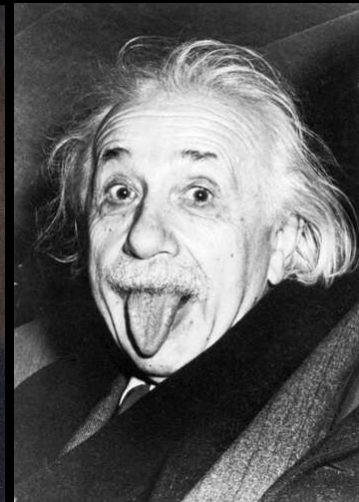


# ブラックホール





**ブラックホールの想像図**

**世界初！**

**ブラックホールの  
撮影に成功**

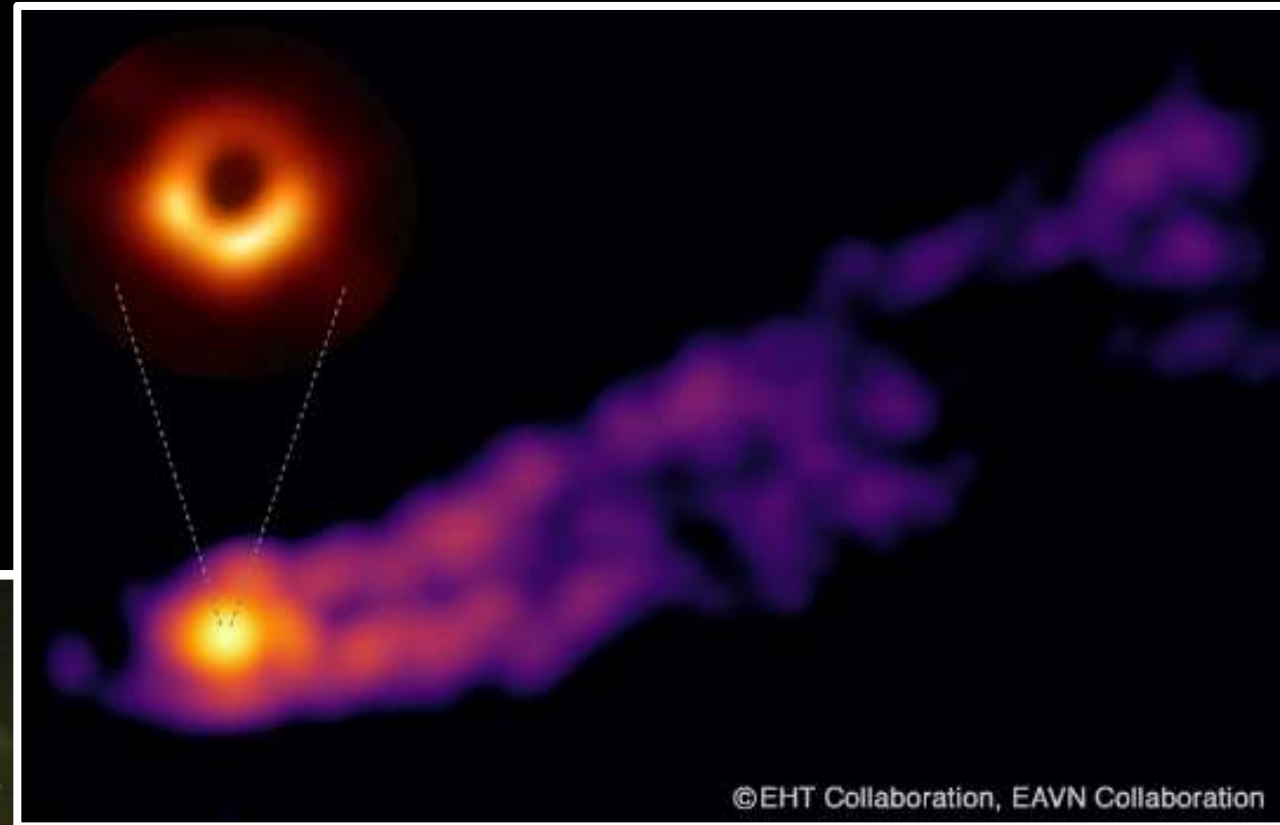
**2018年**



**おとめ座 M87銀河の中心  
距離：5500万光年**

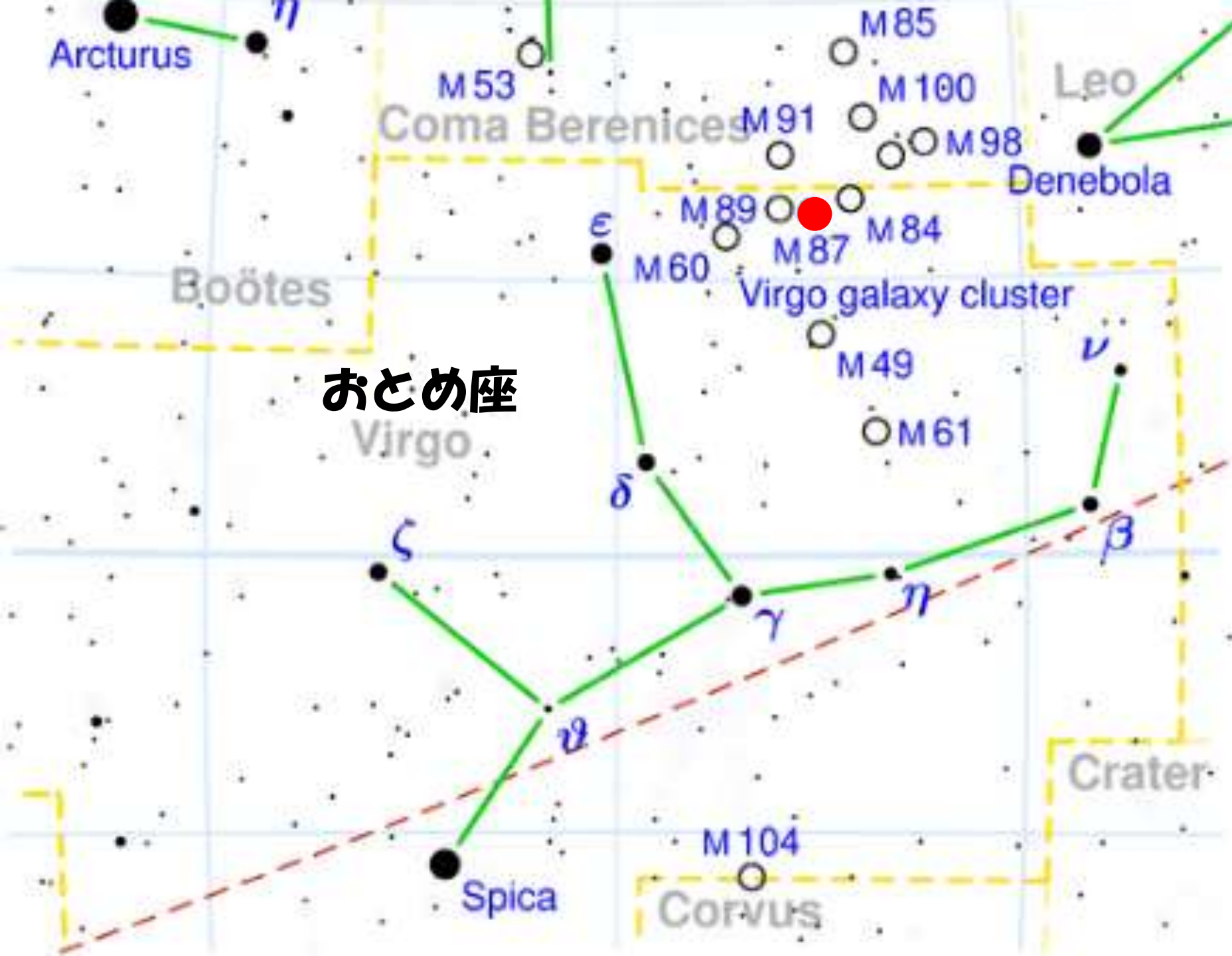
**ブラックホールの質量  
太陽の65億倍！**

おとめ座  
M87銀河



©EHT Collaboration, EAVN Collaboration





おとめ座



シャルル・メシエ

1730-1817 フランス



# イベント・ホライズン・テレスコープ (EHT)

— 各地の電波望遠鏡をつなぎ、地球サイズの仮想望遠鏡を構成 —



2017年の観測

- ALMA**  アルマ望遠鏡  
チリ・アタカマ砂漠
- APEX**  APEX  
チリ・アタカマ砂漠
- 30-M**  IRAM 30m望遠鏡  
スペイン・ピコベレタ
- JCMT**  ジェームズ・クラーク・マクスウェル望遠鏡  
ハワイ・マウナケア
- LMT**  大型ミリ波望遠鏡  
メキシコ・シエラネグラ
- SMA**  サブミリ波干渉計  
ハワイ・マウナケア
- SMT**  サブミリ波望遠鏡  
アリゾナ・グラハム山
- SPT**  南極点望遠鏡  
南極点基地



# アルマ望遠鏡



# 水沢VLBI観測所長 本間希樹（まれき）氏



# 岩手県水沢VLBI観測所 (直径20m電波望遠鏡)



距離：2万7千光年  
質量：400万 $\odot$ (太陽質量)  
星座：いて座  
発表：2022年  
想像図

## 天の川銀河中心

国立天文台水沢 VLBI 観測所  
ブラックホール  
Event Horizon Telescope Collaboration

## M 8 7 銀河中心

距離：5500万光年  
質量：65億 $\odot$ (太陽質量)  
星座：おとめ座  
発表：2019年

**世界初！**

**ブラックホールどうしの  
合体をとらえた**

**2015年**

**13億光年先**

**太陽の36倍と29倍の質量のブラックホールが合体**

**想像図**



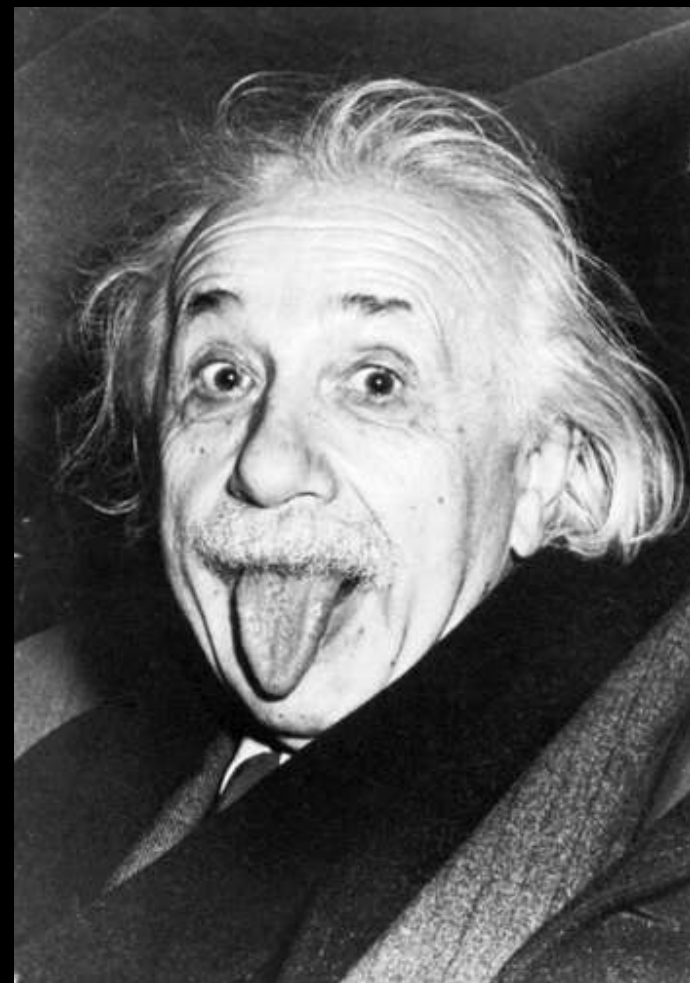
**重力とは . . .**



ガリオ・  
ガリイ



アイザック・  
ニュートン



アルベルト・  
アインシュタイン

# ガリシオ・ ガリレイ

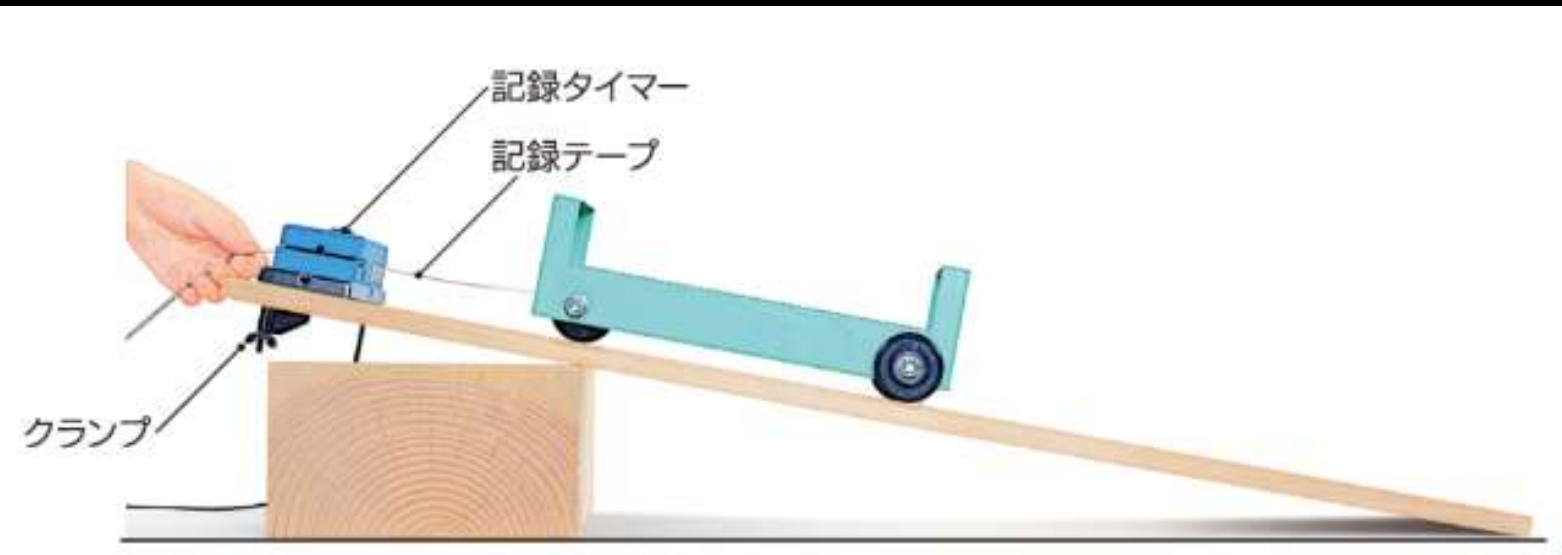
1564年2月14日～  
1642年1月8日

イタリア

落下運動

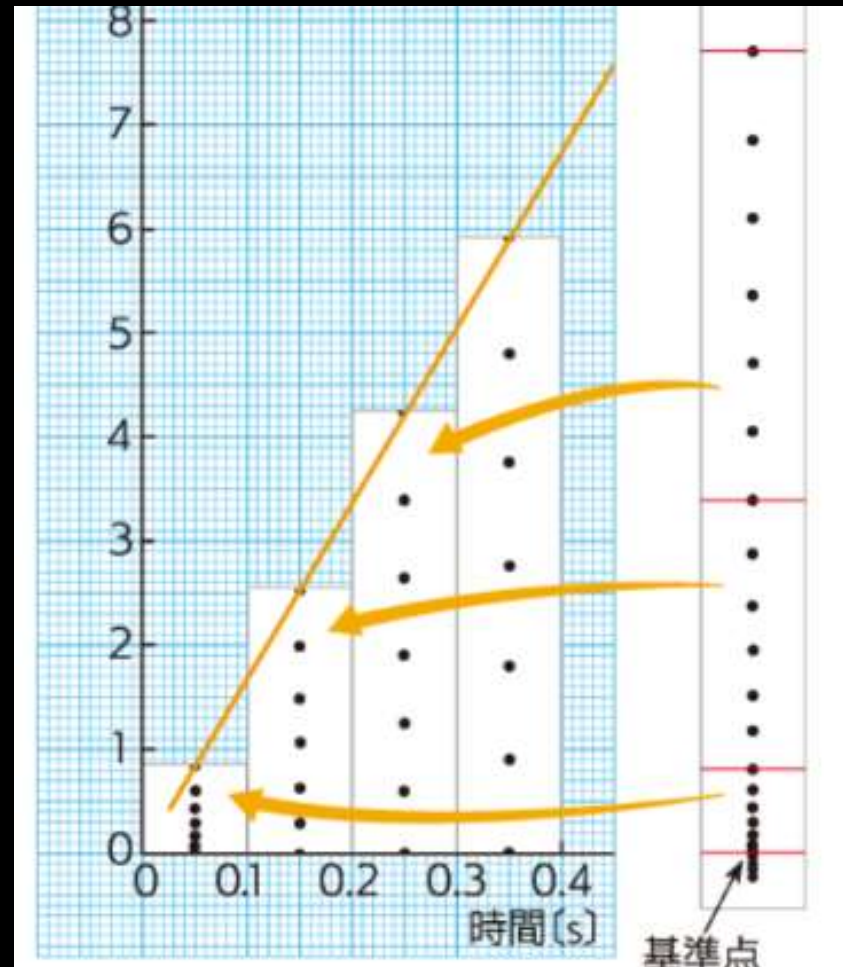


(中3理科 教科書より)



速さが時間に比例して増加する

$$v=at$$



# アイザック・ ニュートン

1643年1月4日~  
1727年3月31日

イギリス

万有引力

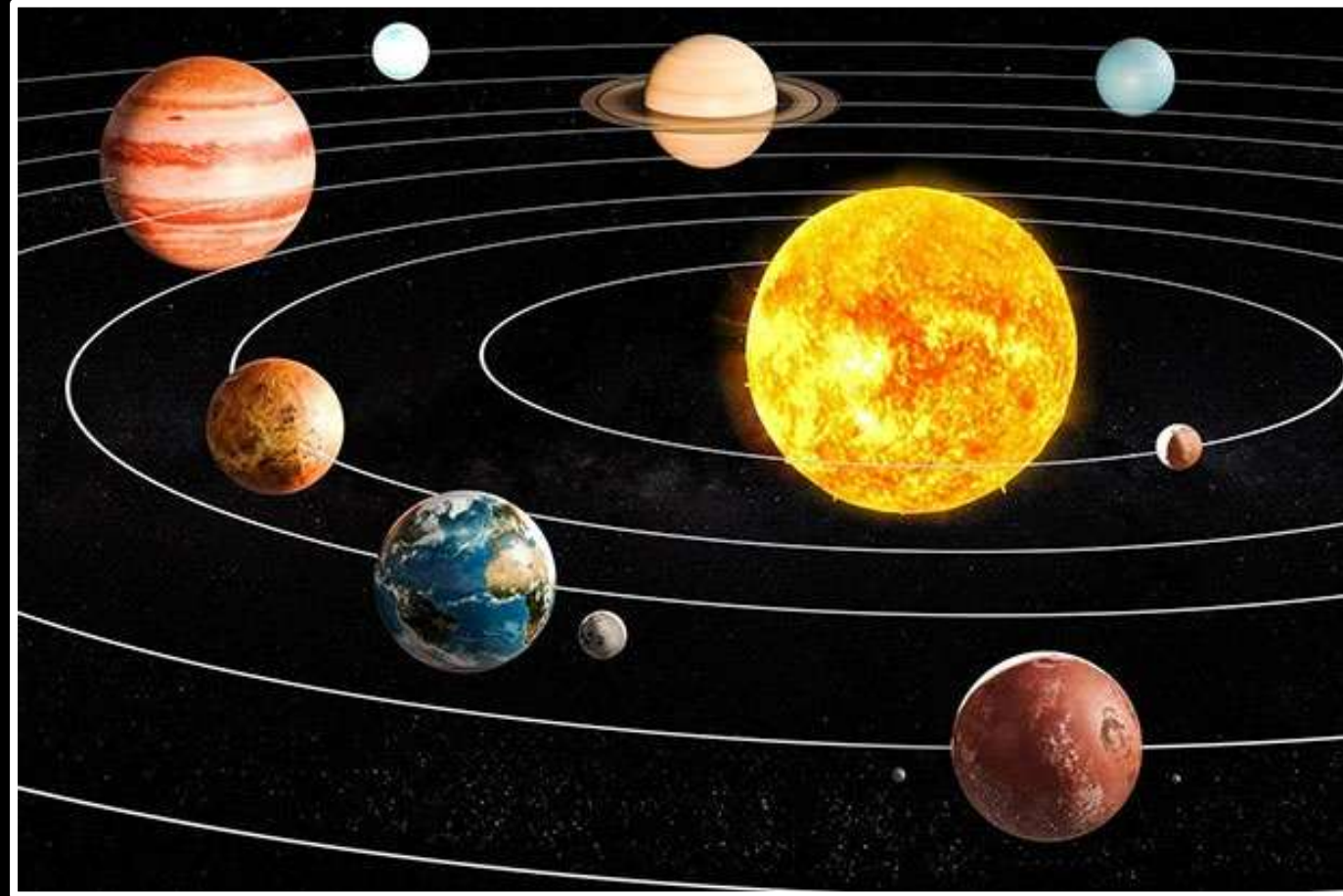


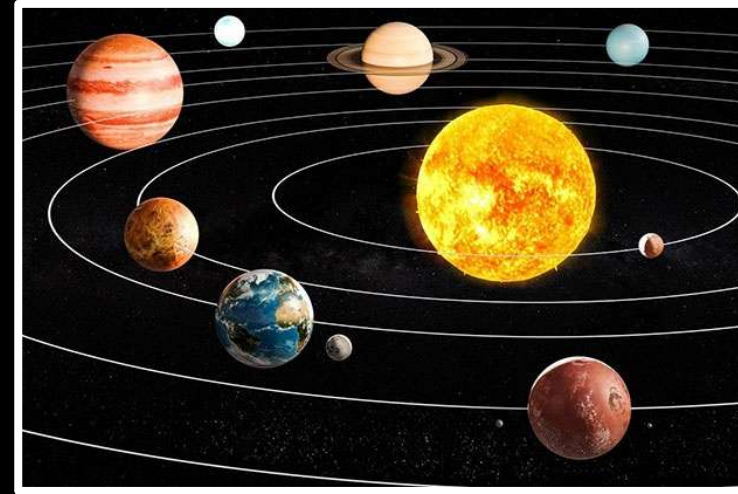
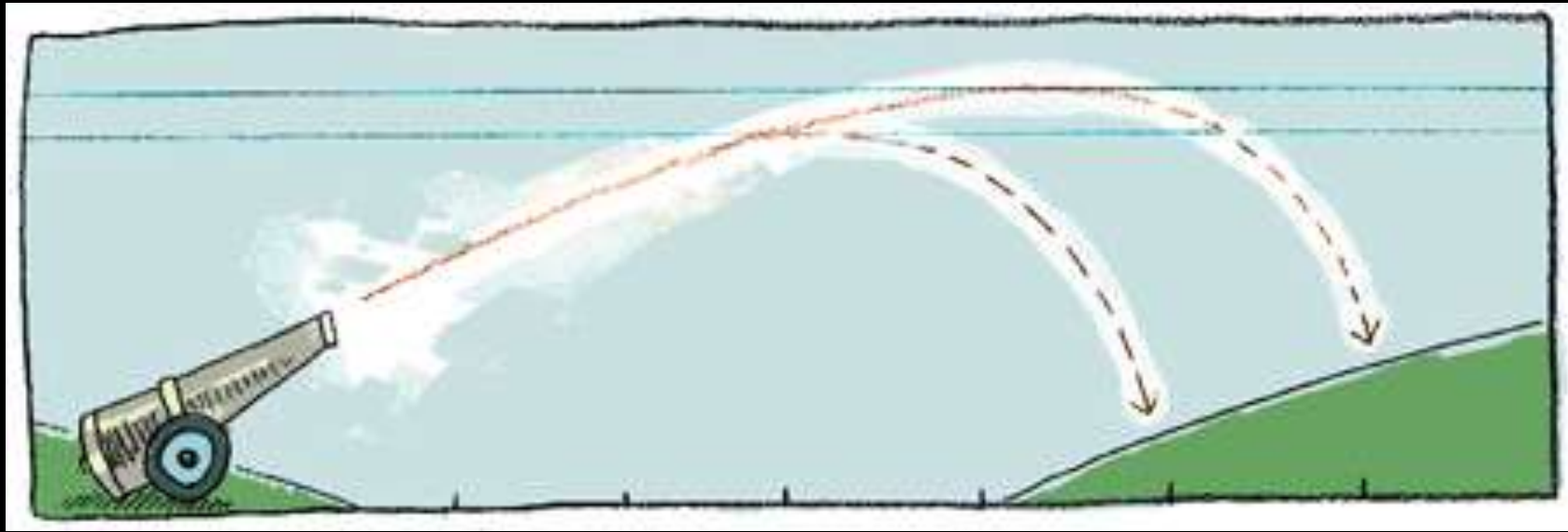
(中1理科 教科書より)



図4

地球上の重力



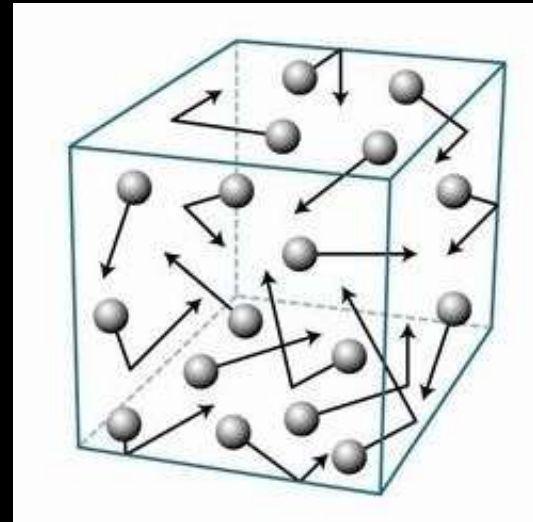


微分・積分学

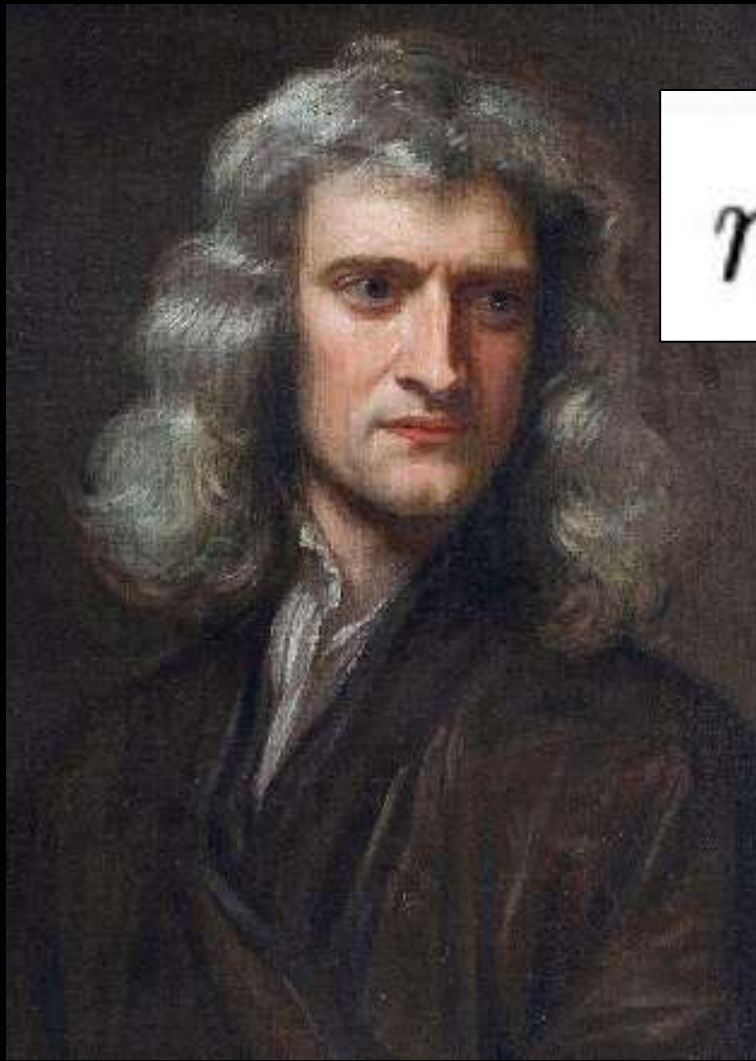
ニュートンの  
運動方程式

ニュートン力学

$$m\ddot{x} = F$$



ちなみに . . .



$$m\ddot{x} = F$$



$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = F$$



アイザック・  
ニュートン

ゴットフリート・  
ライプニッツ

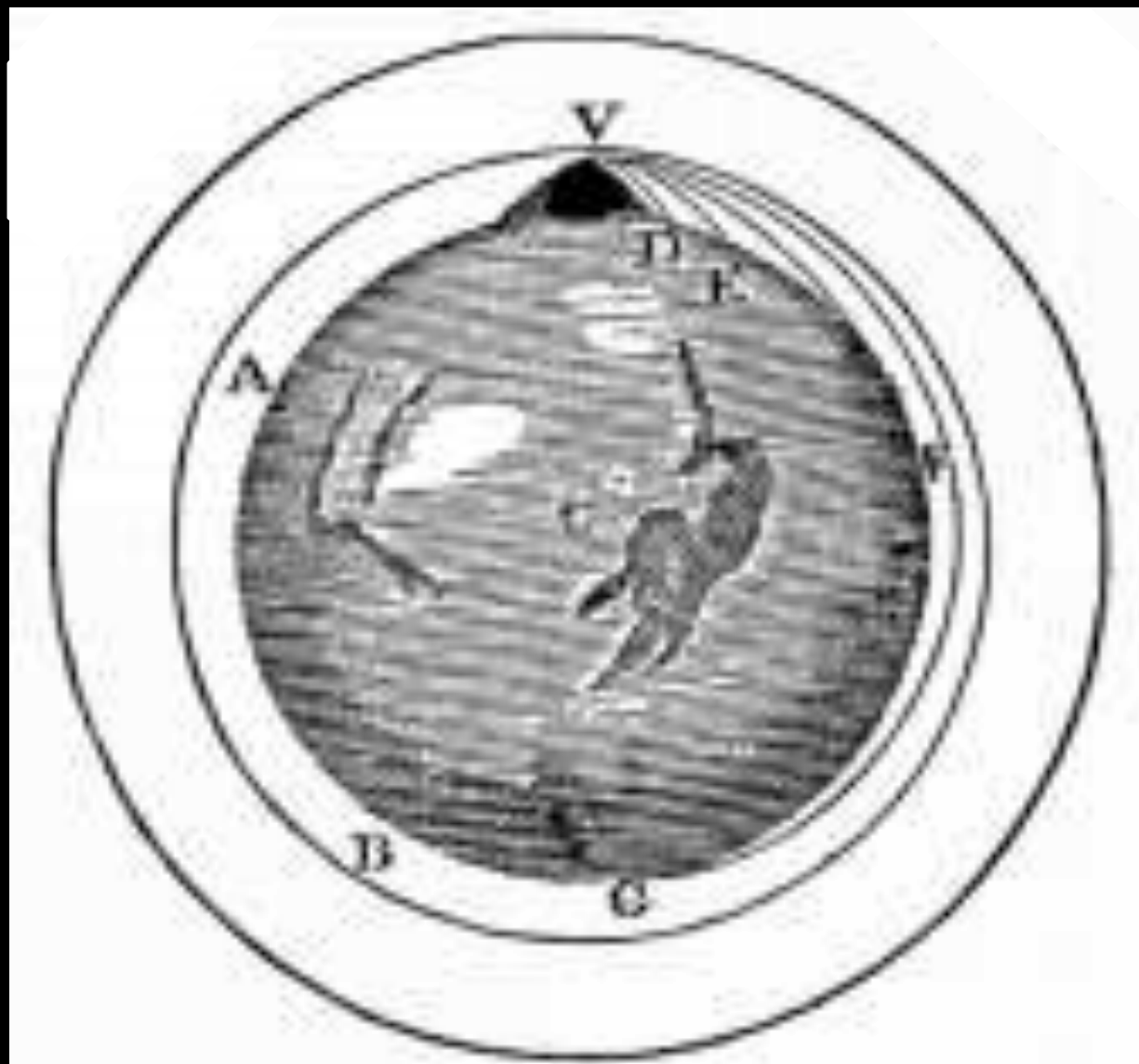
PHILOSOPHIÆ  
NATURALIS  
PRINCIPIA  
MATHEMATICA.

Autore J. S. NEWTON, Trin. Coll. Cantab. Soc. Mathematicæ  
Professore Lucasiano, & Societatis Regiæ Sodali.

IMPRIMATUR.  
S. PEPYS, Reg. Soc. PRÆSES.  
Julii 5. 1686.

LONDINI,

Jussu Societatis Regiæ ac Typis Josephi Streater. Prostat apud  
plures Bibliopolas. Anno MDCLXXXVII.



プリンキピア

ちなみに . . .

# ニュートン 「奇跡の年」

**1665**年6月～**1667**年3月  
(ニュートン20代)



**万有引力 微分・積分学**

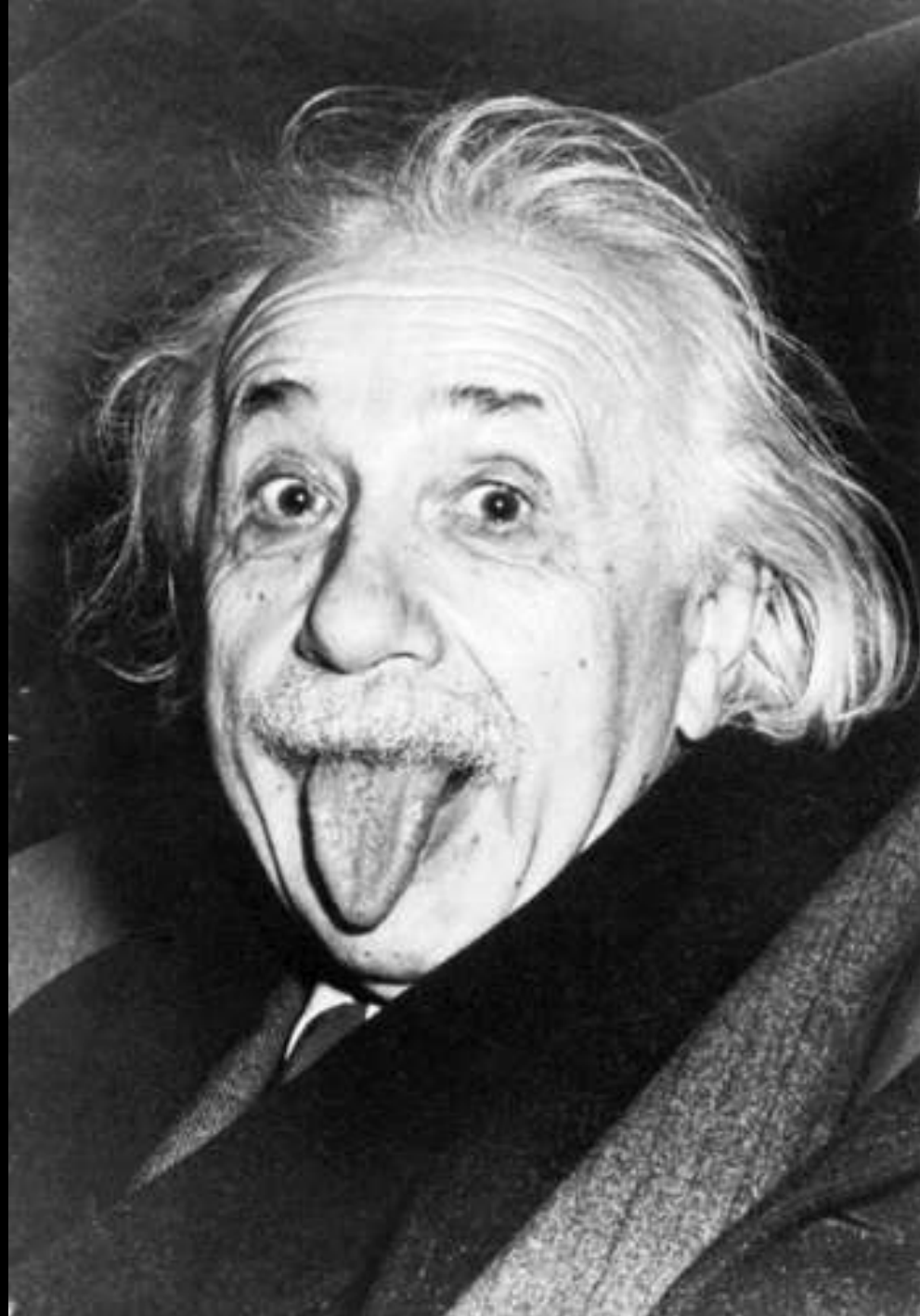
**光のスペクトル分解**



# アルベルト・ アインシュタイン

1879年3月14日～  
1955年4月18日

ドイツ

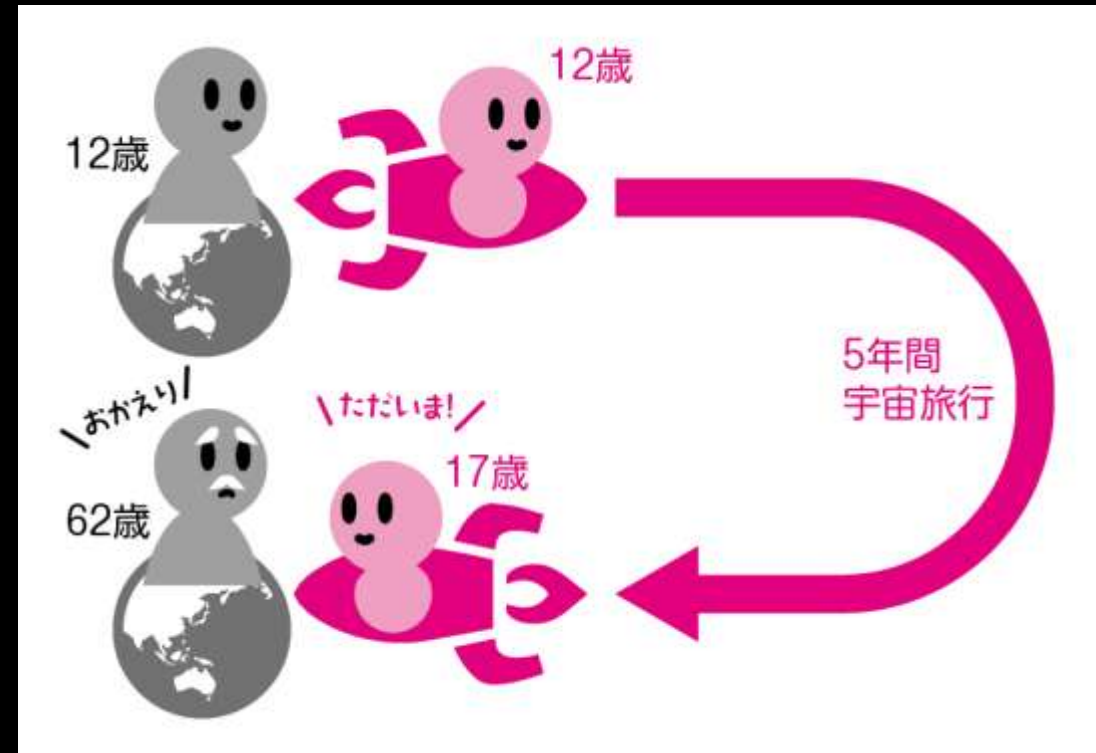


# 特殊相対性理論

- ・ 光の速さは一定  
(動いている物体から出た光でも)
- ・ 時間・空間が変化する



- ・ 光速より速く移動できない
- ・ 光速に近い速度で移動すると  
時間がゆっくり進む(ウラシマ効果)  
長さが縮む  
質量が大きくなる



# 特殊相対性理論



$$E=mc^2$$

質量は膨大なエネルギーに変  
えることができる



ちなみに . . .

アインシュタイン

「奇跡の年」

1905年

(アインシュタイン20代)



特殊相対性理論

$$E=mc^2$$

光電効果

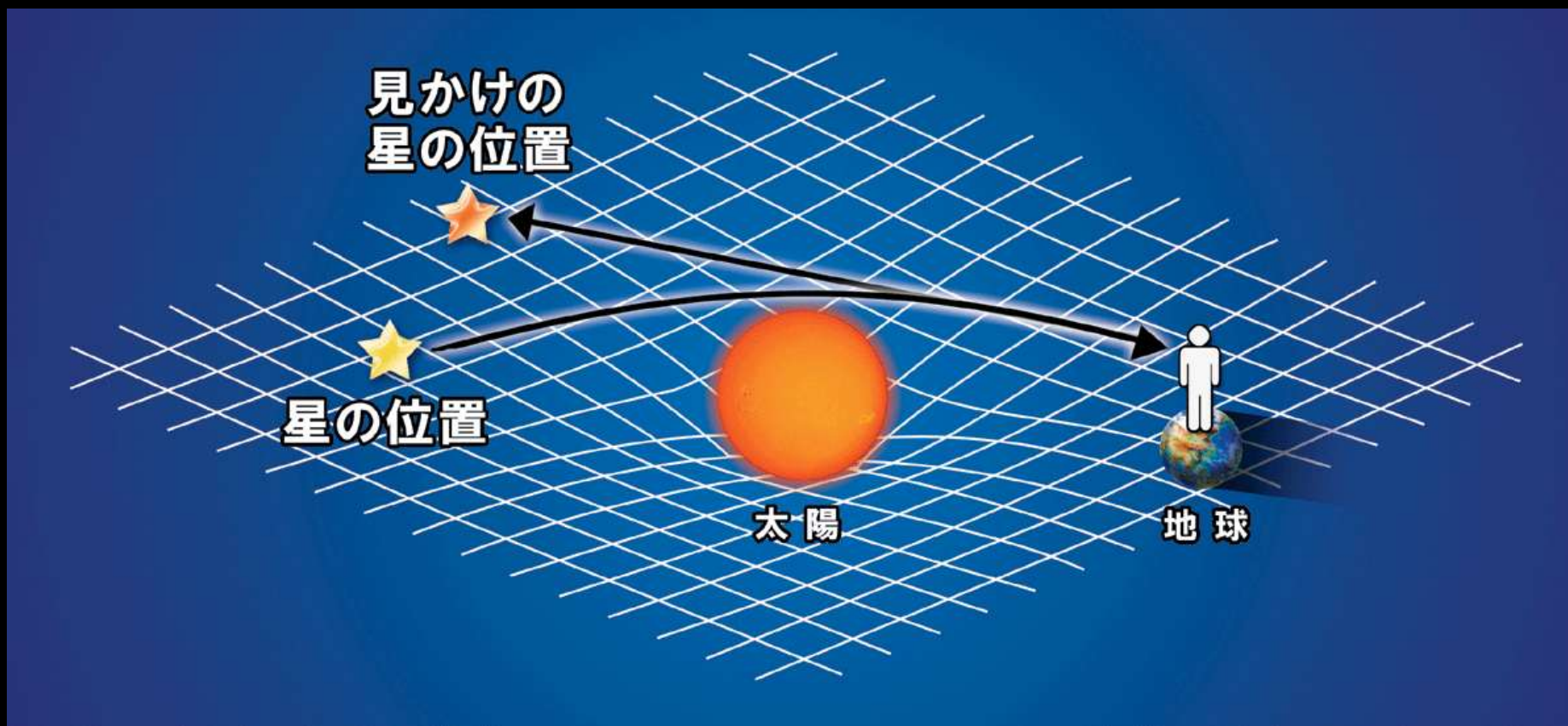
ブラウン運動

# 一般相対性理論

・重力がはたらいている空間を説明する理論

強い重力のはたらいているところでは・・・

- ・空間や時間がゆがむ
- ・光が曲がる
- ・時間が遅くなる



# 重力レンズ効果



# アインシュタイン方程式

$$R^{\mu\nu} - \frac{1}{2}Rg^{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4}T^{\mu\nu}$$

重力がはたらく時間・空間を正確に表す式



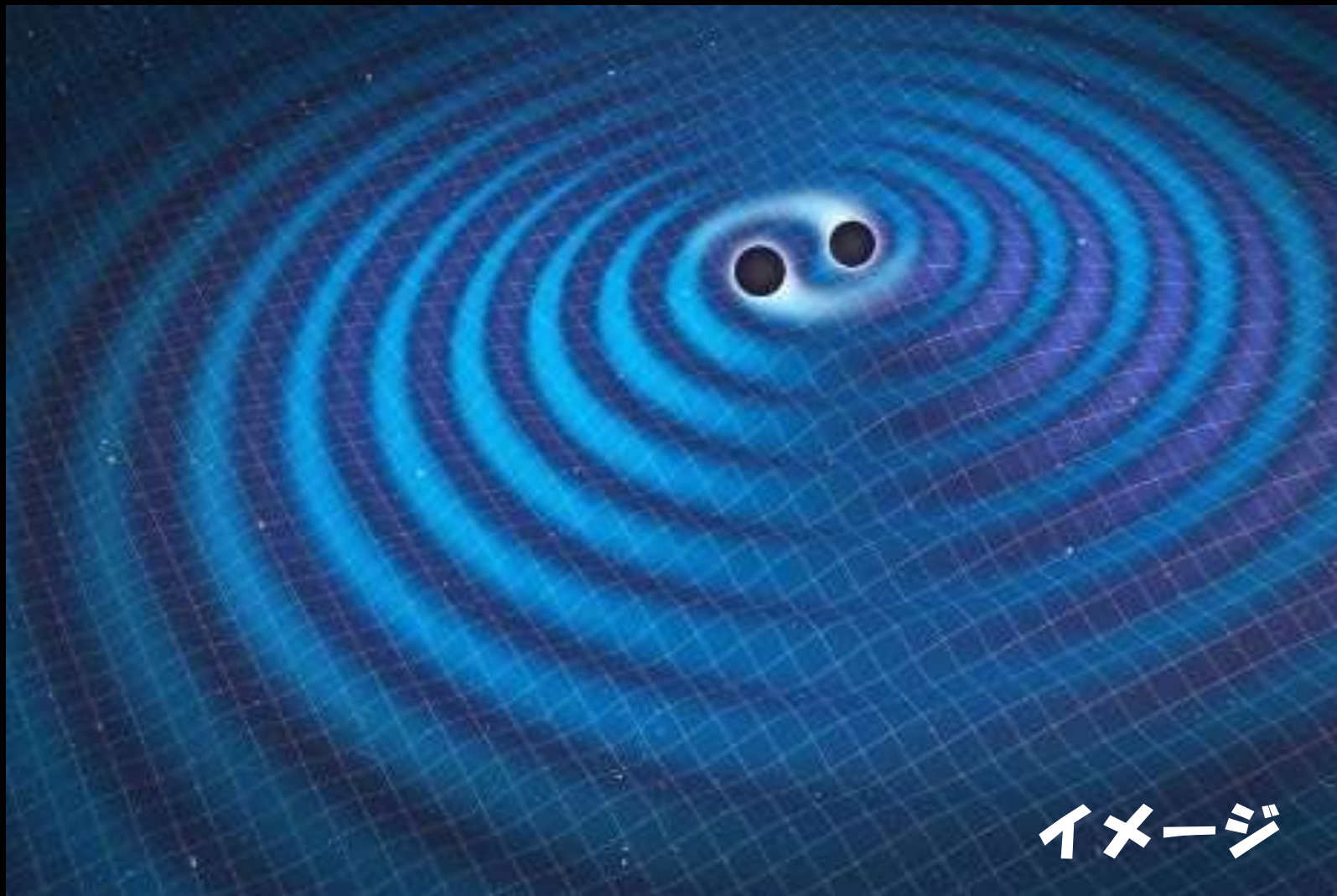
カール・シュヴァルツシルト  
ドイツ



ブラックホールの存在

# 重力波

- ・重力が大きく変化するときが発生し、空間のゆがみが波となって伝わる



イメージ

# 重力波の初観測

2015年

**LIGO**

(ライゴ)

アメリカ

**Virgo**

(バーゴ)

イタリア

**KAGRA**

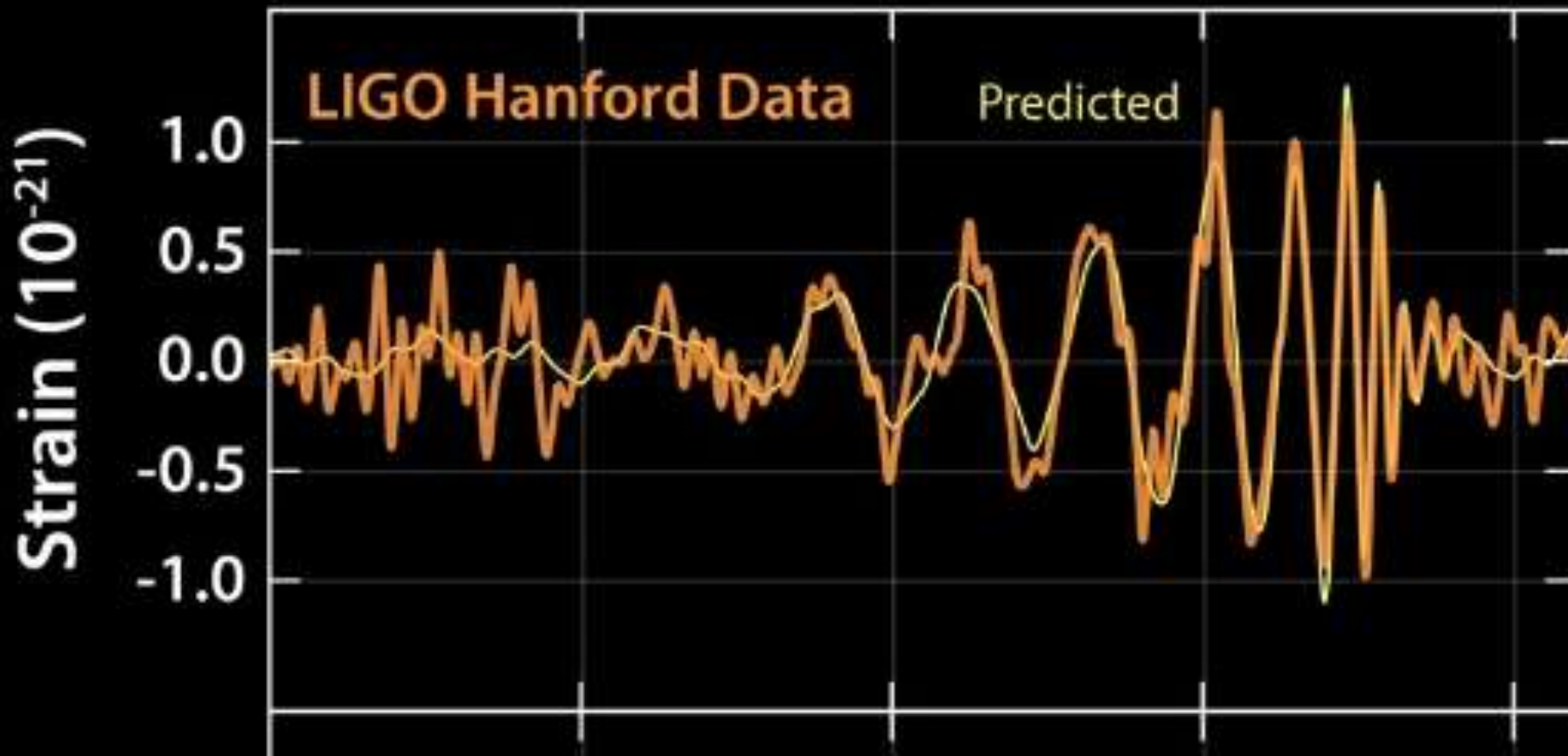
(かぐら)

日本



# 重力波の初観測

2015年



**13億光年先  
太陽の36倍と29倍の質量のブラックホールが合体**

ブラックホールが  
できるのは・・・

なぜ～

# ブラックホールの作り方

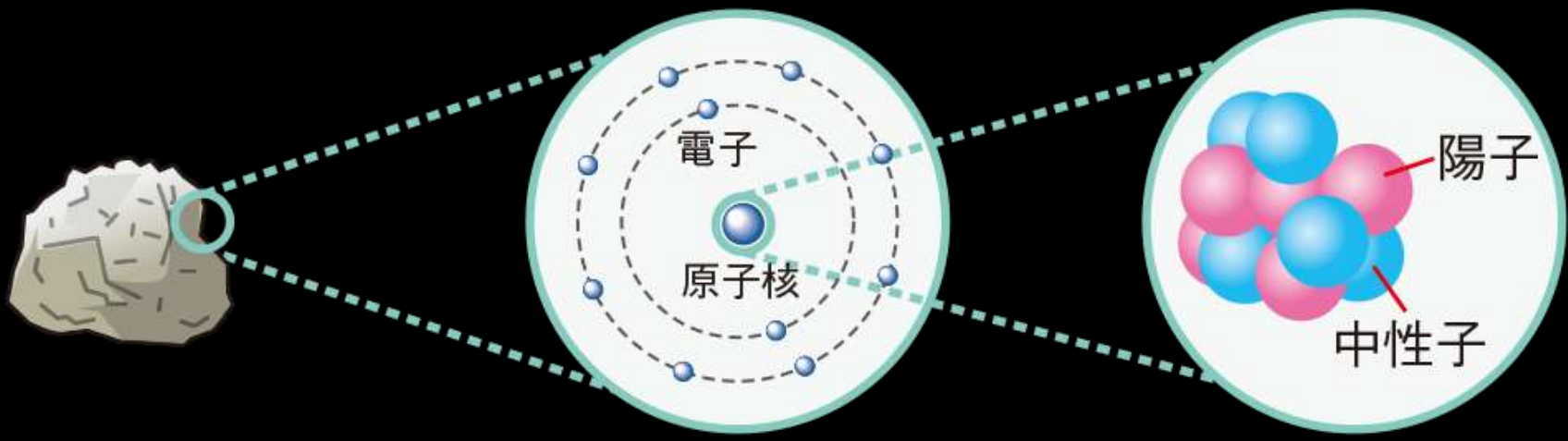


シュヴァルツシルト半径まで圧縮する

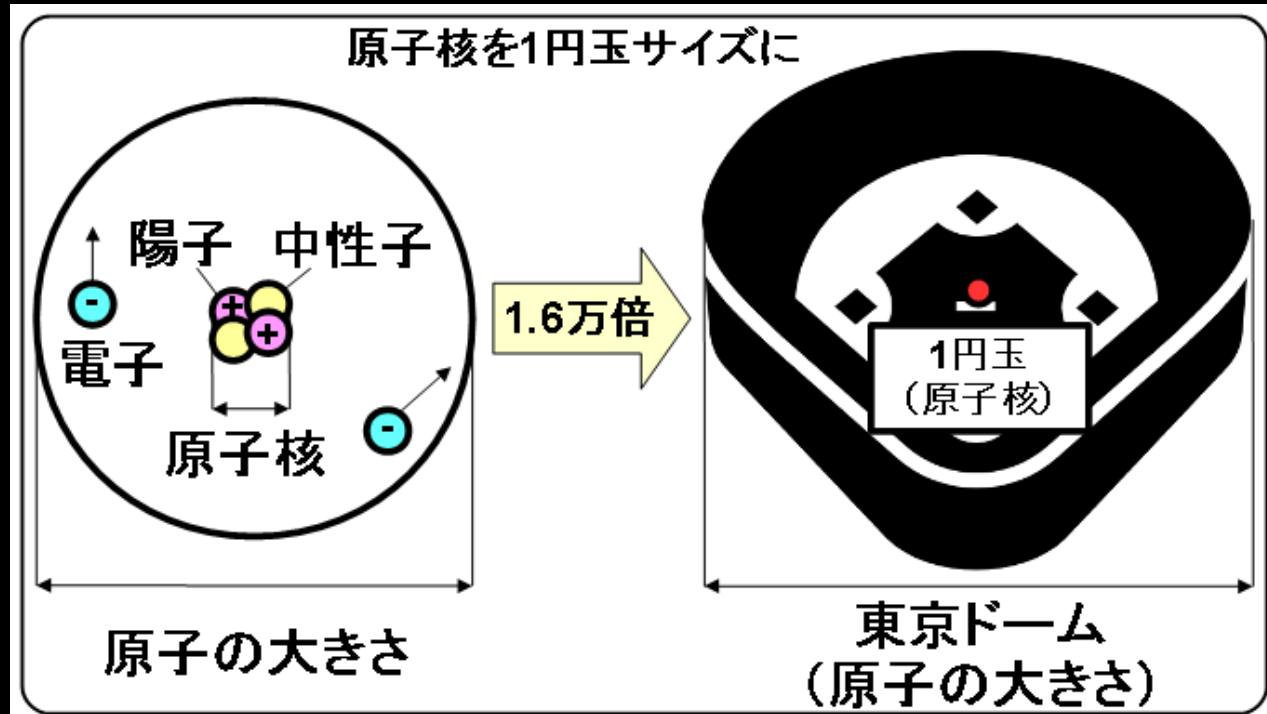
太陽（直径140万km） $\Rightarrow$  直径6km




















地球（直径12800km） $\Rightarrow$  直径17.6mm

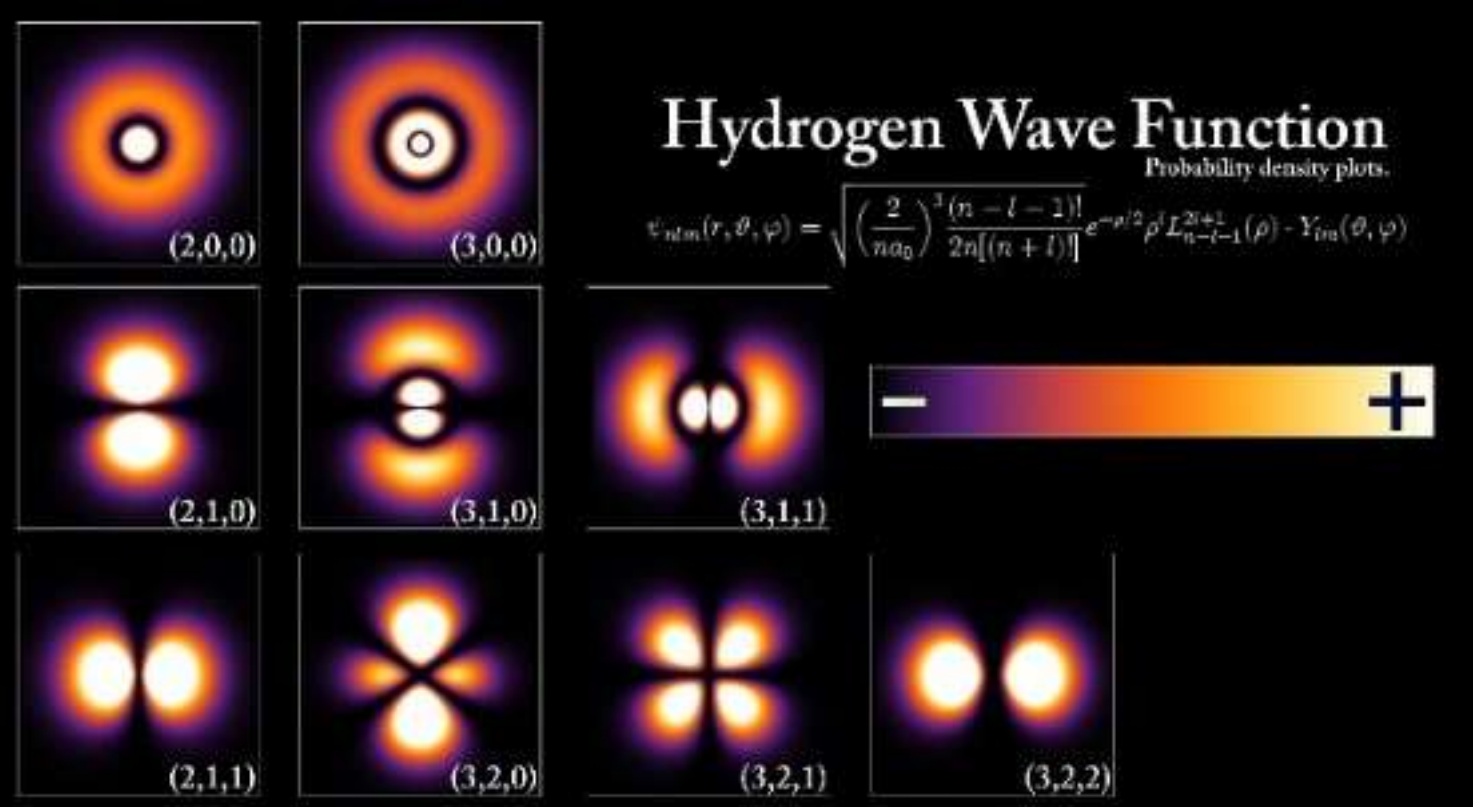
物質 → 原子 → 原子核



**原子の中は  
スカスカ!**



周期 \ 族	1	2	13	14	15	16	17	18
1	 ${}_1\text{H}$	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">  は最も外側の電子殻の電子を示す。ただし、18族は除く。 </div>						 ${}_2\text{He}$
2	 ${}_3\text{Li}$	 ${}_4\text{Be}$	 ${}_5\text{B}$	 ${}_6\text{C}$	 ${}_7\text{N}$	 ${}_8\text{O}$	 ${}_9\text{F}$	 ${}_{10}\text{Ne}$
3	 ${}_{11}\text{Na}$	 ${}_{12}\text{Mg}$	 ${}_{13}\text{Al}$	 ${}_{14}\text{Si}$	 ${}_{15}\text{P}$	 ${}_{16}\text{S}$	 ${}_{17}\text{Cl}$	 ${}_{18}\text{Ar}$



**(原子の電子配置 中3教科書 第**

# 量子論

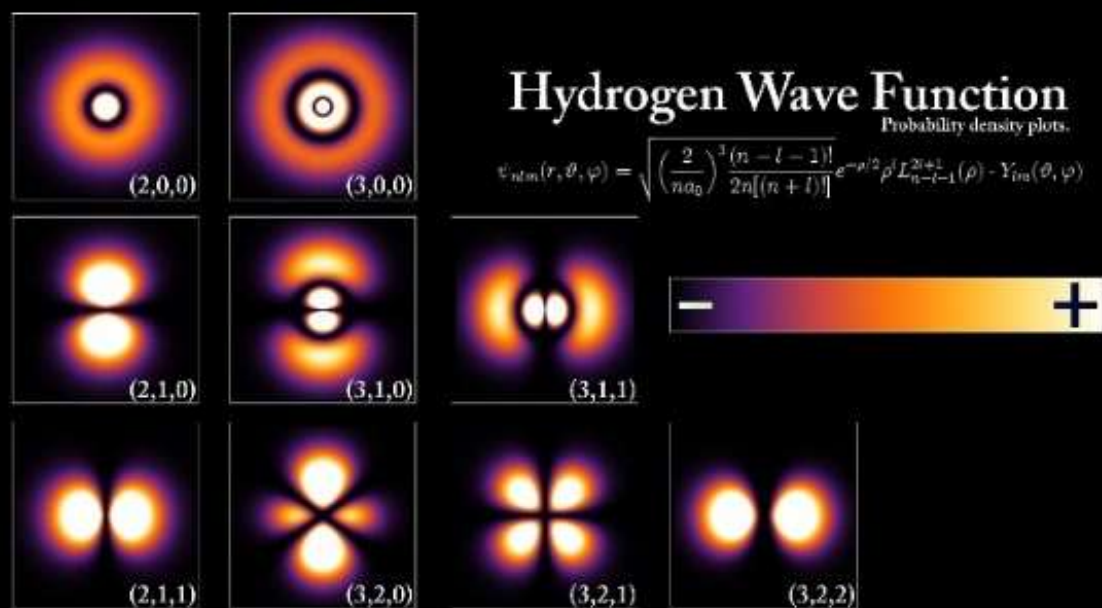
- 原子核の周りの電子のようすを正しく説明する理論

## シュレーディンガー方程式

$$i\hbar \frac{\partial \psi(\mathbf{r}, t)}{\partial t} = \left\{ -\frac{\hbar^2}{2m} \Delta + V(\mathbf{r}) \right\} \psi(\mathbf{r}, t)$$

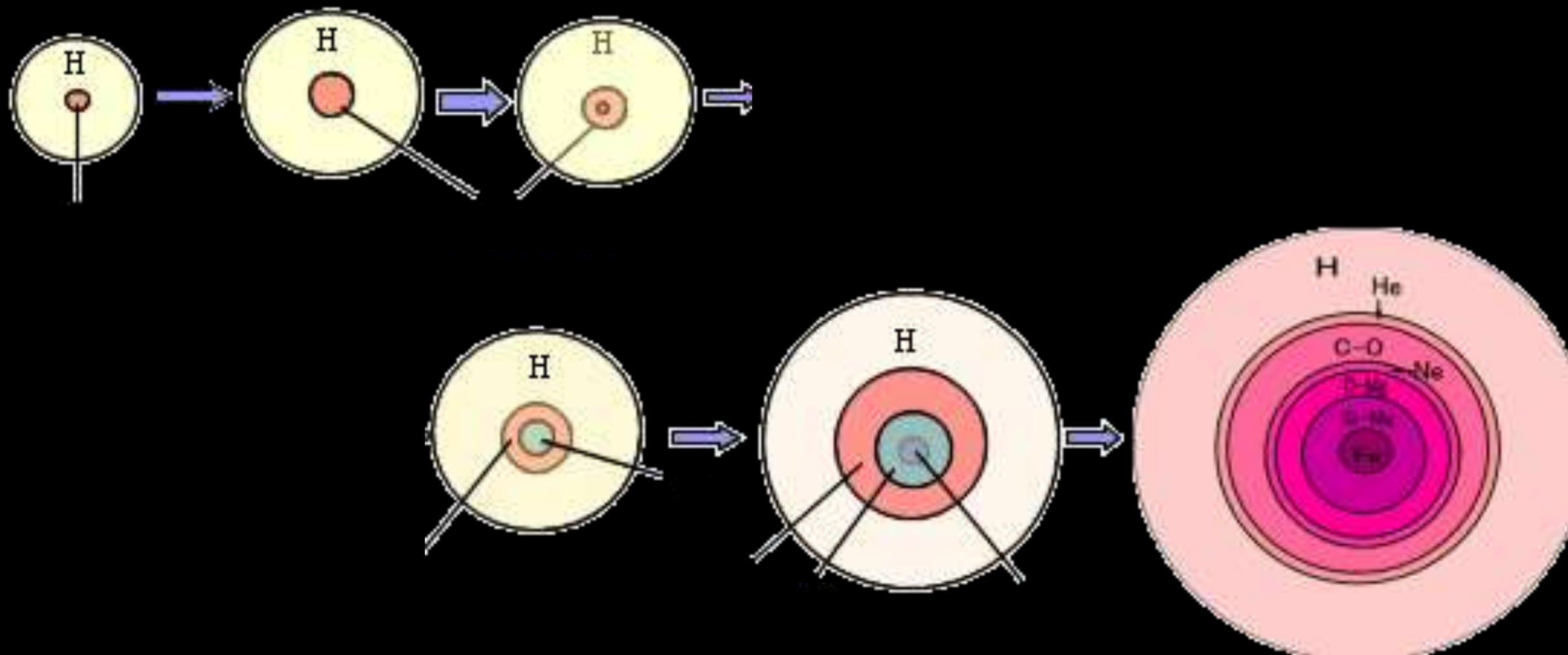


エルヴィン・  
シュレーディンガー  
ドイツ

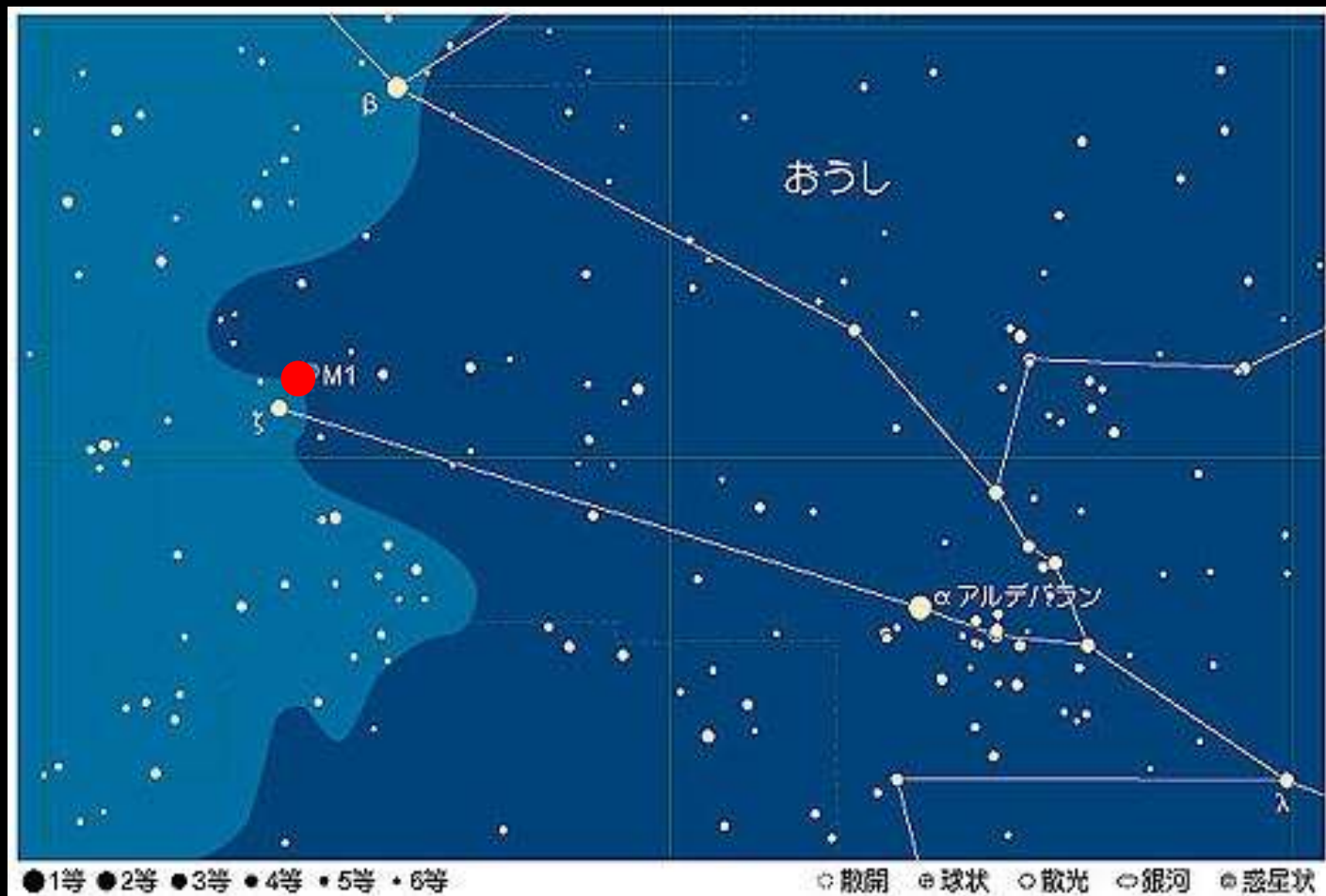


恒星の中心で起こっていること

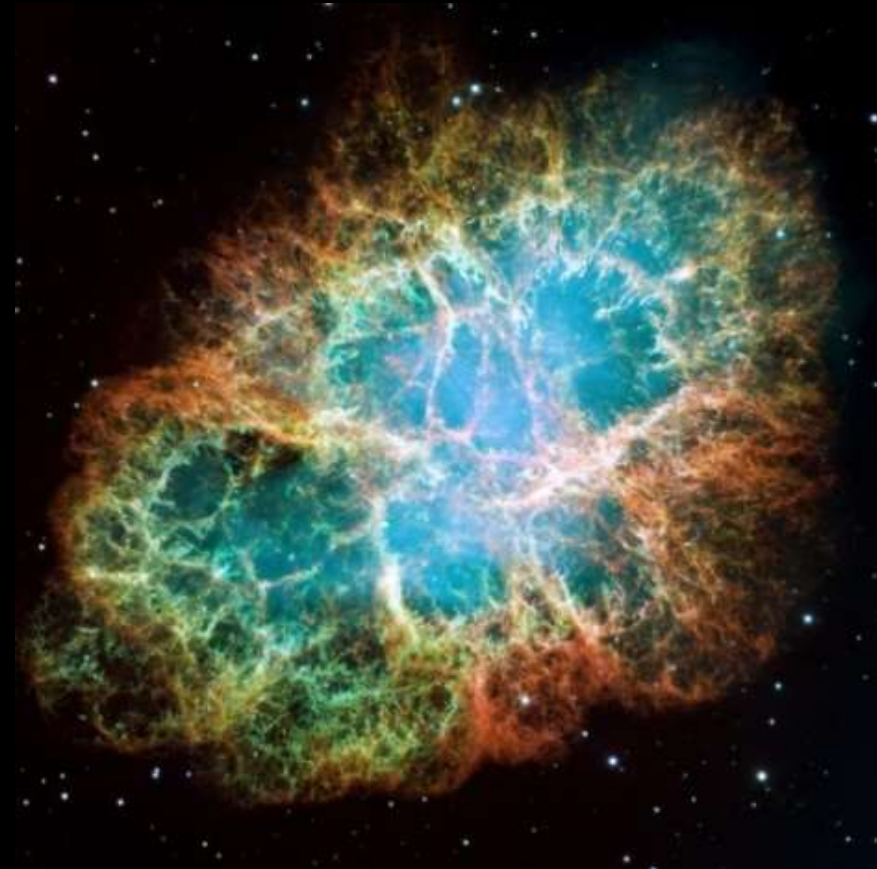
核融合



# 超新星爆発



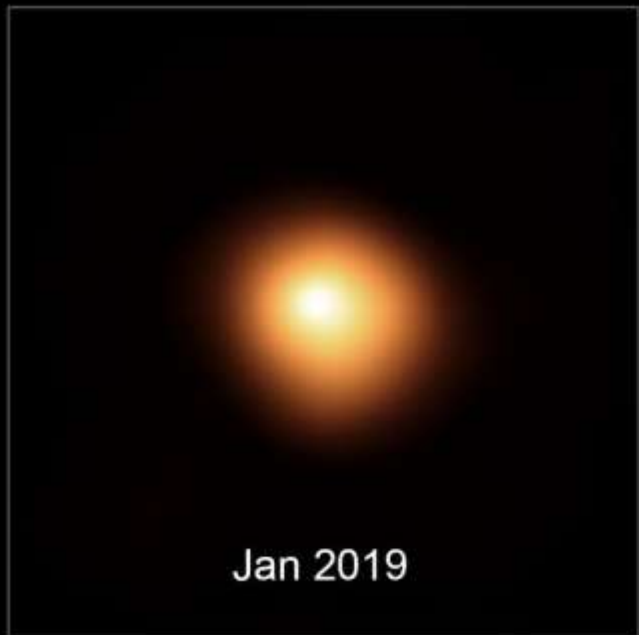
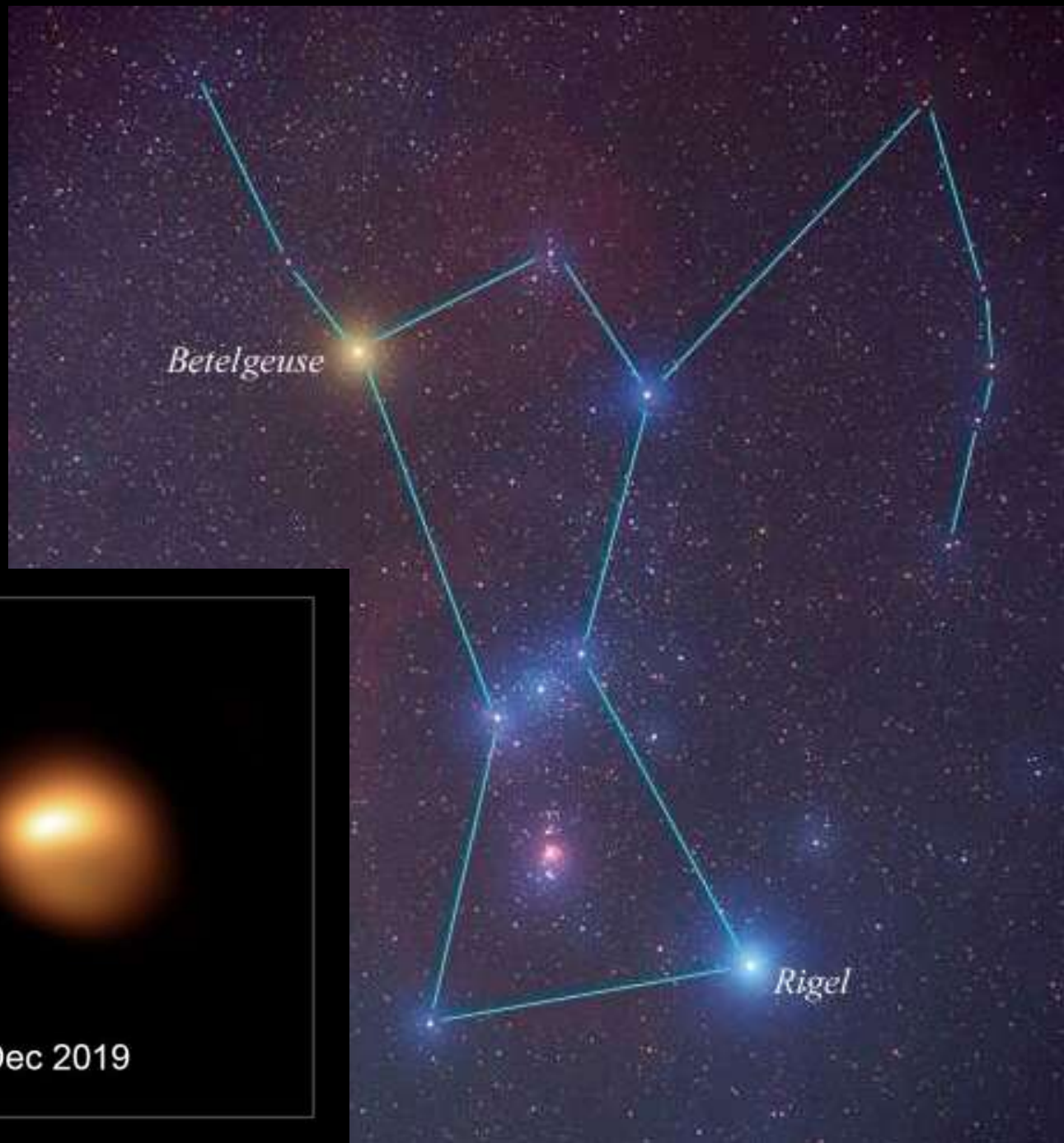
1054年 日本でも観測 おうし座



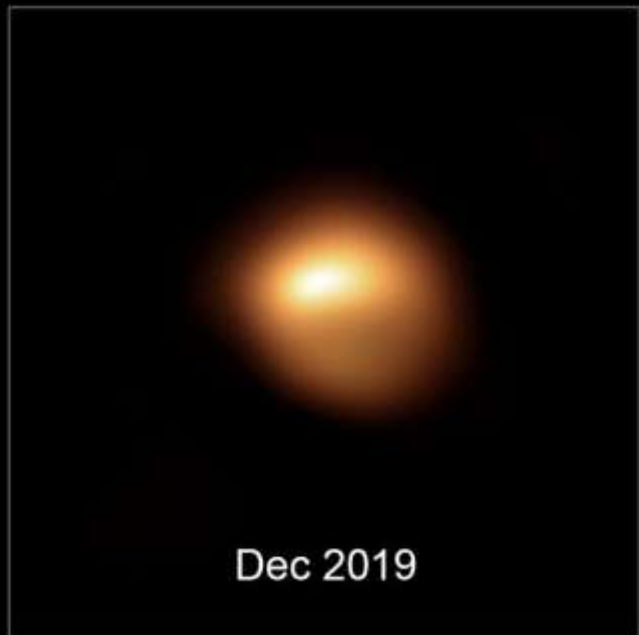
かに星雲M1  
6500光年

ちなみに . . .

# ベテルギウス (オリオン座)



Jan 2019



Dec 2019

# 中性子星



かに星雲の中心

太陽と同じくらいの質量で  
直径約20Km



直径約6Km以下になれば  
ブラックホール！



# 質量範囲 [太陽質量]



太陽比質量による恒星の一生の違い

**白色矮星**



**こと座M57  
リング星雲**

# ブラックホールはその後・・・





**天の川銀河中心の  
ブラックホール**

**太陽の400万倍の質量**



**M87銀河中心の  
ブラックホール**

**太陽の65億倍の質量**

# スティーヴン・ ホーキング

1942年1月8日～  
2018年3月14日

イギリス

ブラックホールが  
蒸発する?!





イータカリー十星雲 (NGC 3372) の  
「ミスティック・マウンテン」



わし星雲 (M16、NGC6611) の  
「創造の柱」



**馬頭星雲（オリオン座）**



**バブル星雲（NGC 7635）**



**タランチュラ星雲 (大マゼラン雲)**



**バタフライ星雲 (さそり座)**



**渦巻銀河UGC1810とUGC1813**



**一角獣座の特異変光星V838**

おまけ . . .



**ガリレオ・ガリレイ**

1564年2月14日～  
1642年1月8日



**スティーブン・ホーキング**

1942年1月8日～  
2018年3月14日