマ ケンタウリb)が発見された(2016年8月26日)
- そこへ直接超ミニ探査機を送るスターショット計画が検討されている

Alpha Centauri AB

○ Proxima Centauri

<http://www.eso.org/public/usa/news/eso1629/>

ブレイクスルー イニシアティブ

<http://breakthroughinitiatives.org/Initiative>

- ロシア出身のIT投資家ユリ・ミルナー(素粒子理論で学位取得)が地球外知的生命を探查するために、2015年7月20日に立ち上げた
 - **ブレイクスルーリッスン**: 地球外文明の電波あるいはレーザーによる信号を受信
 - **ブレイクスルーメッセージ**: 宇宙空間へ送るメッセージとして最適なものを提案するとともに、その行為の哲学的倫理的妥当性を検討
 - **ブレイクスルースターショット**: プロキシマケンタウルリヘナノ探查機を送るための概念設計検討

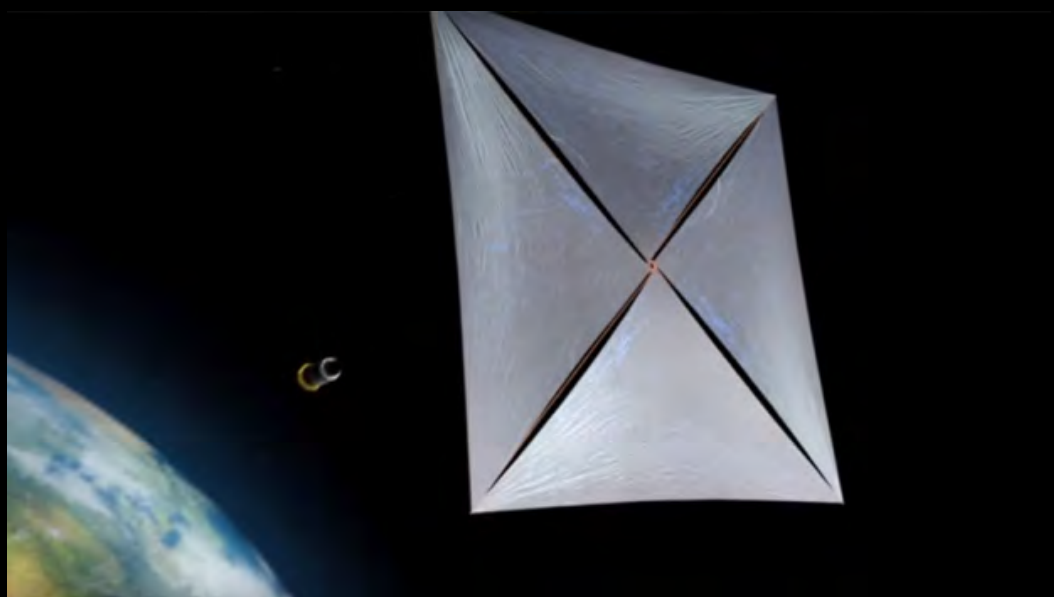
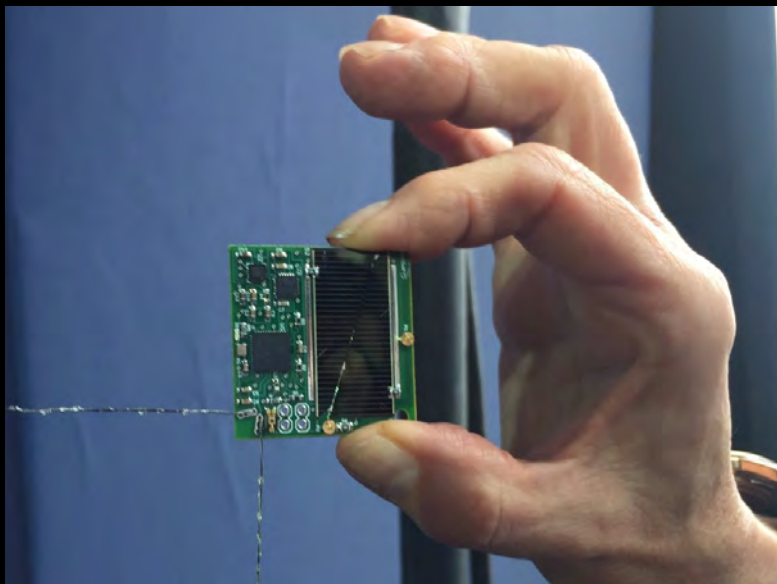
ブレイクスルースターショット

<http://breakthroughinitiatives.org/Initiative/3>

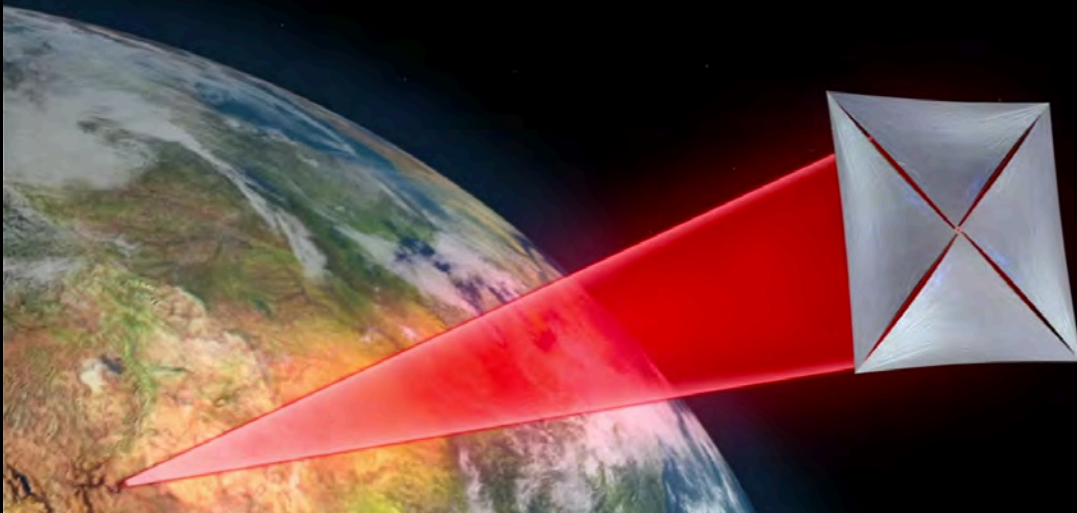
■ スターチップ

- 2cm x 2cm、数グラムで、カメラ、コンピュータ、通信用レーザー、燃料装置を搭載したチップ
- 4m x 4m の帆に結びつけられ、それが地上からのレーザー光を受けて、約10分で光の20%の速度にまで加速される
- プロキシマ ケンタウリに1000個のスターチップを次々と飛ばす。約20年で到着する
- ただしこの技術はまだ存在しておらず、完成までに今から20年の研究開発が必要

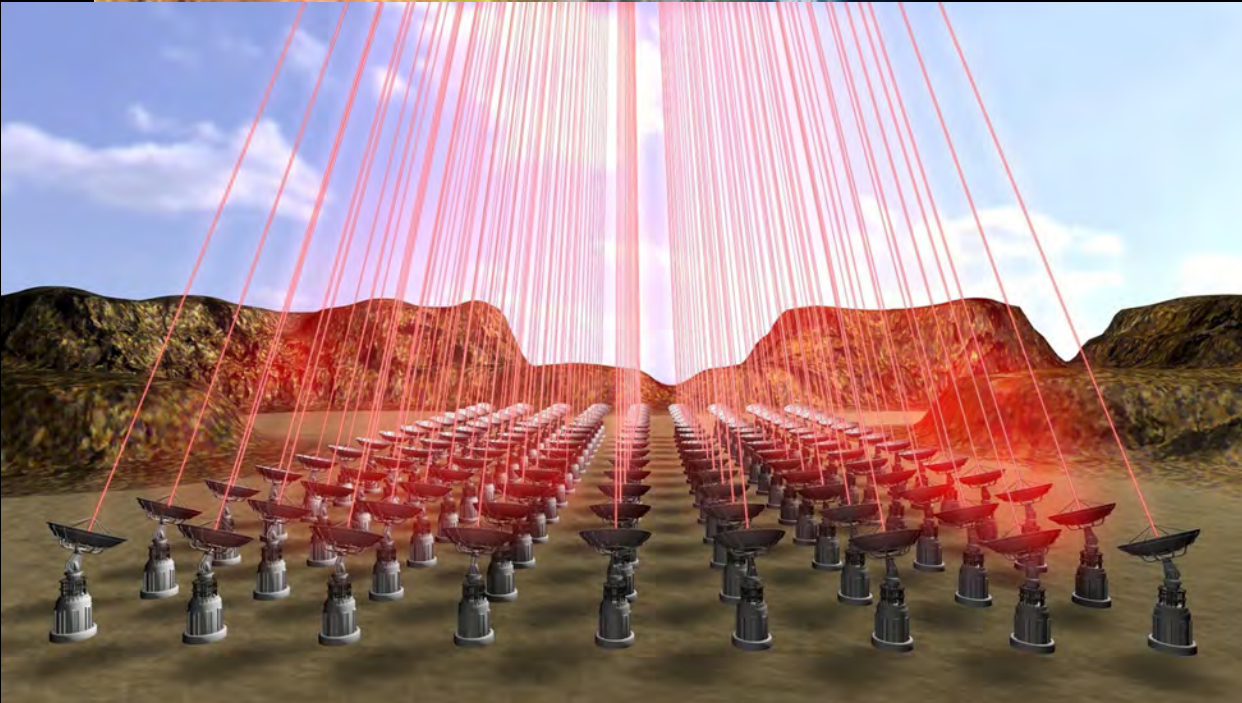
スターチップ



地上のレーザーで光速の20%に加速



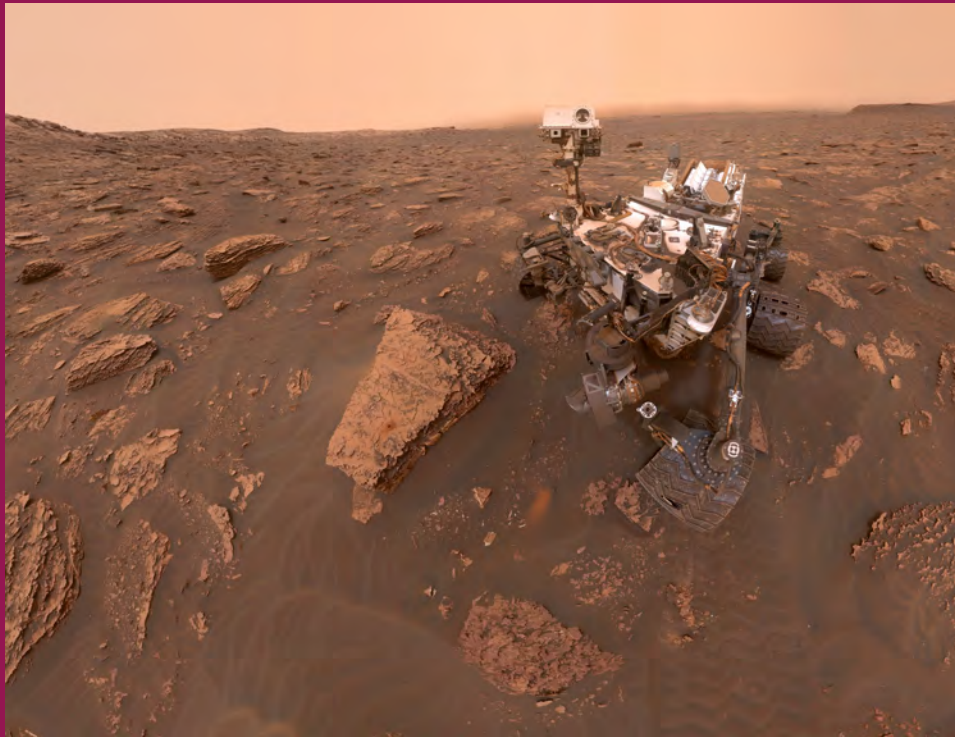
- 今から20年後に打ち上げ、さらに20年かけてプロキシマケンタウリに到達しデータを取得。その4年後には地球にデータが届く。そこには何が写っているのか？



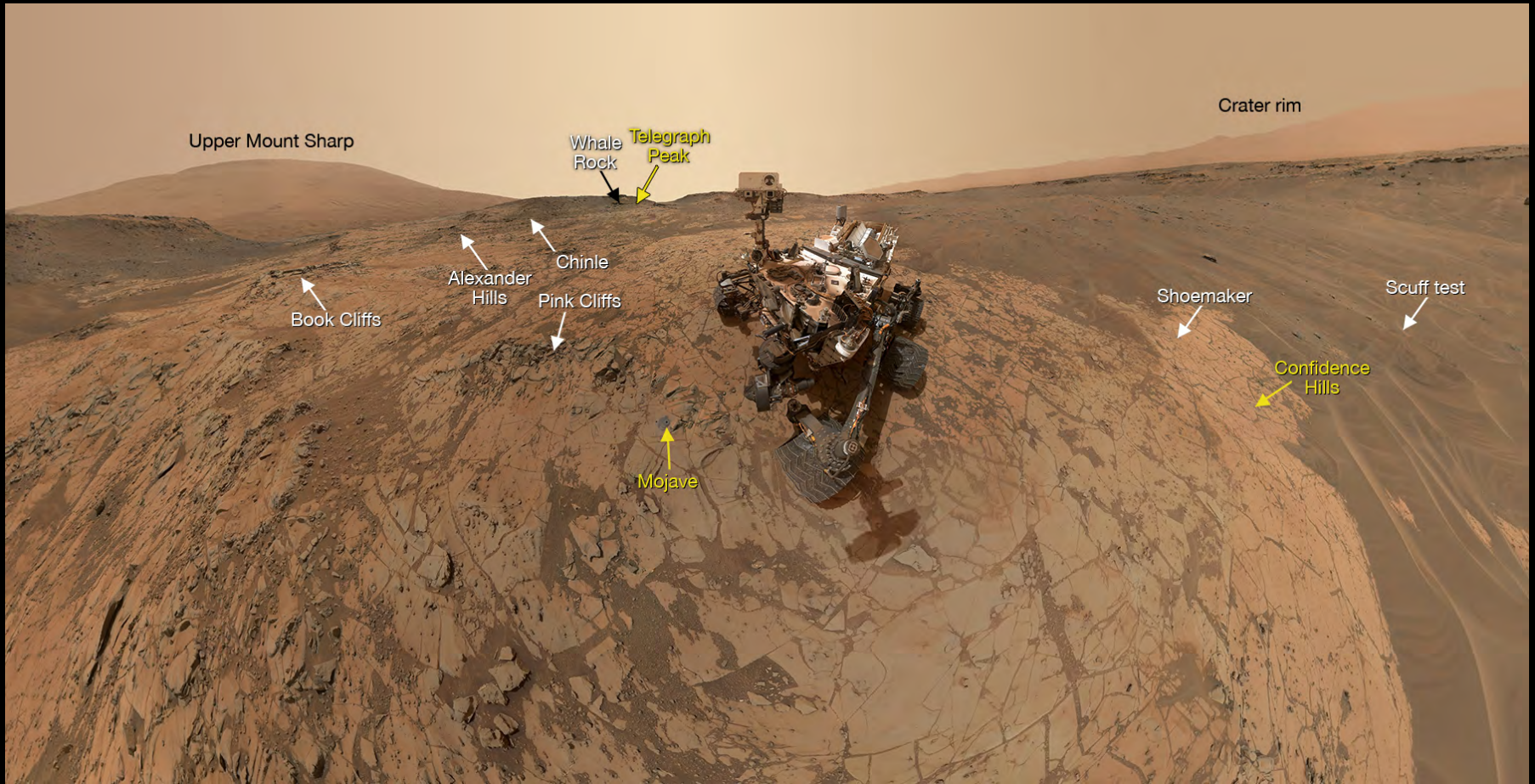
リストアップされた技術的問題

- **Gram-scale StarChip components**
 - photon thrusters, cameras, processors, Power management, Protective coating
- **Lightsail**
 - Integrity under thrust, Structure, Stability on the beam
- **Light Beamer**
 - Cost, Phase, Atmosphere
- **Launch Site**
 - Power Generation and Storage, Precision pointing for a meter-scale lightsail
- **Launch**
 - Keeping beam pointed on meter-scale lightsail, Precisely determining orbital position of exoplanet, Cooling the light beamer, Range safety and objects in beam path, Range safety and space debris, Potential collision of nanocraft with planet
- **Cruise**
 - Interstellar/Interplanetary dust, Interstellar medium and cosmic rays, Maintaining functionality over decades in space
- **Flyby**
 - Pointing camera at target planet
- **Communication**
 - Pointing transmitter towards earth, Sending images with laser using sail as antenna, Receiving images with light beamer array
- **Policy**
 - Light beamer and relativistic-speed nanocrafts

太陽系内惑星探査



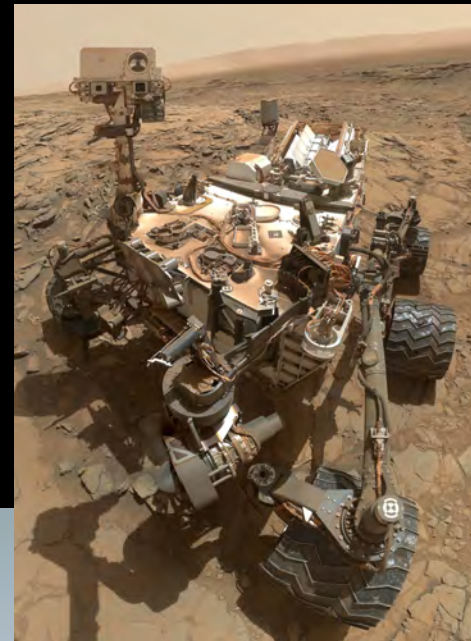
火星着陸探査機 キュリオシティ



Curiosity (Mars Science Laboratory) 2011年11月26日 打ち上げ、2012年8月6日 火星軟着陸
<https://mars.jpl.nasa.gov/msl/>

火星の表面

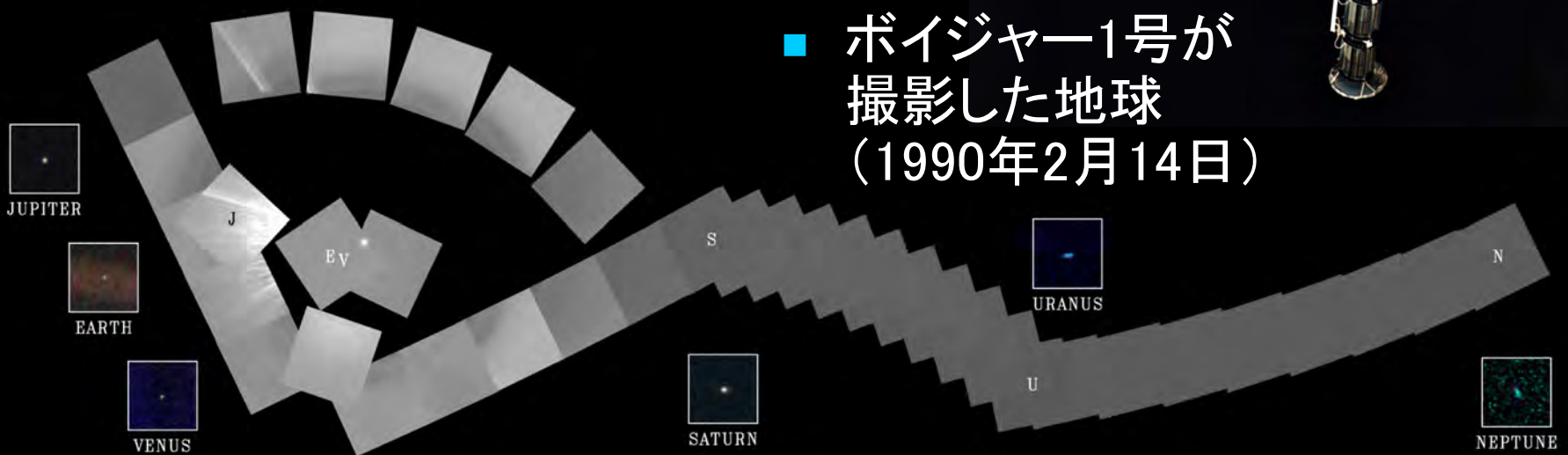
<https://eyes.nasa.gov/curiosity/>



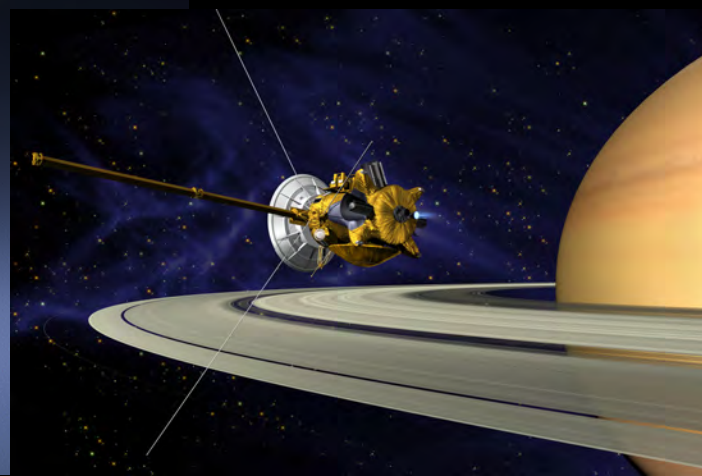
ペイル・ブルー・ドット



- ボイジャー1号が撮影した地球 (1990年2月14日)



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

科学的世界観の地平の開拓には 工学的技術の進歩が不可欠

■ 超新星(時間変動天体)自動探査

- 宇宙の主成分はダークエネルギー

■ スペース惑星探査ミッション

- 宇宙は無数の惑星で満たされている

■ 地上超精密レーザー干渉計

- 一般相対論の直接検証
- 宇宙は無数のブラックホールで満たされている

■ プロキシマ・ケンタウリへのナノ探査機

- 50年後にどのようなデータが地上に届くのか

