

京都精華大学 基礎講義

# 自然科学論

～宇宙科学と人文社会科学・芸術表現～

担当教員：磯部洋明

京都大学宇宙総合学研究ユニット・特定講師

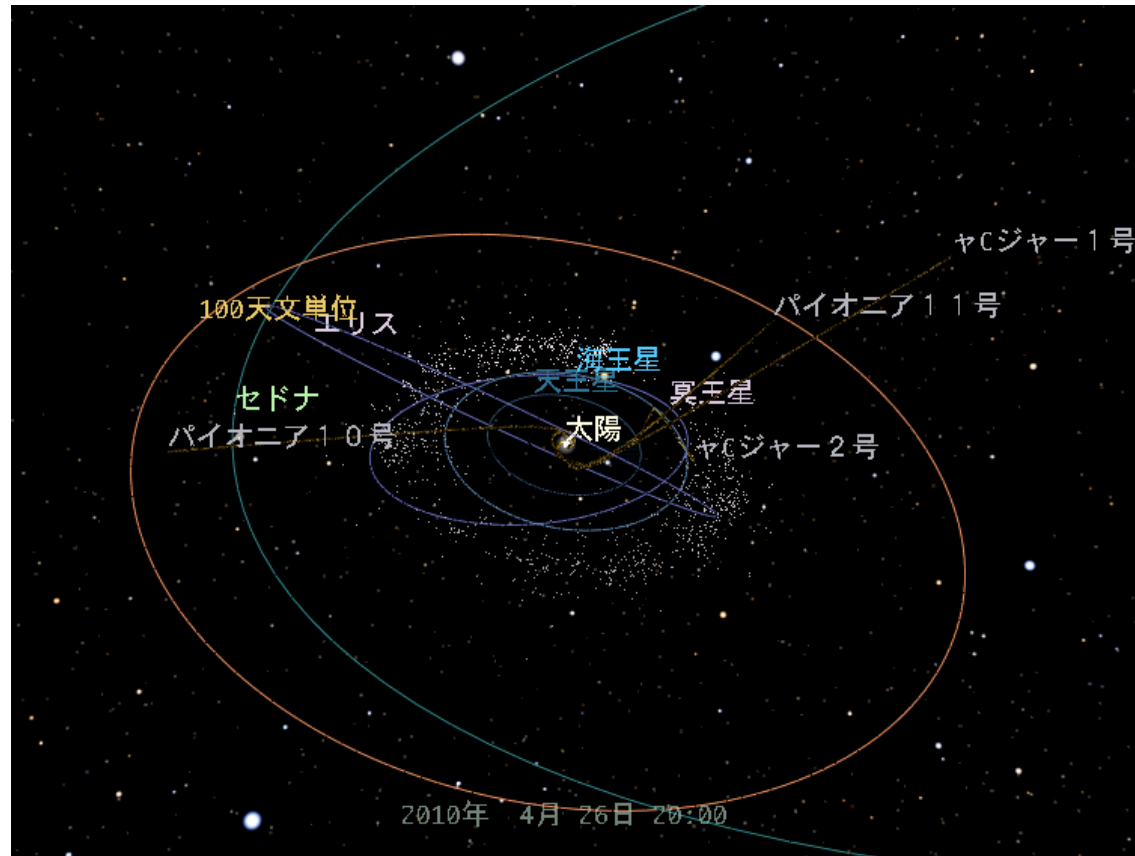
京都精華大学・非常勤講師

第4回 2011年5月10日

# 今日の話

- 宇宙の様々な天体
- 宇宙を「見る」とは？電磁波の話

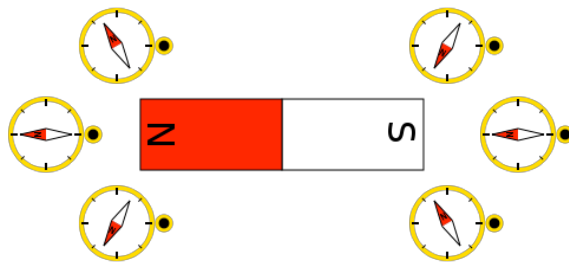
# 宇宙をどうやって知るか？星は遠い



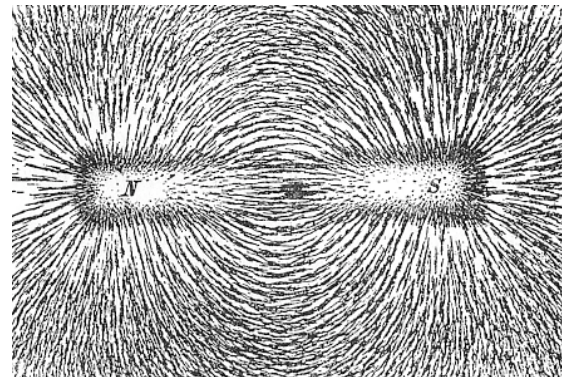
- 人間の送り込んだ探査機で現在最も遠くまで行っているのはボイジャー1号。現在太陽系の端を越えて100億km以上離れている。
- が、隣の星は約4光年(~10兆km)先。まだ隣の星までの1/1000も進んでいない。  
=>星から届く何かを受けとって調べるしかない

# 「場」

- 電磁波＝電場と磁場の波
- 「場」＝「何か」の影響を受けている空間
  - 例：重力場、電場（電界）、磁場（磁界）
- 地球がその周辺に「重力場」を作る⇒場の中の物体は、自分の「質量」に応じて「重力」を感じる。
- 正の電荷が電場を作る⇒場の中にある正の電荷は反発し、負の電荷は引き寄せられる。例：静電気、雷、コンデンサー
- 電流や棒磁石は磁場を作る⇒場の中にある電流（磁石）は、その方向に応じた力を受ける



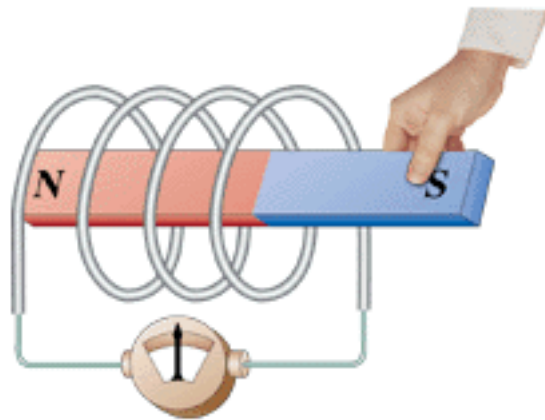
From wikipedia commons



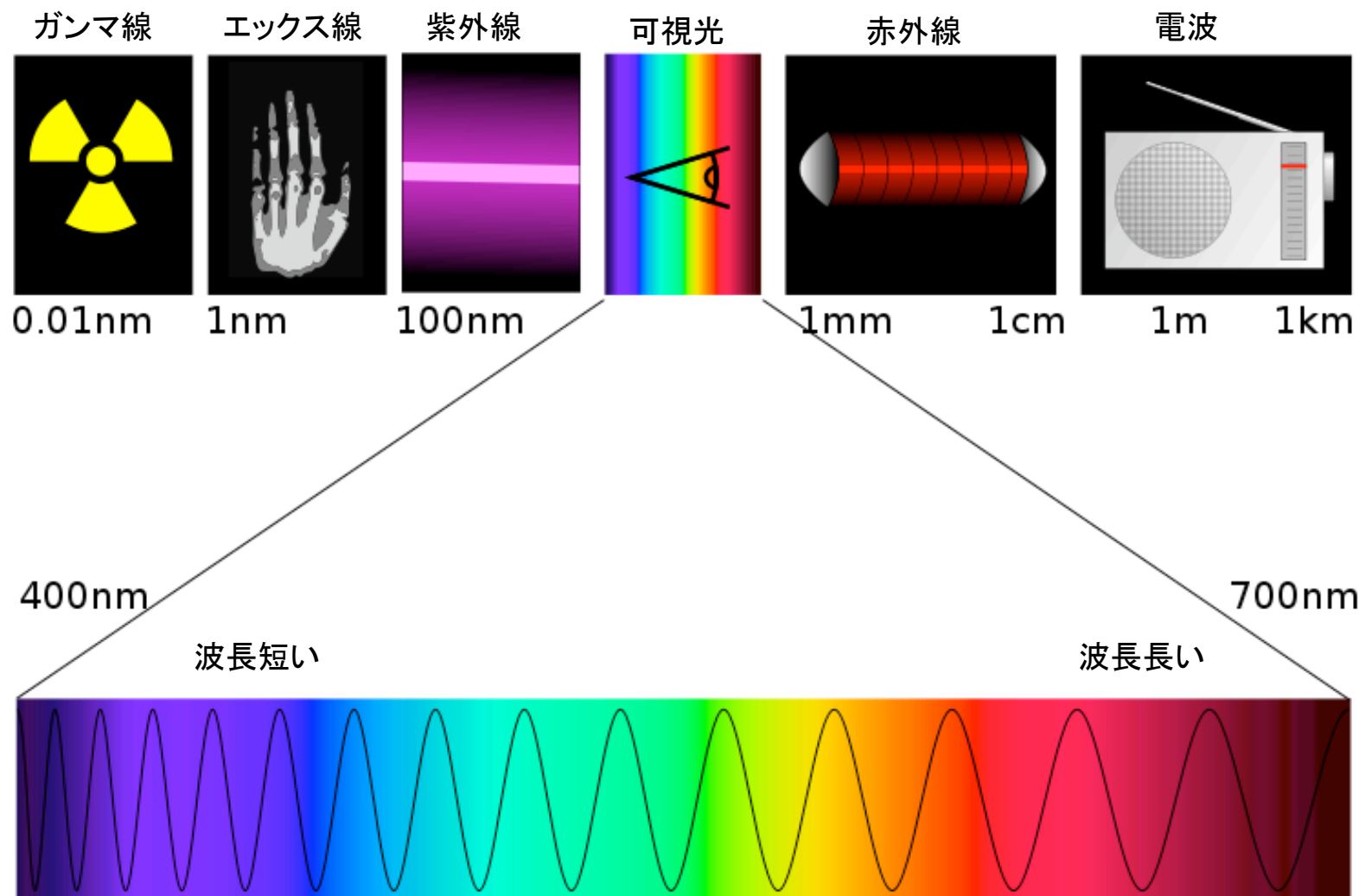


# 電磁波

- 電磁石: コイルに電流を流すと磁場ができる
- 電磁誘導: コイルに磁石を近づけると電流が流れる
  - 電流が流れる = 電場ができている
- 電場が磁場を作り、磁場が電場を作り、その電場がまた磁場を作り、、、と伝わってゆく。これを電磁波と呼び、その伝わる速さを光速と呼ぶ。



# (目に見える)光＝電磁波の一種

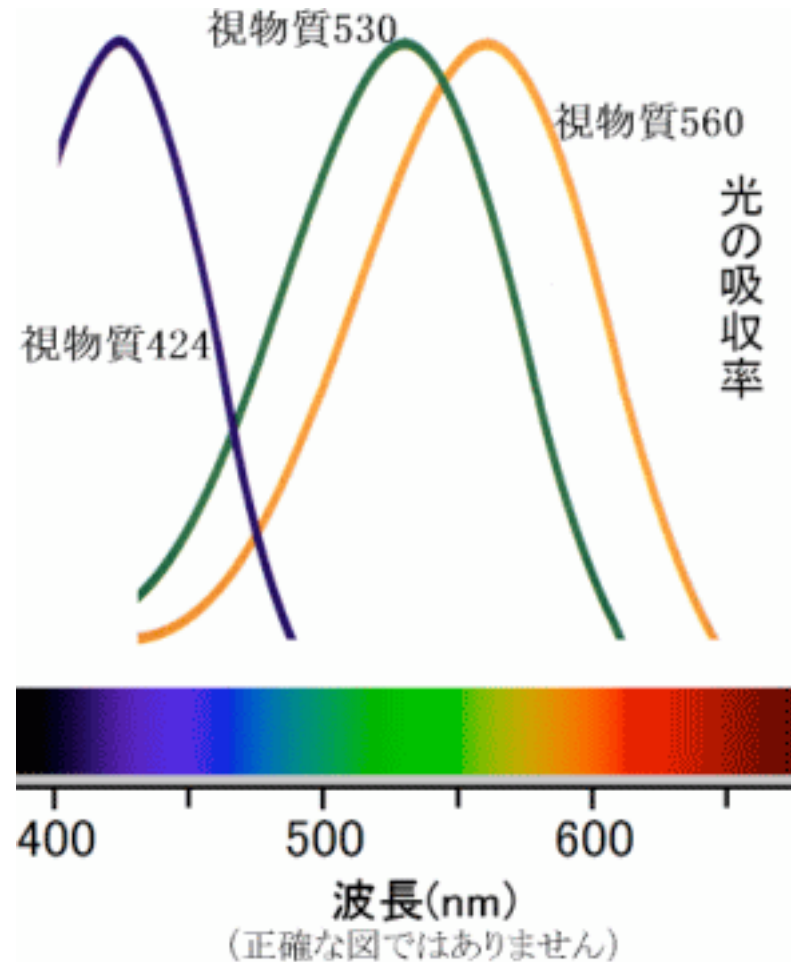


1nm(ナノメートル)＝10億分の1メートル

From wikipedia commons

# 色を感じるメカニズム

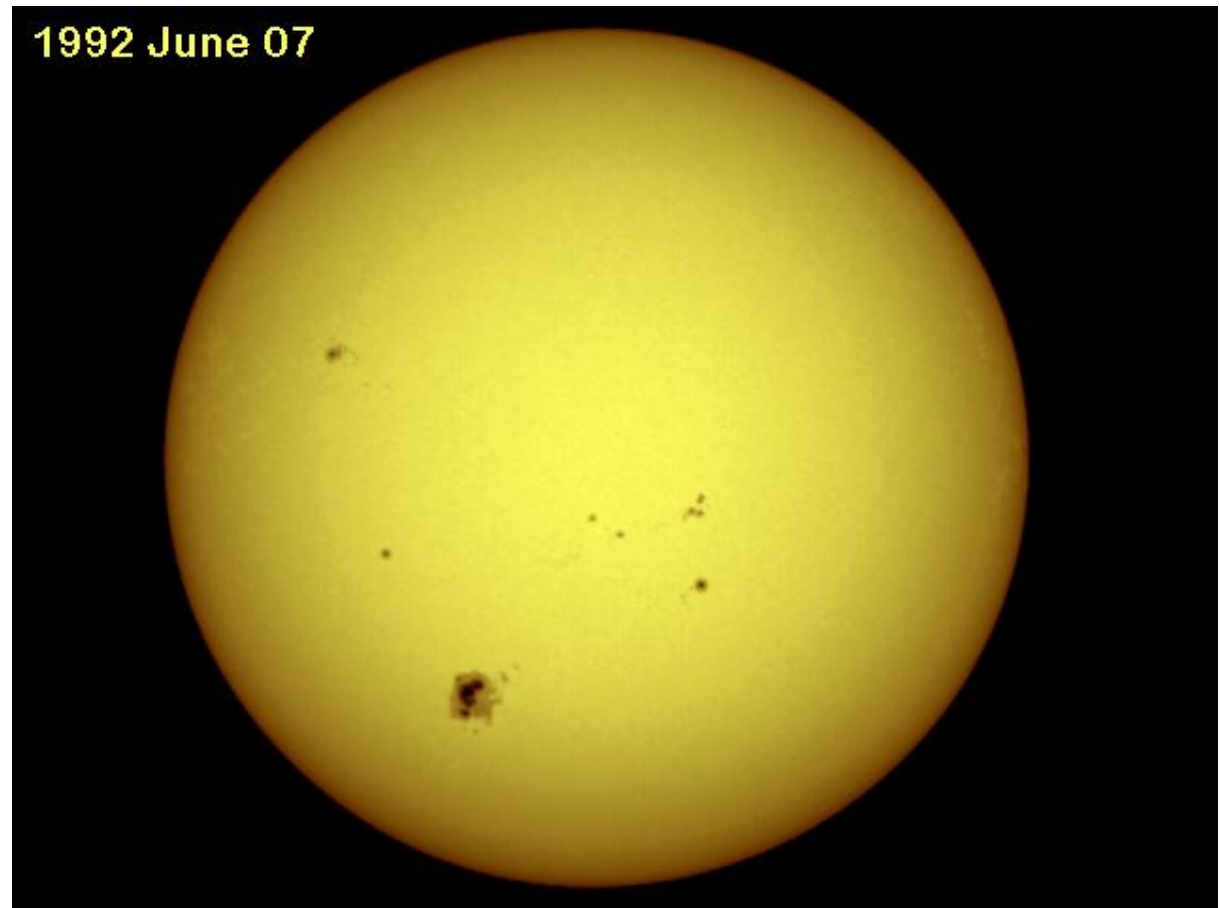
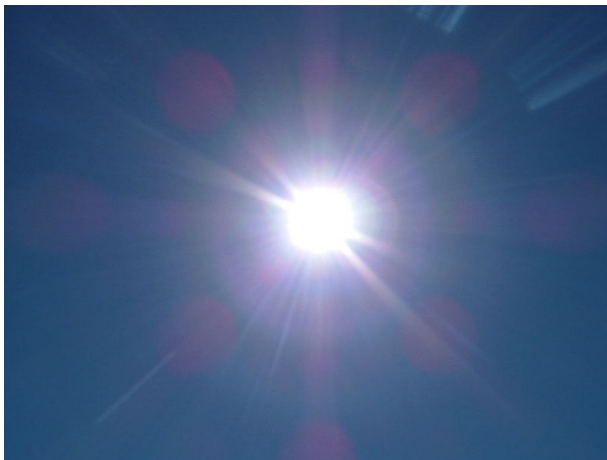
- 眼の中には青、緑、赤に感度の高い3種類のセンサー(視細胞)がある
- 3つのセンサーが感じる光の相対的な強さで、脳が色を判断する
- センサーを一つしか持たなければ、世界は白黒



# 可視光で見た太陽

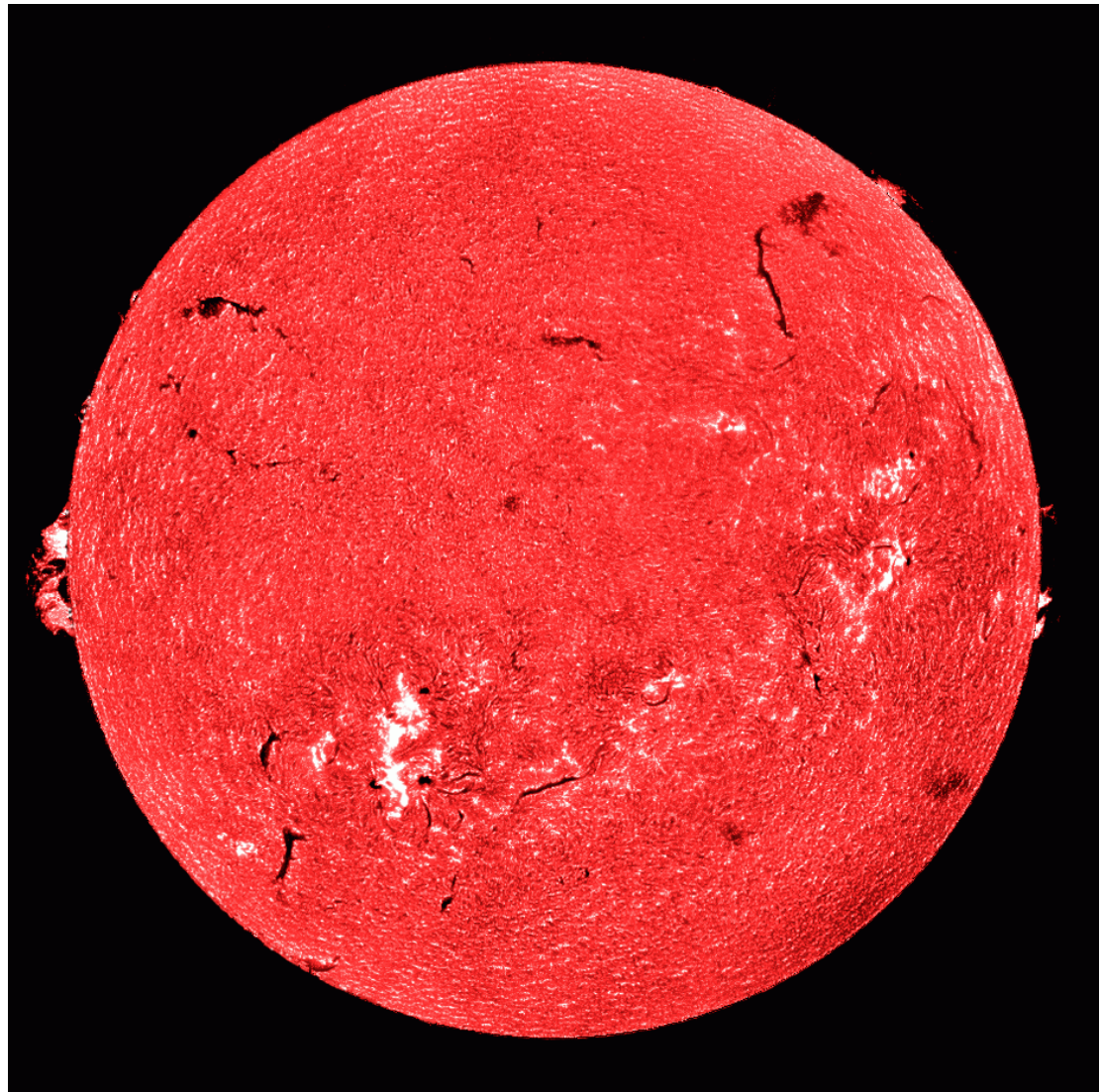
(肉眼で見た太陽。本当に見ると危険です。)

黒い部分が黒点。  
周辺より温度が  
低い。



# 可視光(水素H $\alpha$ 線)で見た太陽

- 表面の上空の彩層と呼ばれる薄い層を見ている。
- フィラメント(太陽面上の黒い筋模様)
- プロミネンス(縁の外に見える明るい構造)





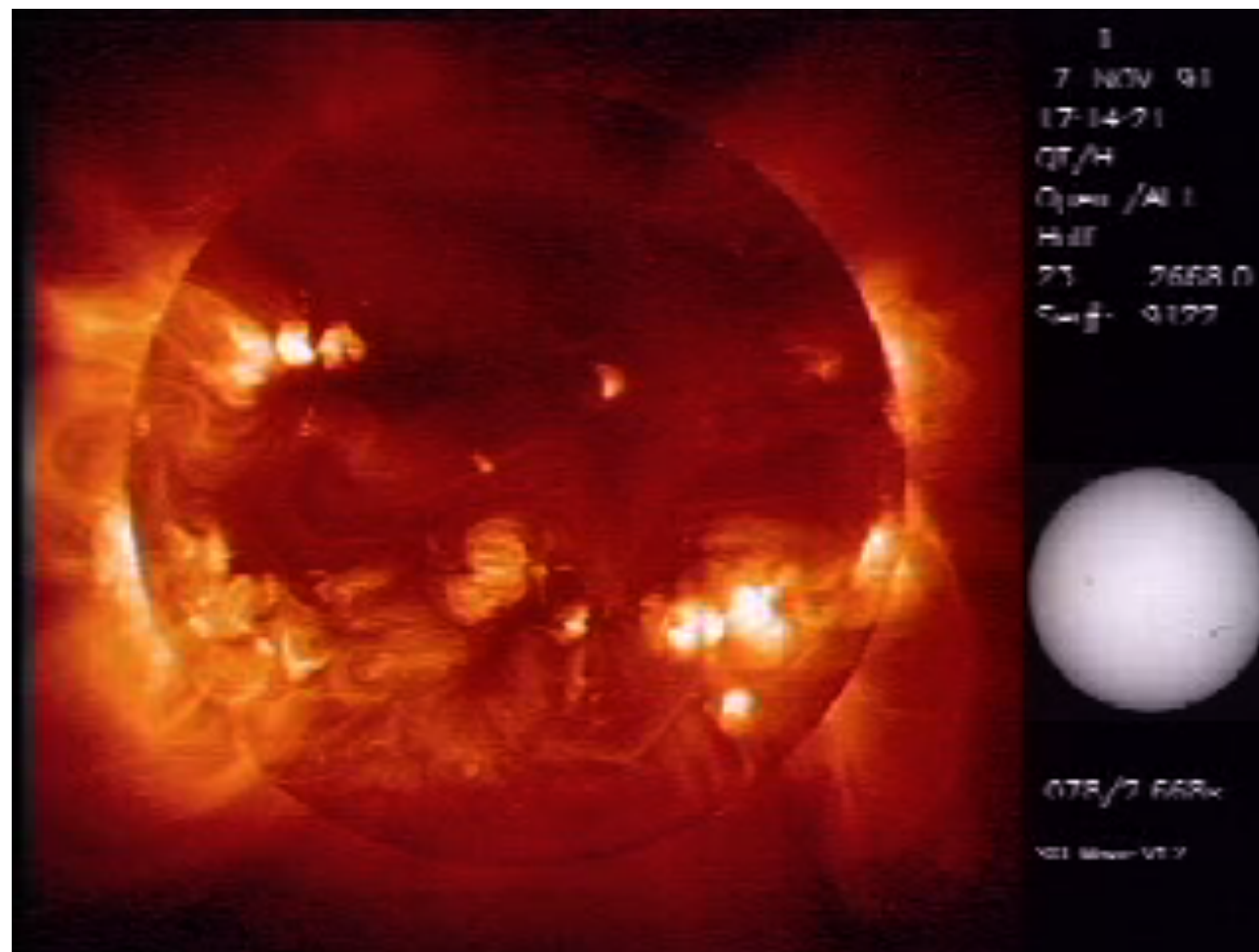
# X線で見た太陽

- **コロナ**と呼ばれる外側の大気を見ている。

- 200 ~ 2000万度の高温のガスがX線を出す。

- 黒点の上空が特に明るい。

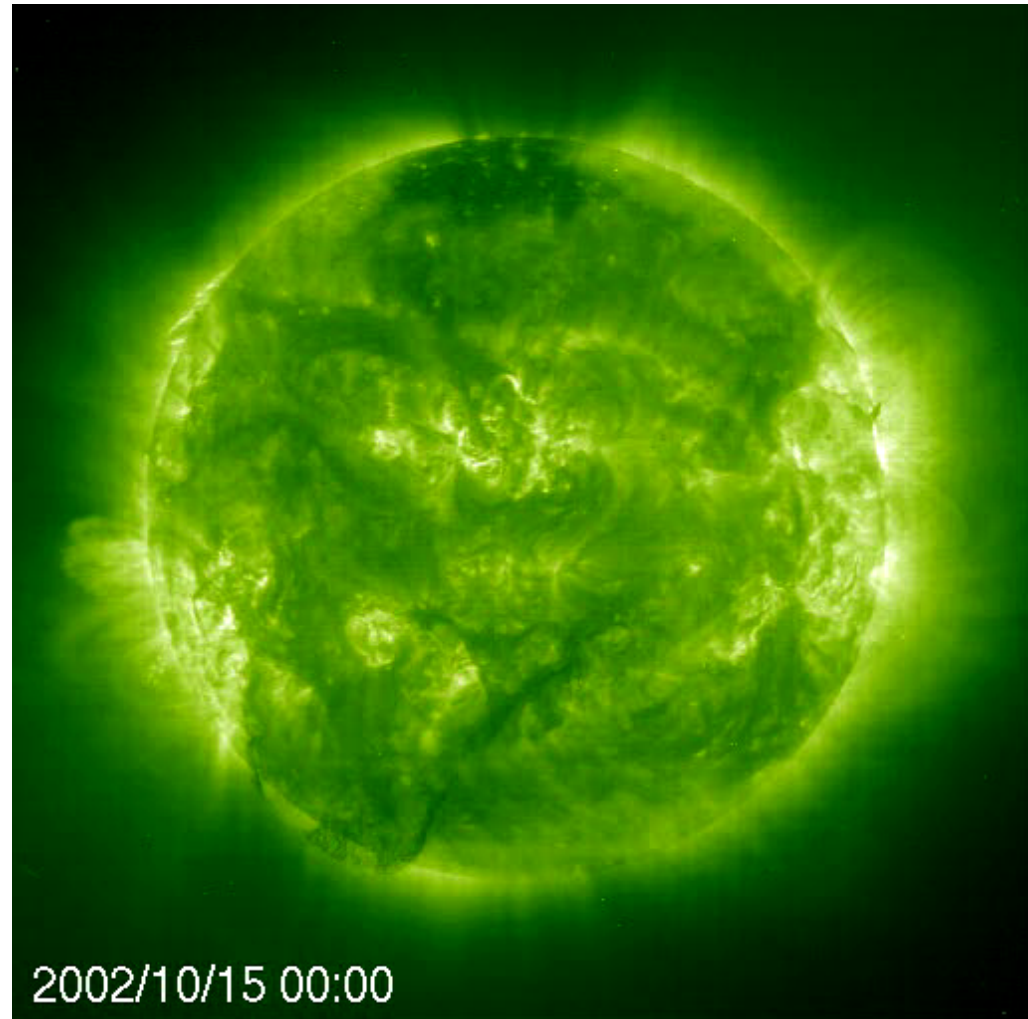
- 色は人工的につけたものです。



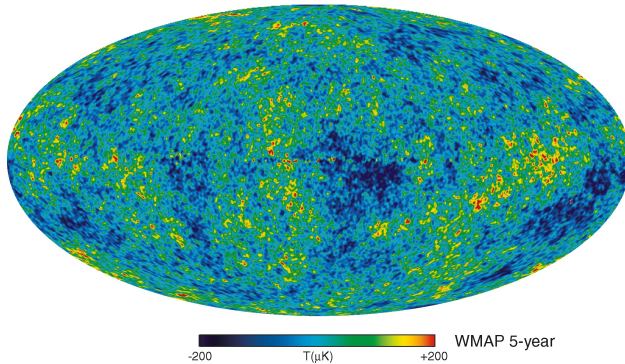
ようこう衛星

# 紫外線で見えた太陽

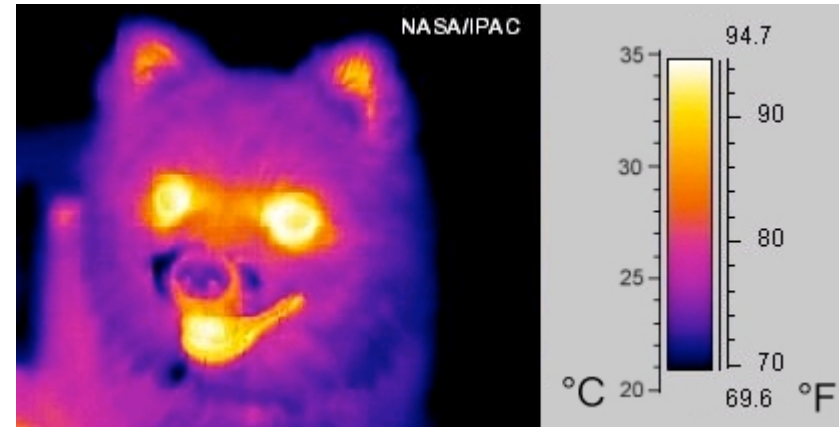
- これもコロナを見ている。
- 100万度程度のガスから紫外線が放出される。
- 噴出するプロミネンスが見える。
- 色は人工的につけたものです。



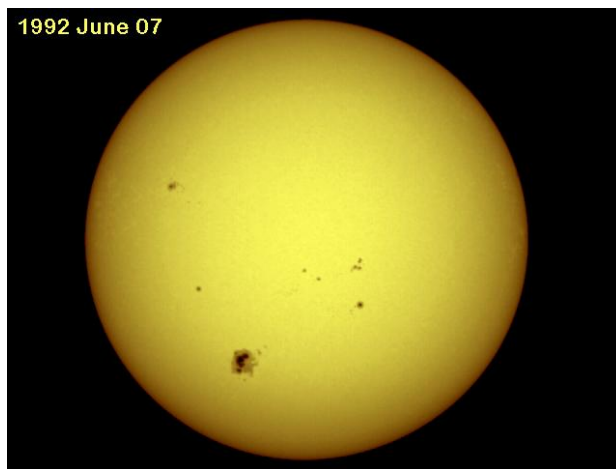
# 温度を持つものは電磁波を出している



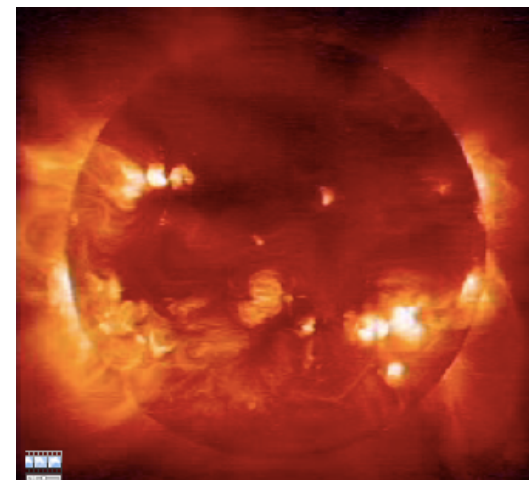
宇宙全体~-270度=>電波



人や動物~40度=>赤外線



太陽表面~6000度=>可視光



太陽コロナ~100万度=>X線



# ここで問題:温度ってなに？

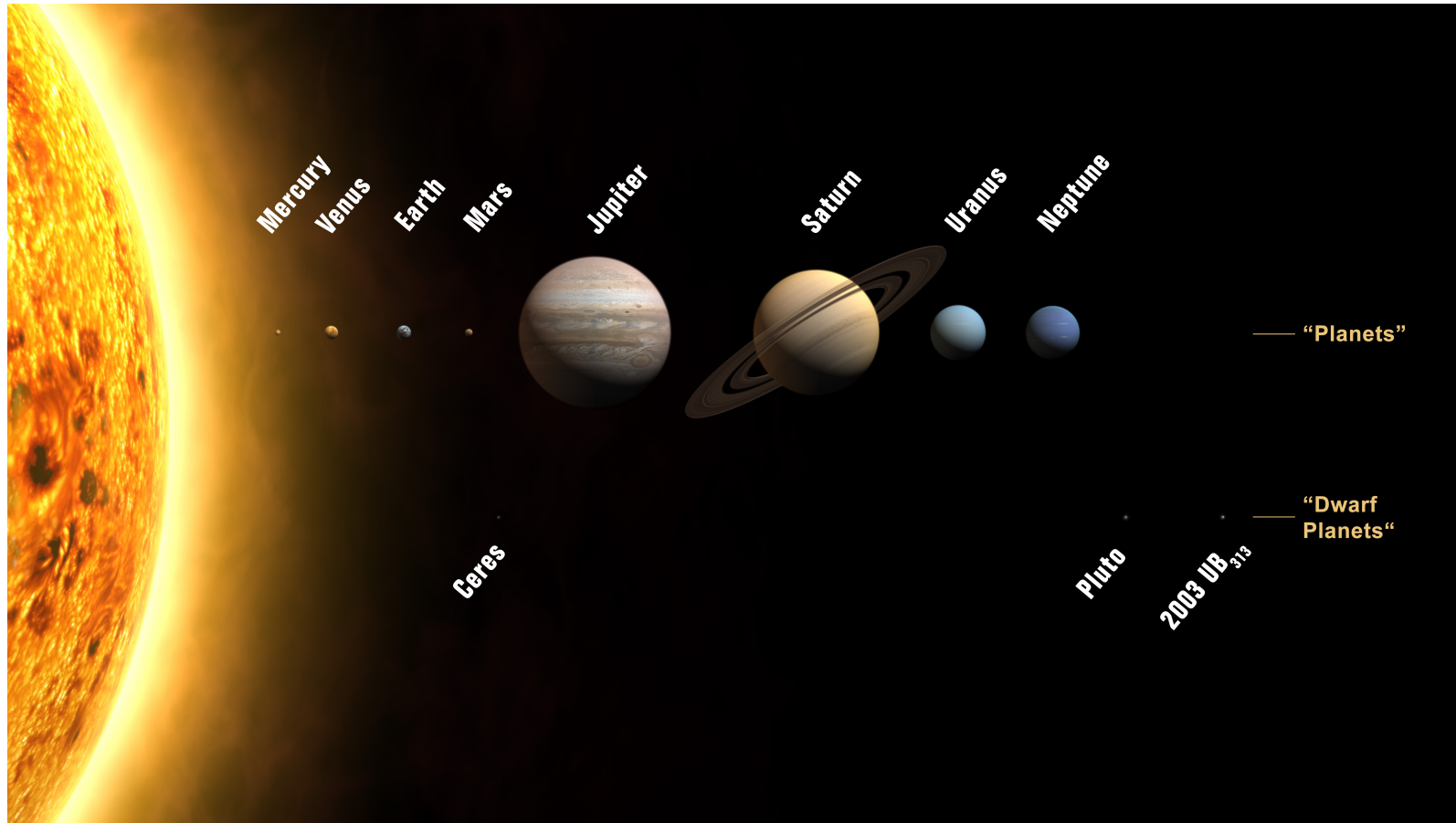
- 80度のサウナに入れるのに、80度のお湯には入れない理由を考えてみてください
  
- 答えは資料の最後

# 天体観測の方法

- 可視光・赤外線望遠鏡
- 電波望遠鏡
  
- X線や紫外線は地球大気で吸収される
- 可視光・赤外線にとっても大気はジャマ  
– =>人工衛星を上げて宇宙空間から観測
  
- 電磁波以外の観測：宇宙線、ニュートリノ、重力波

様々な天体

# 宇宙の様々な天体



恒星...自分自身でエネルギーを放出して輝く星。太陽や夜空に見える星がそう  
惑星...自分では光らず、恒星の周りを回る星  
太陽系内には、これ以外にも”準惑星”や小惑星、彗星などの小天体がある  
惑星、太陽系内天体の話は次回以降。

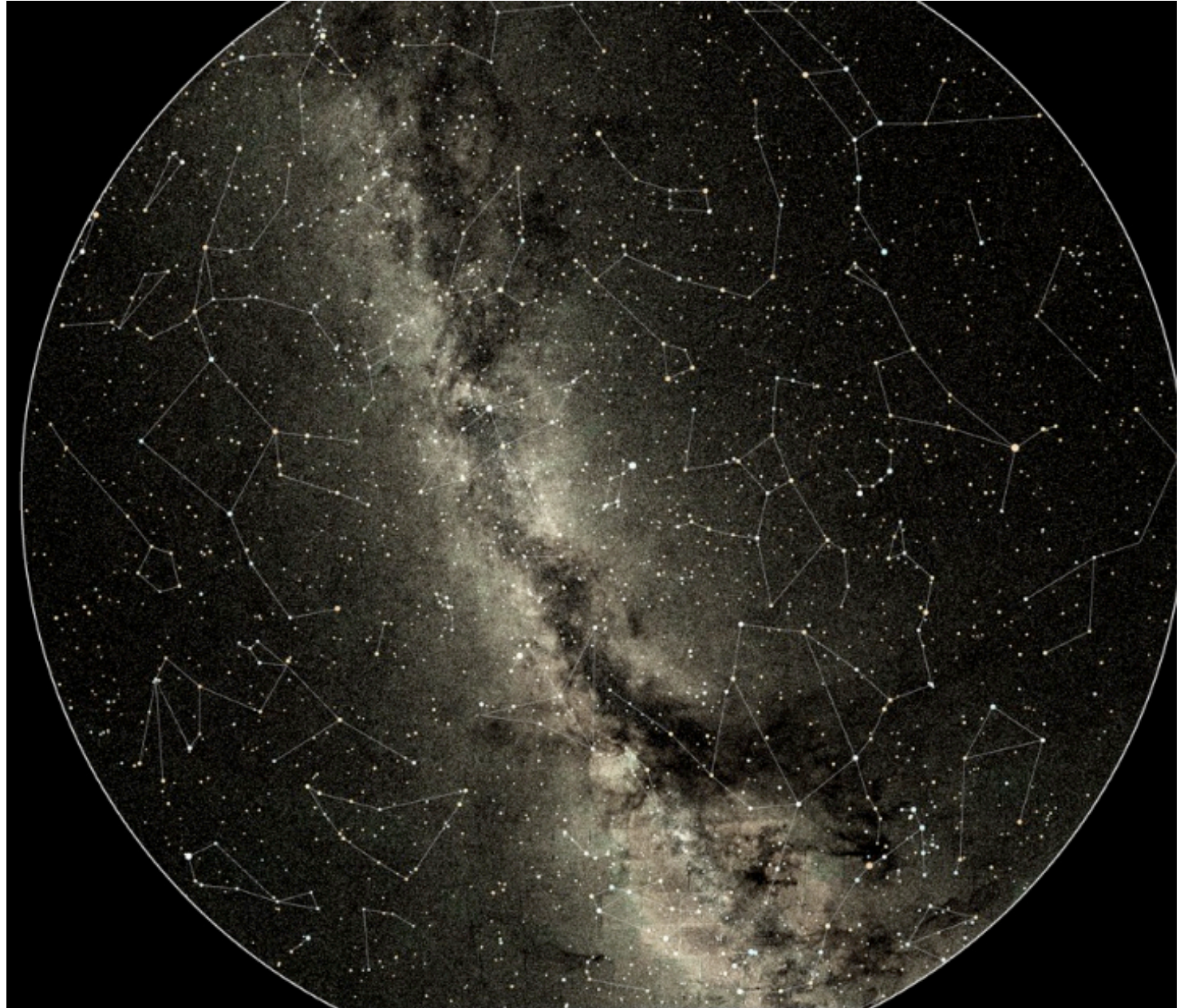
## 七夕の頃の星空

星の明るさは「等級」で表す。数が小さいほど明るく、等級が一つあがると約2.5倍明るくなる。

京都市内で肉眼で見えるのは3等星くらいまで。

太陽はマイナス27等くらい。

(京都大学・前原裕之氏提供)



# 星の色の違い＝温度の違い



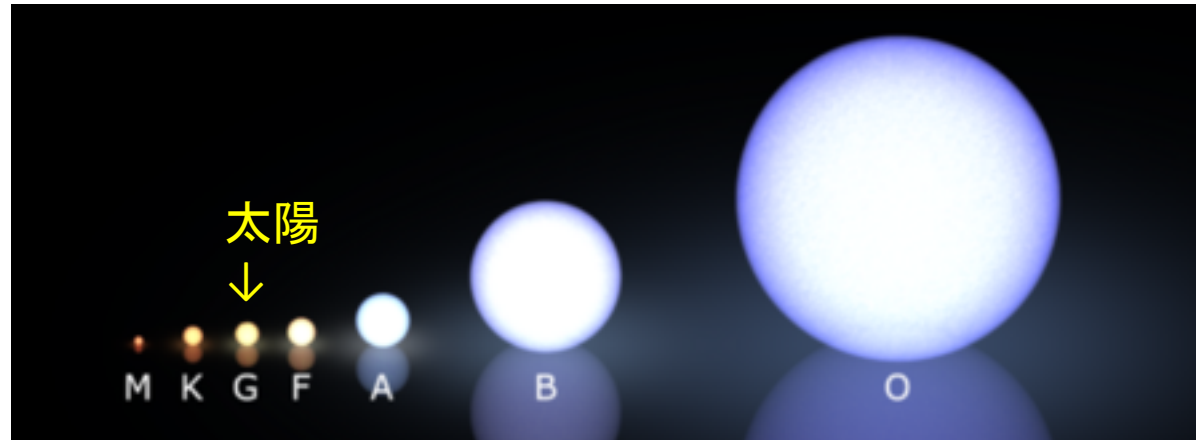
青っぽい...温度が高い(1万～数万度)



赤っぽい...温度が低い(約4000度)



# 星の色(温度)と大きさは質量だけで決まる (主系列星の場合)



↑質量は太陽の1/10

↑質量は太陽の数10倍

スペクトル型	温度	色	
O型	30000 ~ 50000度	青	
B型	10000 ~ 30000度	青	Oh, Be A Fine Girl, Kiss Me! と覚える
A型	7500 ~ 10000度	青白	(覚えなくてもよい)
F型	6000 ~ 7500度	白	
G型	5300 ~ 6000度	黄 ...	太陽はこれ
K型	4000 ~ 5300度	橙	
M型	3000 ~ 4000度	赤	

# ヘルツシュプルング・ラッセル図(HR図)

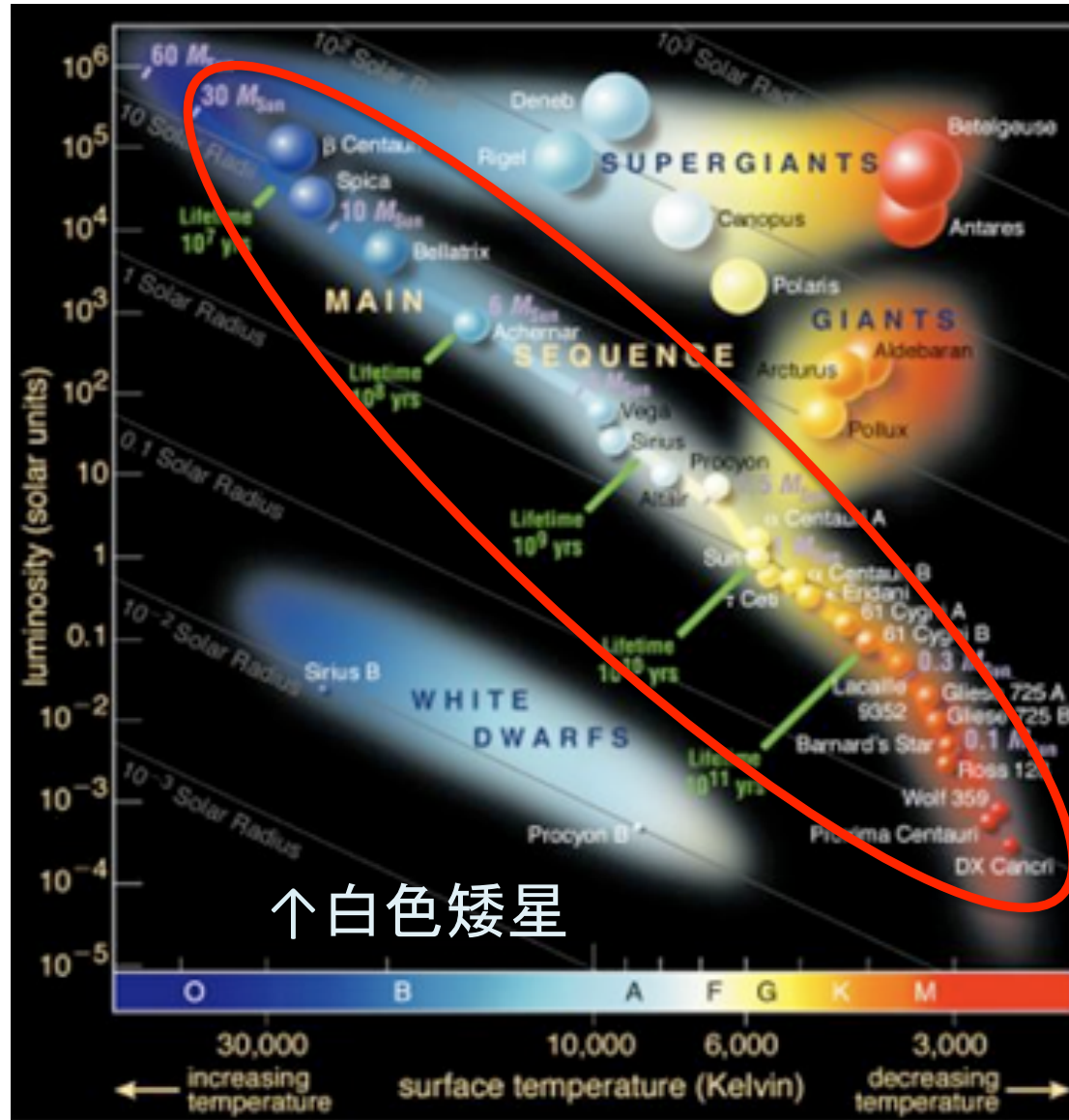
明るさ

主系列星：  
水素の核融合により光る  
恒星。

質量が決まれば  
温度と明るさが決まる。

赤色巨星：死ぬ直前に赤く  
膨れ上がった星

白色矮星：  
主系列星が死んだ後に残る  
小さくて熱い星



←赤色巨星

主系列星

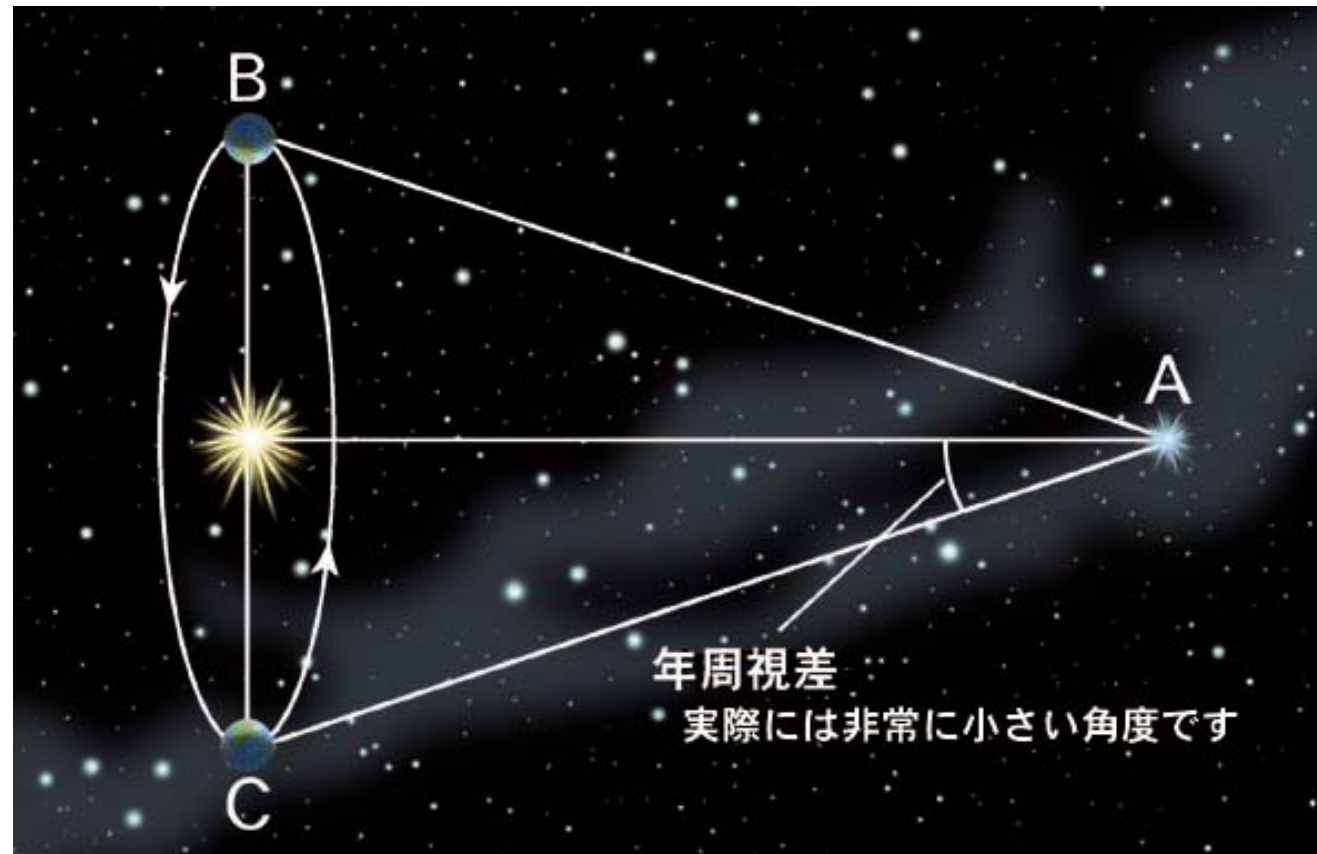
温度



# 星までの距離の測り方

1. 三角測量: ある時間とその半年後に星を見た時の角度の差(年周視差)を利用する

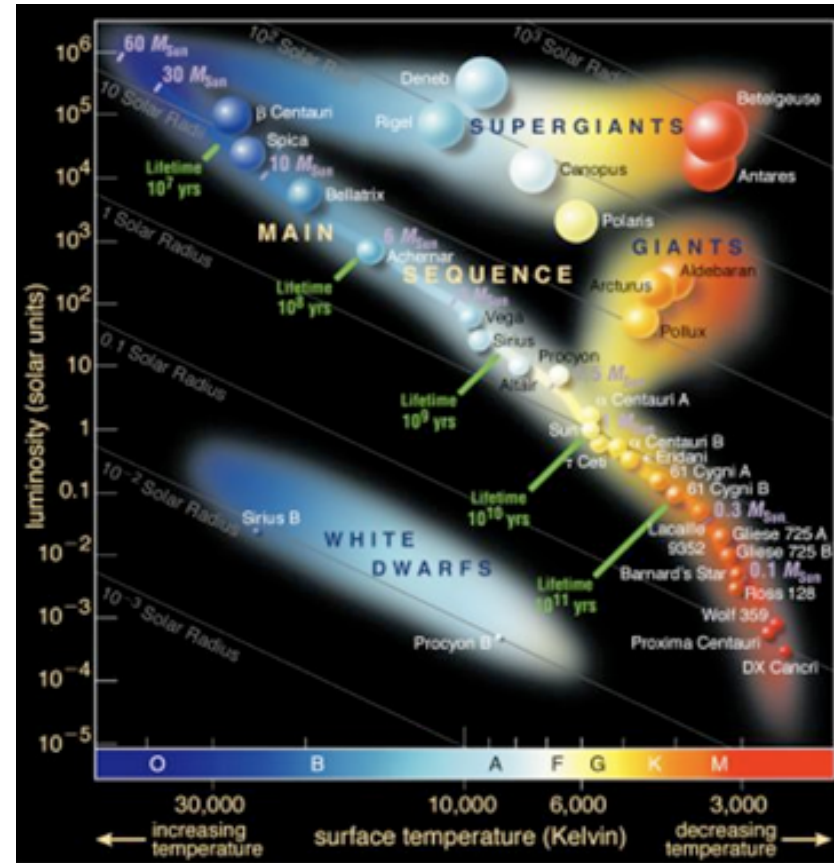
この距離は  
分かっている  
(約3億km)



この方法は比較的近くの星にしか使えない。

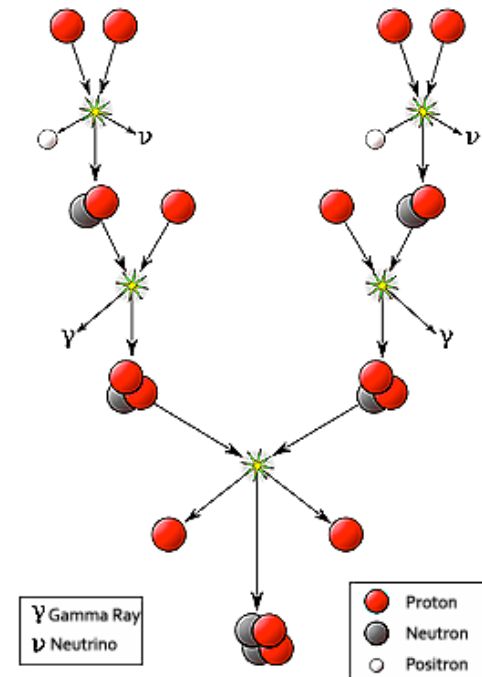
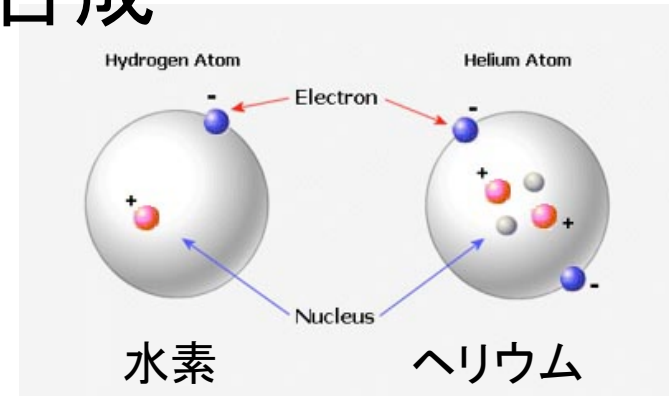
# 星までの距離の測り方

- 2.みかけの明るさと本当の明るさを比べて測る
  - 主系列星は温度(色)が決まれば(絶対的な)明るさも決まる  
=>見かけの明るさと本当の明るさを比べれば、距離が分かる
  - 明るさの変動する時間周期と絶対的な明るさの間に関係がある星なども使うことができる



# 星の中の元素合成

- 星のエネルギー源は核融合
- 水素原子は陽子1つ、ヘリウム原子は陽子2つと中性子2つからできている。
- 陽子と中性子はほぼ同じ質量
- 水素4つからヘリウム1つをつくると、水素4つより少しだけ軽くなる
- この軽くなった質量がエネルギーに変わる=核融合の原理
- $E=mc^2$
- 水素爆弾や核融合発電の原理も同じ
- (原子爆弾、原子力発電所は「核分裂」なので注意)



図は<http://www.ngawhetu.com/Resources/StellarEvolution/index02.html>から借用

# さまざまな元素

Atomic number

Symbol

Atomic weight

Metal

Semimetal

Nonmetal

1																	18
1	2											13	14	15	16	17	18
1 H 1.008												5 B 10.81	6 C 12.01	7 N 14.01	8 O 16.00	9 F 19.00	10 Ne 20.18
3 Li 6.941	4 Be 9.012											13 Al 26.98	14 Si 28.09	15 P 30.97	16 S 32.07	17 Cl 35.45	18 Ar 39.95
11 Na 22.99	12 Mg 24.31	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	31	32	33	34	35	36
19 K 39.10	20 Ca 40.08	21 Sc 44.96	22 Ti 47.88	23 V 50.94	24 Cr 52.00	25 Mn 54.94	26 Fe 55.85	27 Co 58.93	28 Ni 58.69	29 Cu 63.55	30 Zn 65.39	31 Ga 69.72	32 Ge 72.61	33 As 74.92	34 Se 78.96	35 Br 79.90	36 Kr 83.80
37 Rb 85.47	38 Sr 87.62	39 Y 88.91	40 Zr 91.22	41 Nb 92.91	42 Mo 95.94	43 Tc 98.91	44 Ru 101.1	45 Rh 102.9	46 Pd 106.4	47 Ag 107.9	48 Cd 112.4	49 In 114.8	50 Sn 118.7	51 Sb 121.8	52 Te 127.6	53 I 126.9	54 Xe 131.3
55 Cs 132.9	56 Ba 137.3	71 Lu 175.0	72 Hf 178.5	73 Ta 180.9	74 W 183.8	75 Re 186.2	76 Os 190.2	77 Ir 192.2	78 Pt 195.1	79 Au 197.0	80 Hg 200.6	81 Tl 204.4	82 Pb 207.2	83 Bi 209.0	84 Po 209.0	85 At 210.0	86 Rn 222.0
87 Fr 223.0	88 Ra 226.0	103 Lr 262.1	104 Rf 261.1	105 Db 262.1	106 Sg 263.1	107 Bh 264.1	108 Hs 265.1	109 Mt 268	110 Uun 269	111 Uuu 272	112 Uub 277	113 Uut 289	114 Uuq 289	115 Uup 289	116 Uuh 289	117 Uus 289	118 Uuo 293
		57 La 138.9	58 Ce 140.1	59 Pr 140.9	60 Nd 144.2	61 Pm 146.9	62 Sm 150.4	63 Eu 152.0	64 Gd 157.3	65 Tb 158.9	66 Dy 162.5	67 Ho 164.9	68 Er 167.3	69 Tm 168.9	70 Yb 173.0		
		89 Ac 227.0	90 Th 232.0	91 Pa 231.0	92 U 238.0	93 Np 237.0	94 Pu 244.1	95 Am 243.1	96 Cm 247.1	97 Bk 247.1	98 Cf 251.1	99 Es 252.0	100 Fm 257.1	101 Md 258.1	102 No 259.1		

(c)1998  
KramerPaul

原子番号(Atomic number)が陽子(プラスの電荷を持つ)の数、  
原子量(Atomic weight)が原子の重さ(陽子+中性子の数)を表す。

宇宙ができた時は、水素(H)とヘリウム(He)とほんのちょっとのリチウム(Li)しかなかった

# 星の誕生

分子雲(銀河の中の、冷たくて濃いガス)が  
自分自身の重力で収縮を始める



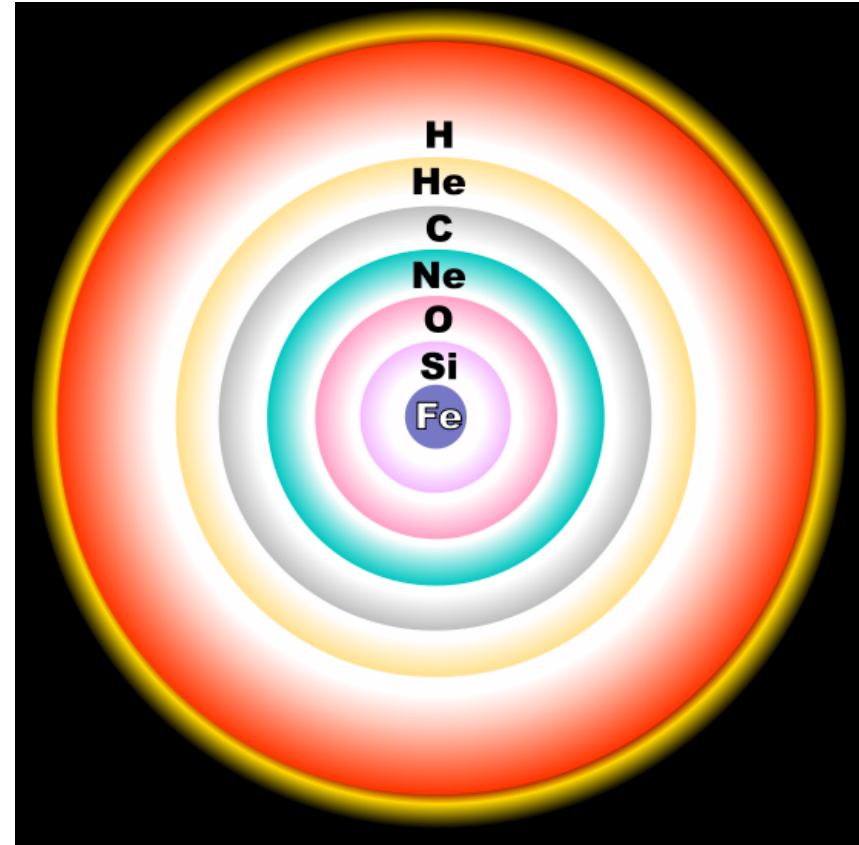
- 収縮して明るく輝きだす(核融合はまだ)
- 周囲にガスの塵の円盤ができ、その中から惑星が生まれる



この後中心で水素の核融合が始まると、  
主系列星になる。

# 重い元素は全て星の中でできた

- 宇宙で最初の星は水素とヘリウム(と少しだけリチウム)のみ
- 星の中で核融合が進み、炭素(C)、酸素(O)などの元素が合成される
- 鉄より重い元素(金、銀、プラチナ、鉛など)は、超新星爆発の時にできる

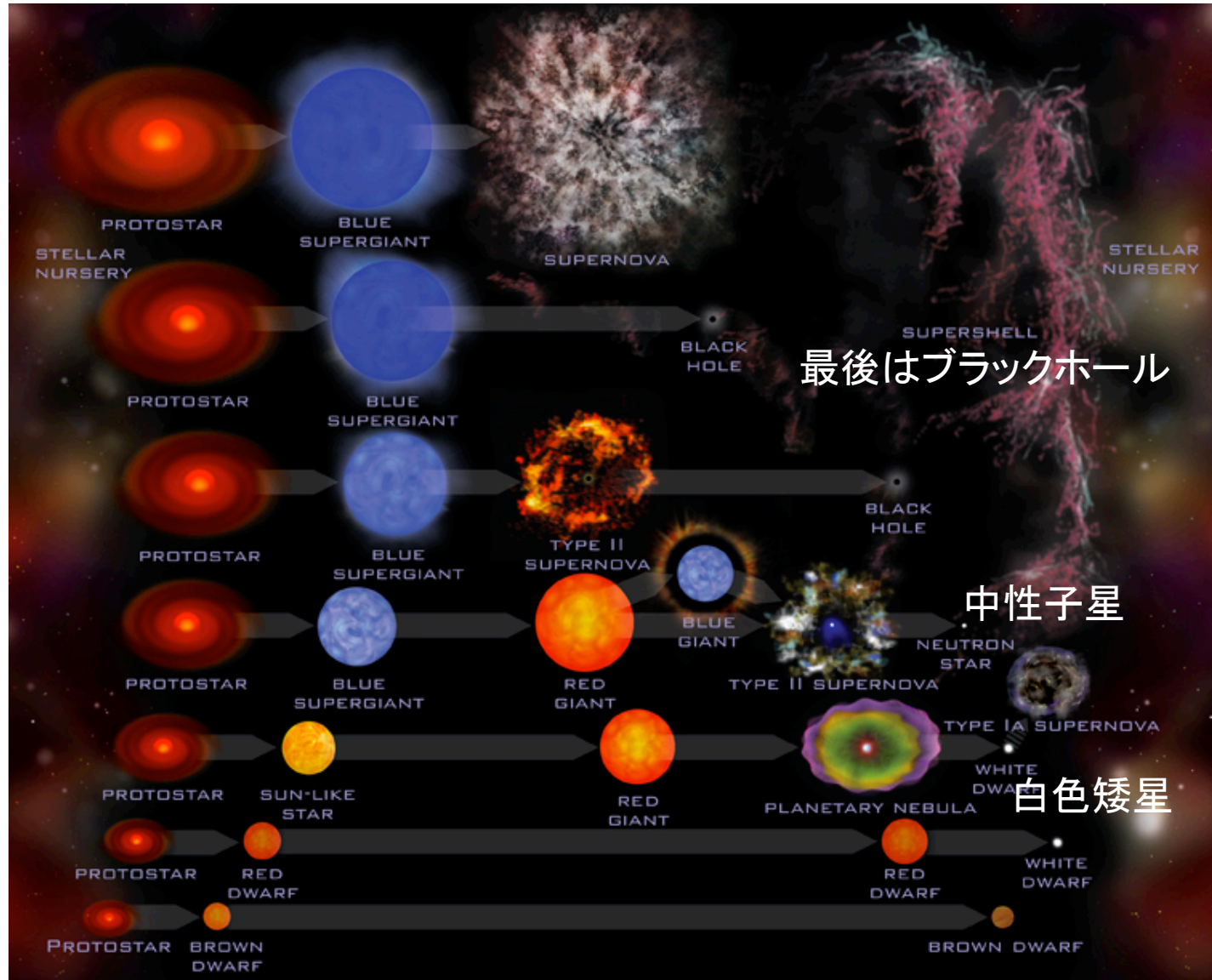




# 星の一生は体重で決まる

重い星  
(寿命～数百万年)

太陽くらい  
(寿命～百億年)

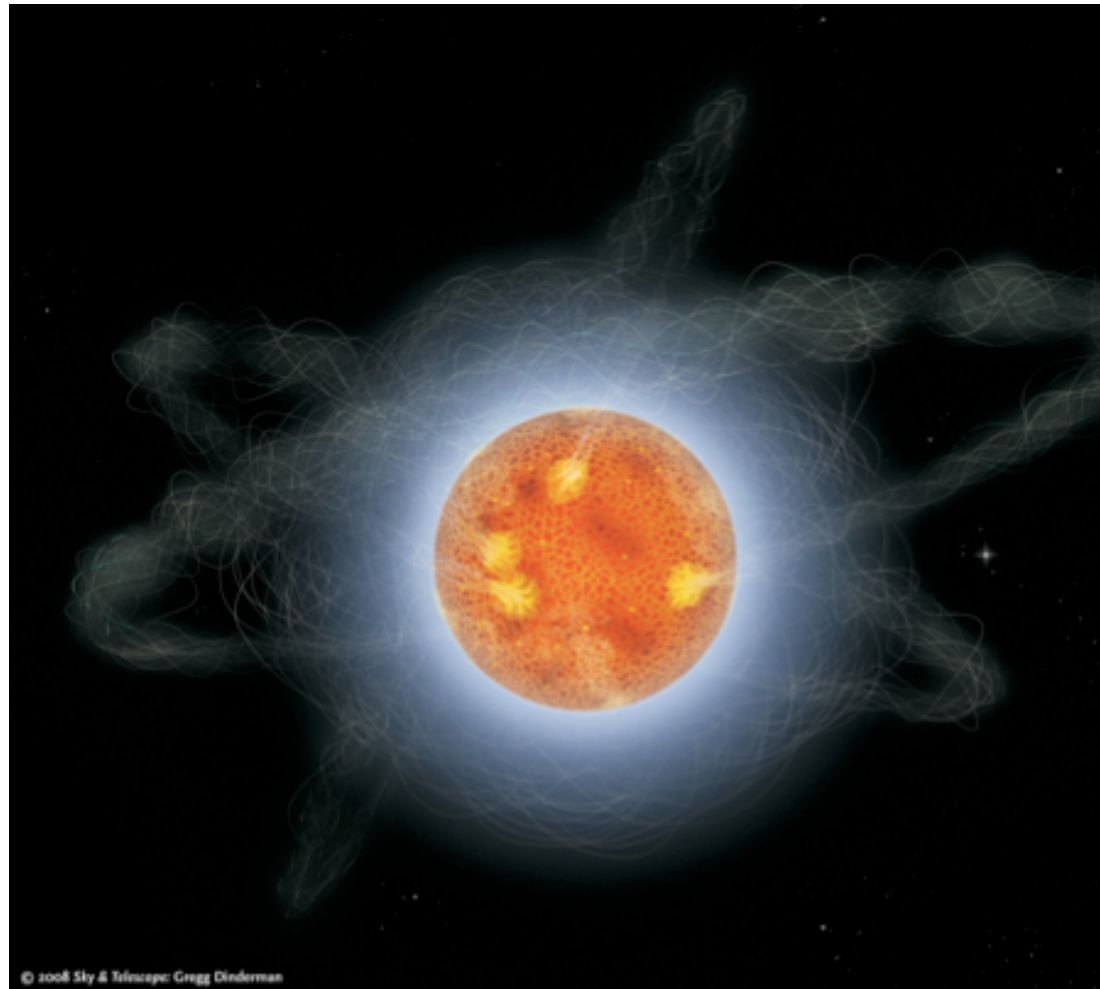


# 中性子星

質量が太陽の数倍程度の星が最後に超新星爆発を起こし、後に残る。

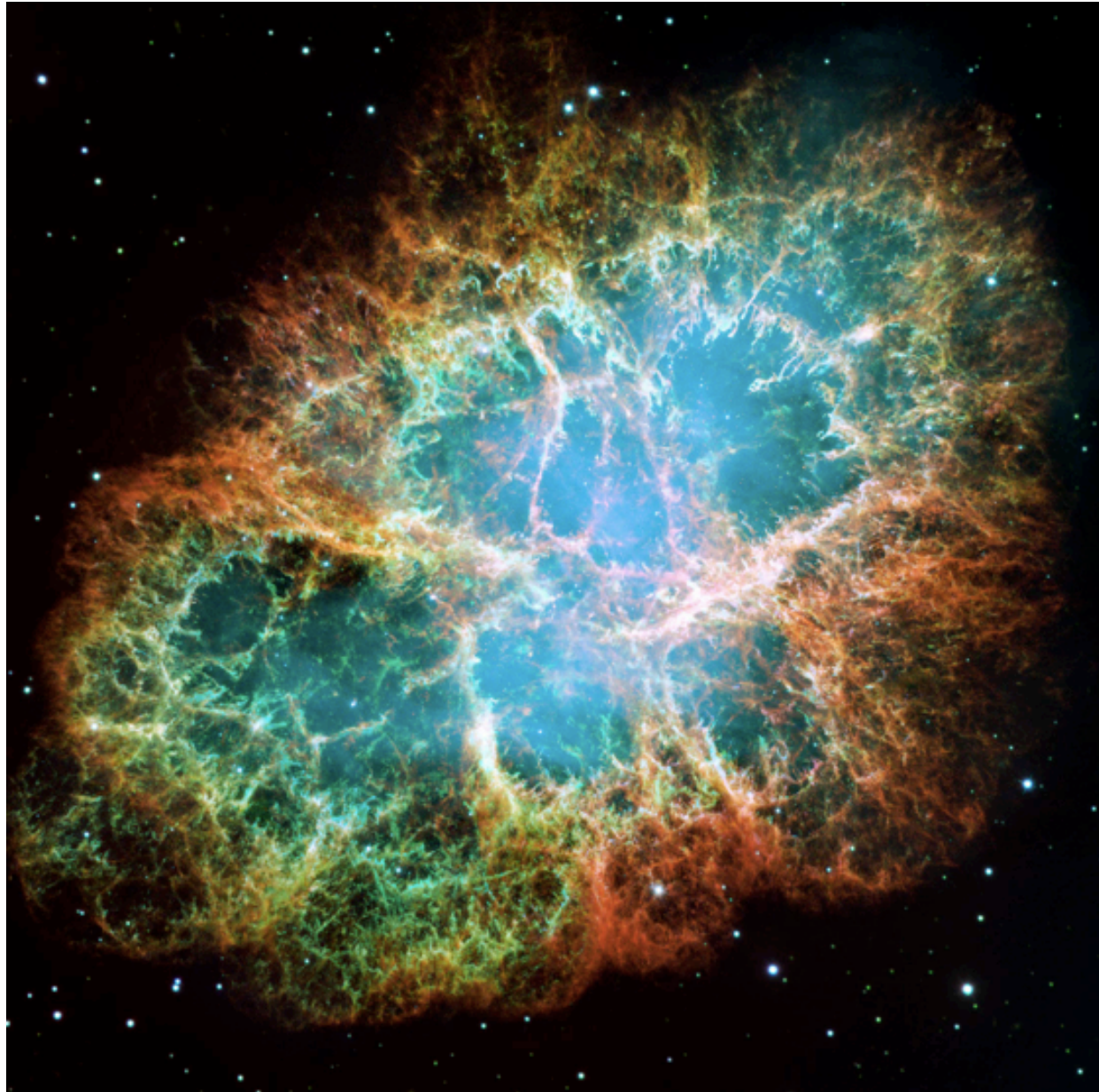
全て中性子でできた、巨大な原子核。半径10km程度。

重力むちゃくちゃ強い。人が中性子星の上に降り立ったら、重力で立っておられず、人の形もしておられず、かつその人を構成していた粒子が薄い膜になって星の表面を覆う(たぶん)



想像図(NASA)

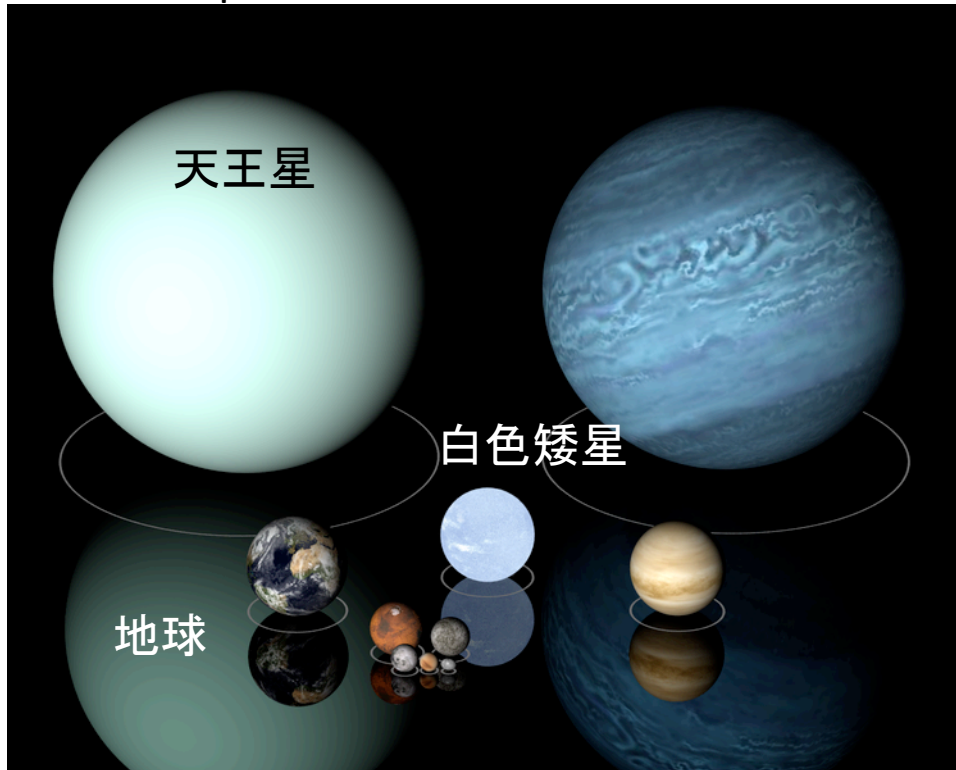




超新星残骸(カニ星雲) 中心付近に中性子星がある。

# 白色矮星(はくしょくわいせい)

From wikipedia commons



すざくが発見した白色矮星  
(JAXA/ISAS)

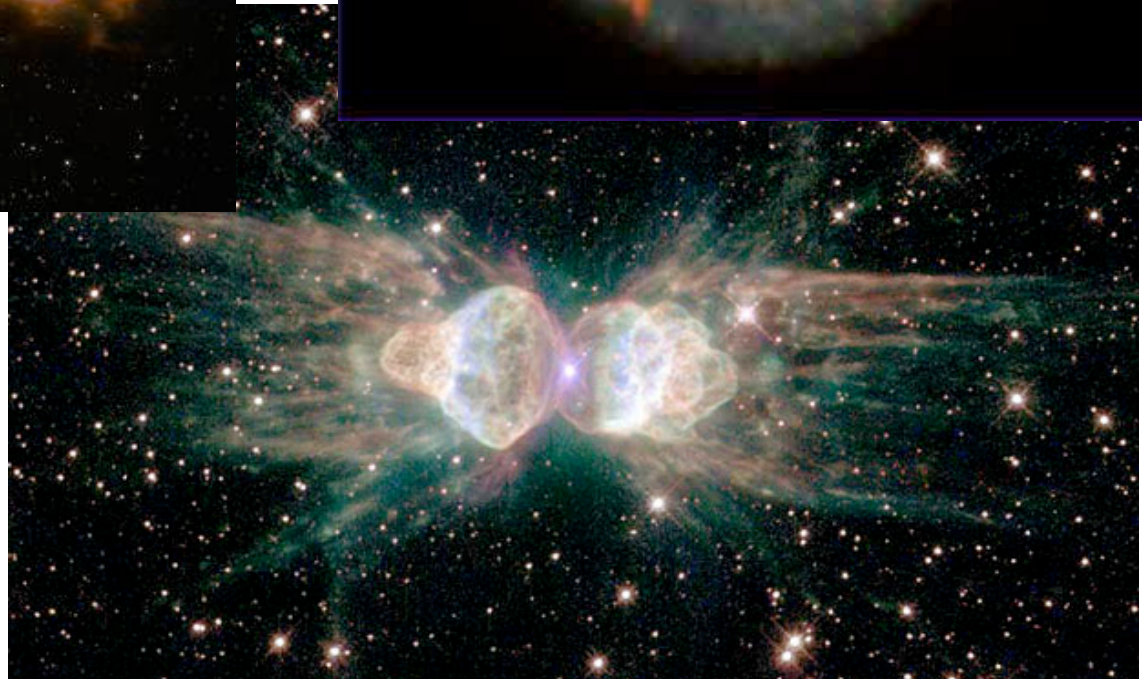
太陽程度の質量の星が寿命を迎えると、星の外層が流れでて惑星状星雲を作り、最後に小さくて密度の高い星が残る。=>白色矮星



# 惑星状星雲

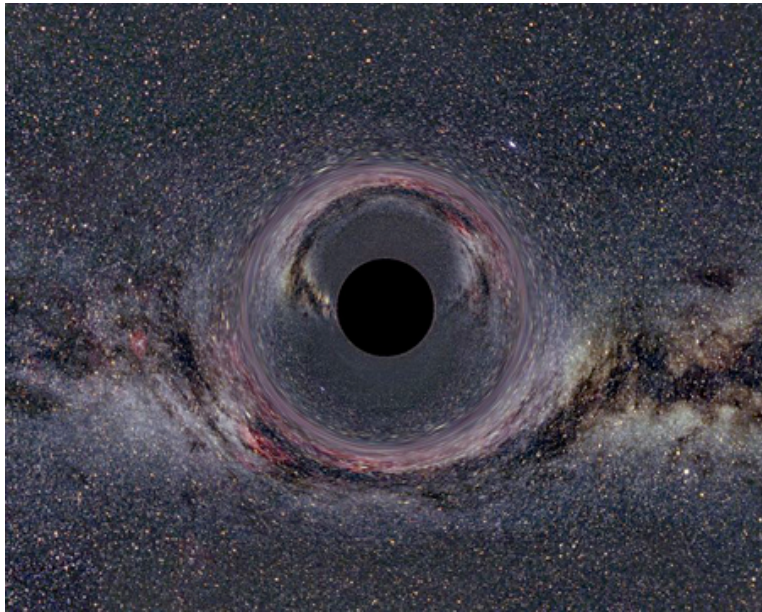


寿命を迎えつつある星から  
ガスが流れ出したもの。  
実は「惑星」とは関係ない。



# ブラックホール

- 重力が強すぎて光すらも出てこられなくなった領域。
- 太陽の8倍以上重い星が死んだ後にできる。
- 銀河中心にも巨大なブラックホールがある



天の川(銀河系の中心方向)の手前に  
ブラックホールを「置いて見た」ら、周囲の  
時空が歪んでこんな風に見えるはず、という図



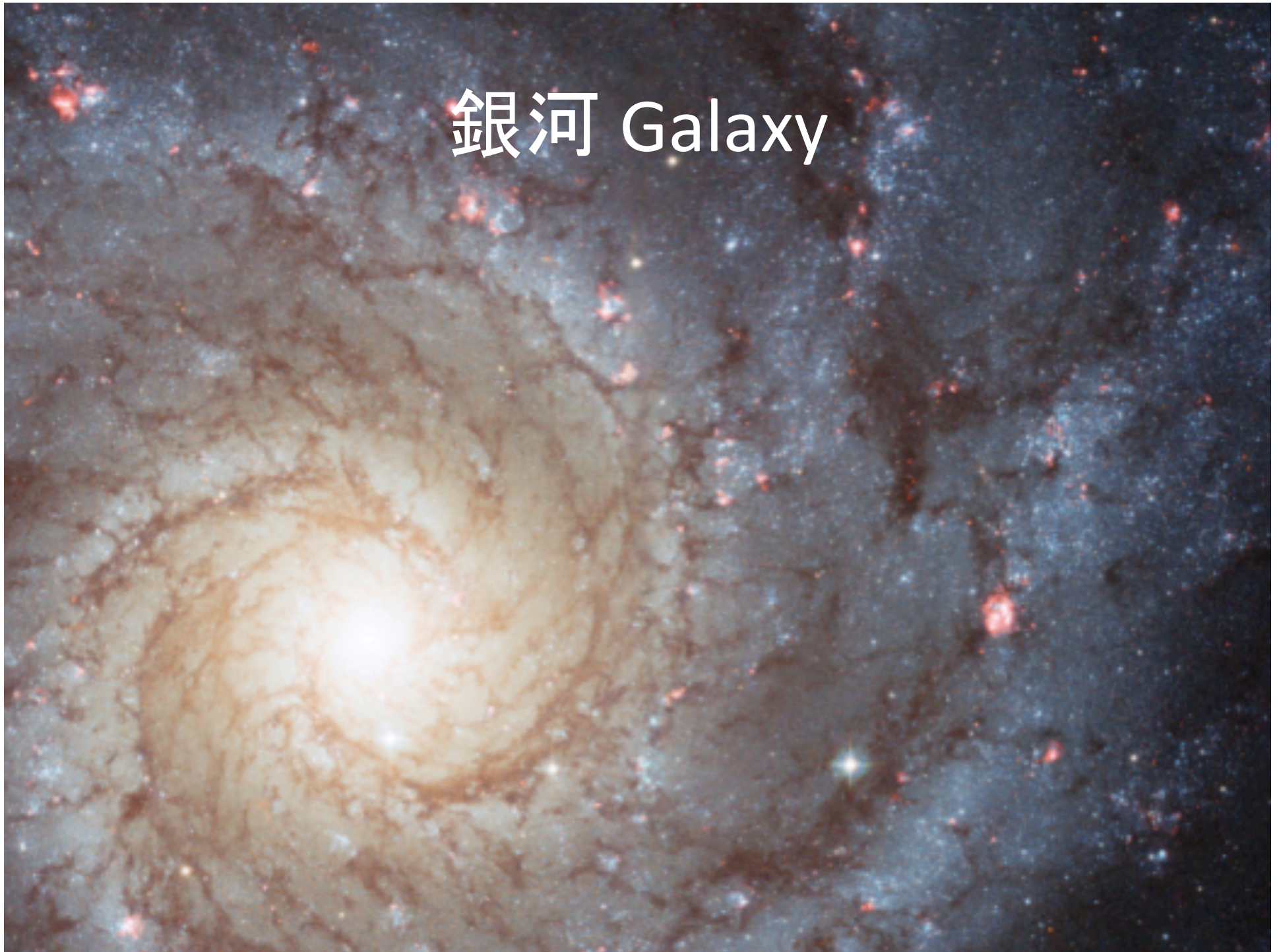
連星(お互いの周りを回る星)の一つが  
ブラックホールになると、相方の星からガスが  
ブラックホールに落ち込み、その時解放される  
エネルギーがX線などを出して観測される。

# 太陽の将来

- 今は寿命のちょうど真ん中あたり(46億歳)
- あと50億年くらいはほとんど変化なし
  - ただし、少しずつ明るくなる
- 約50億年後、中心部分の水素の核融合が終わり、急速に膨らんで赤色巨星になる
  - この時点で地球は飲み込まれる
- やがて外層が流れ出て惑星状星雲を作り、中心には白色矮星が残る



# 銀河 Galaxy



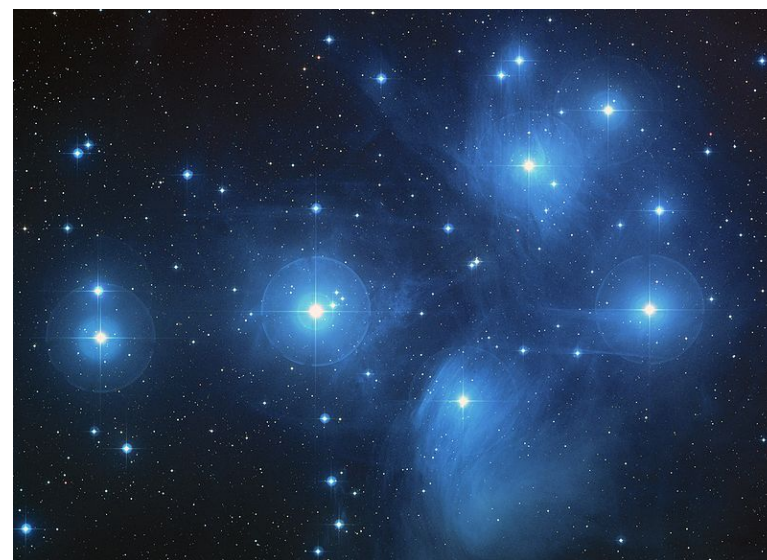


# 星の集団

銀河 約1000億個の星の集団



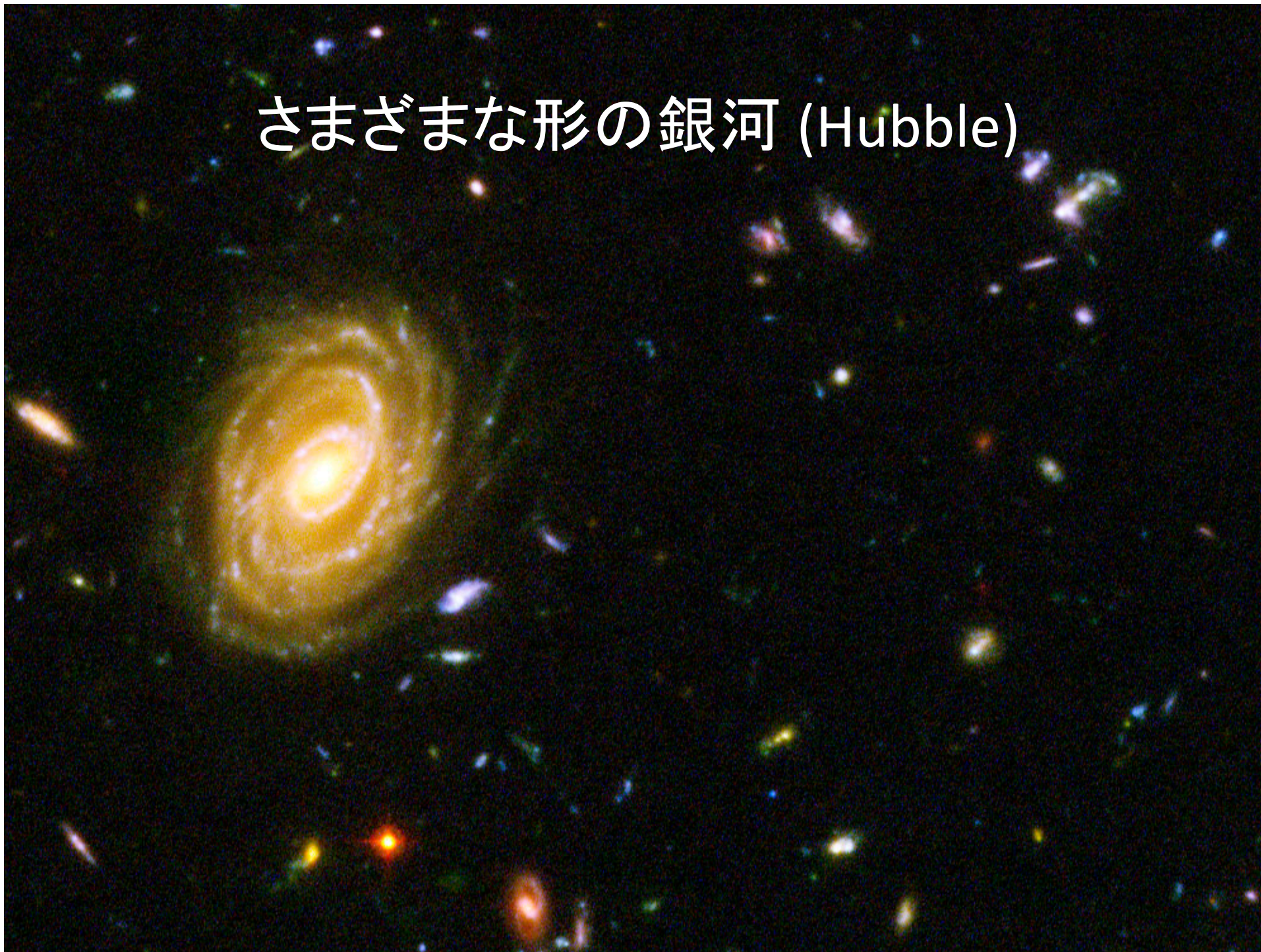
球状星団(数10万個の星の集団)



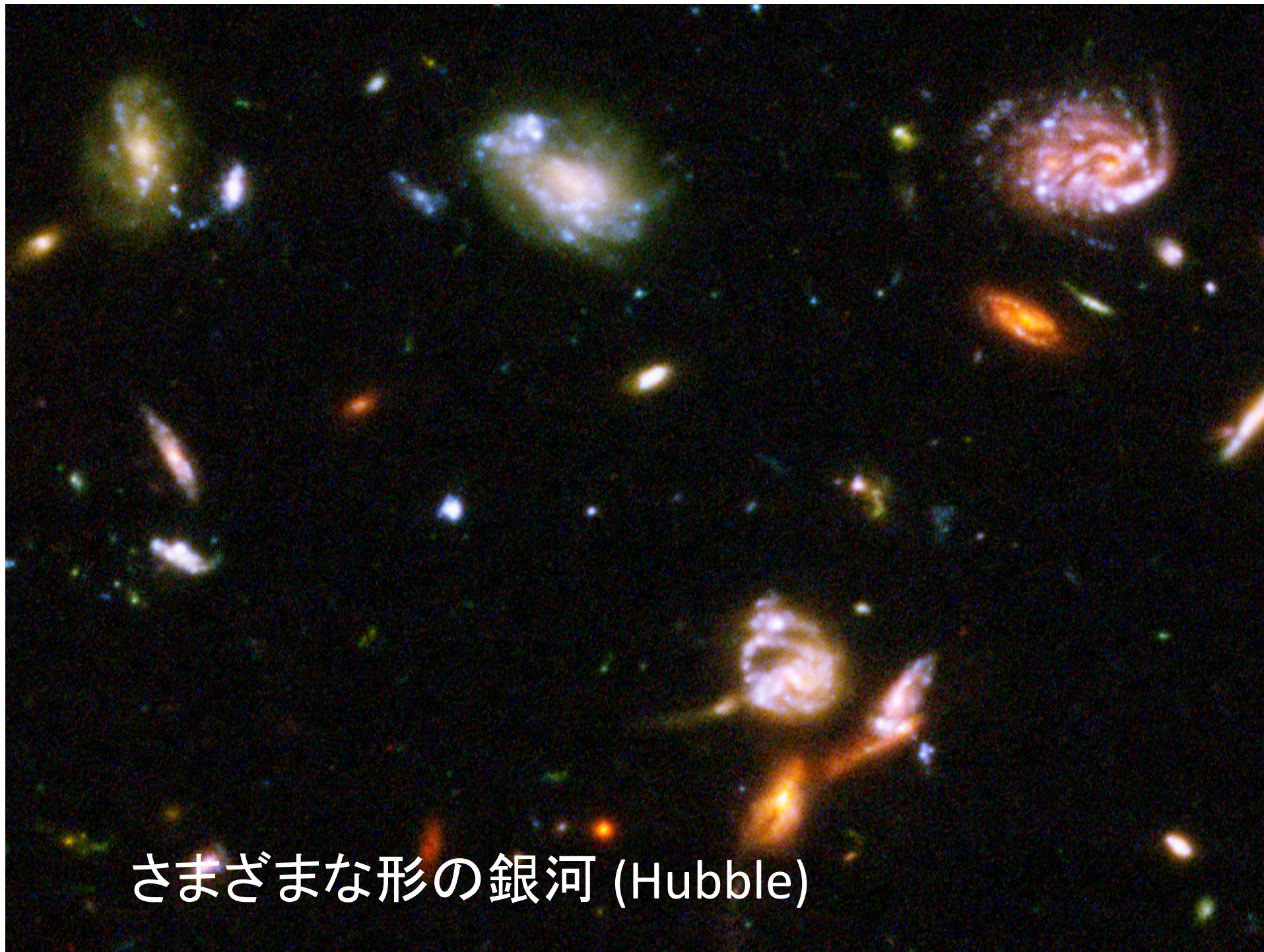
散開星団(数100程度の星の集団)



# さまざまな形の銀河 (Hubble)







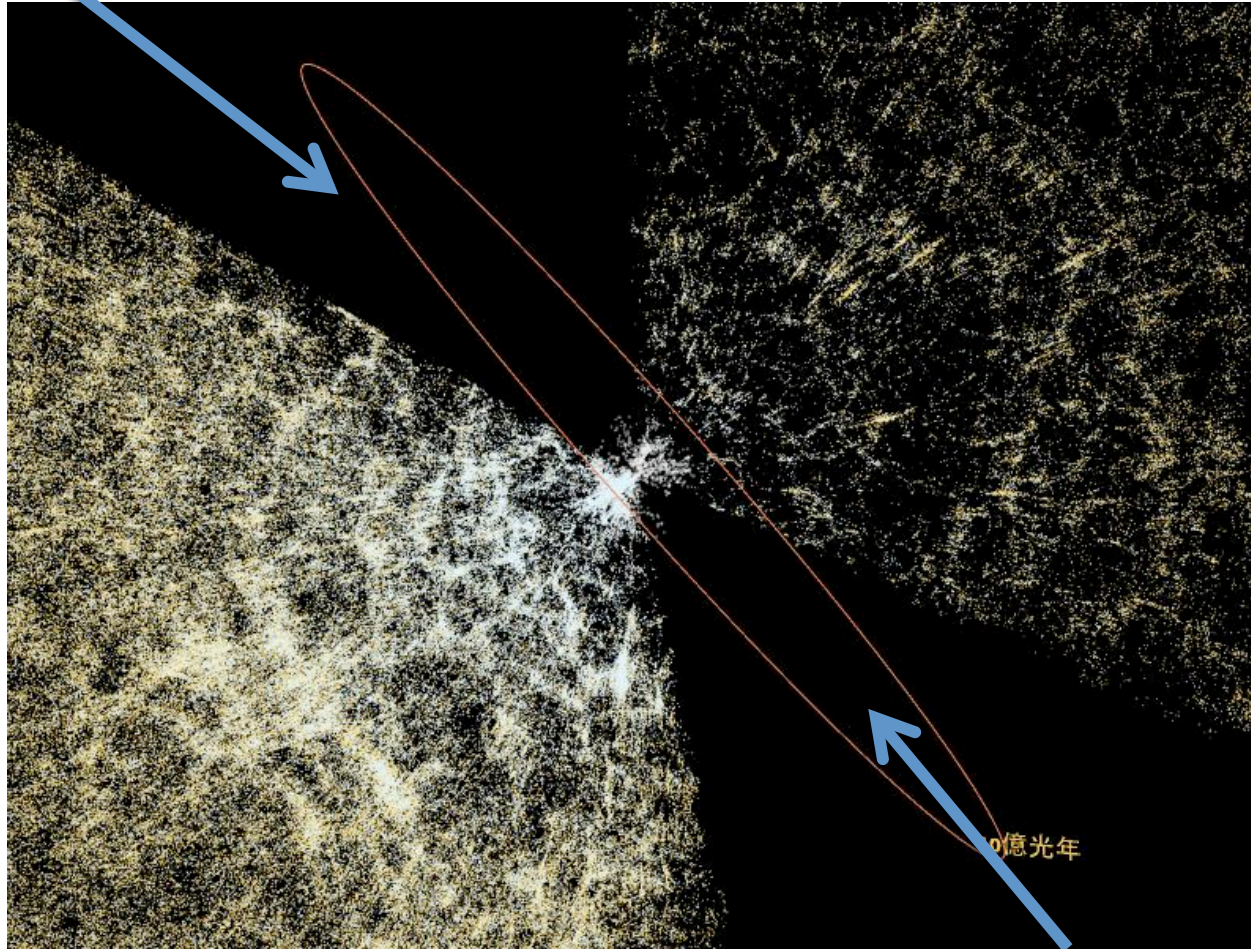
さまざまな形の銀河 (Hubble)



# 宇宙の大規模構造

銀河は宇宙に一様に分布しているのではなく、まるで泡のように、銀河が集中している場所と全く銀河がない場所がある

ココと



ココは「まだ人間が観測してない」のであって銀河がないわけではない

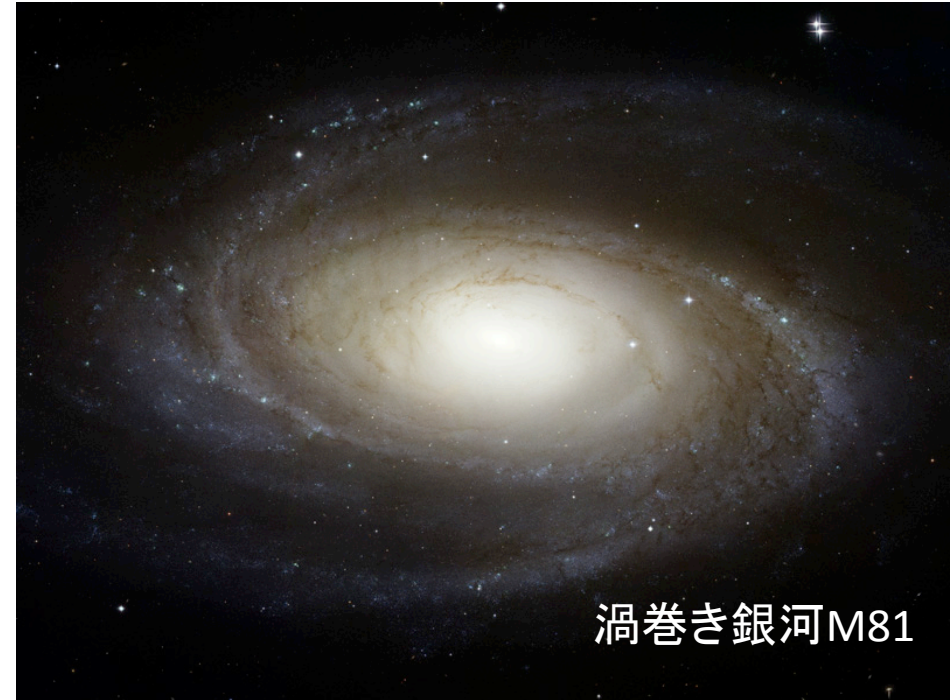




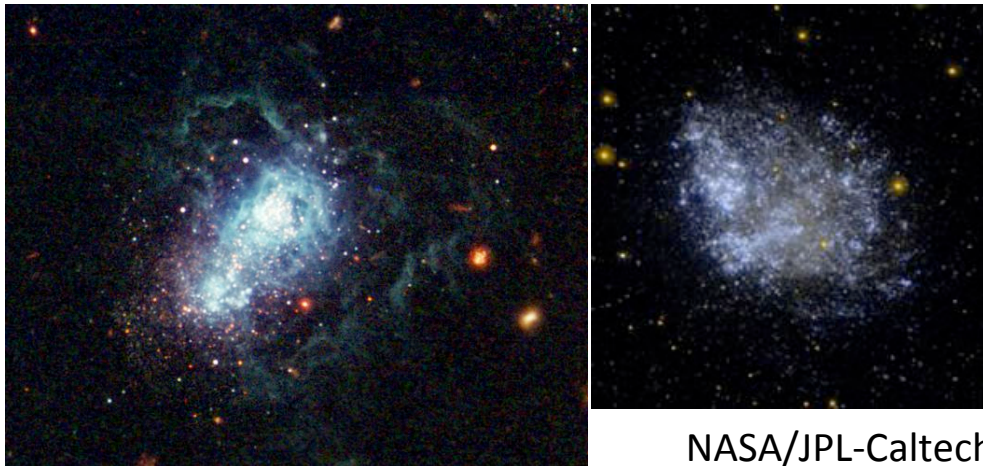
# 典型的な銀河の形態



NASA, ESA, and the Hubble Heritage Team



不規則銀河



NASA/JPL-Caltech/SSC

銀河系はこのタイプ

# ウルトラマンの故郷について

- ウィキペディアより
  - M78星雲がウルトラマンの故郷であることは、ウルトラマン第1話においてウルトラマン自らが語っている。当初は「M87星雲」という設定だったが、脚本印刷時に「M78星雲」と誤植されてそれがそのまま放映され、現在に至っている
- 星雲とは、(肉眼や解像度の低い望遠鏡だと)ぼんやりと広がりを持って見える天体のこと。
  - 正体は銀河(星の集まり)、星団(小規模な星の集まり)、超新星残骸(星が死ぬ時の大爆発のなごり)、寿命が近い星から流れ出たガスなど。
  - 昔は区別がついていなかったなので、全て星雲(nebula)と呼んだ
- Mナントカというのは、18世紀の天文学者、シャルル・メシエが作成した星雲のカタログに載っている天体のこと。M1からM110までである。実際の銀河はずっとたくさんある。
  - <http://ja.wikipedia.org/wiki/メシエ天体の一覧>



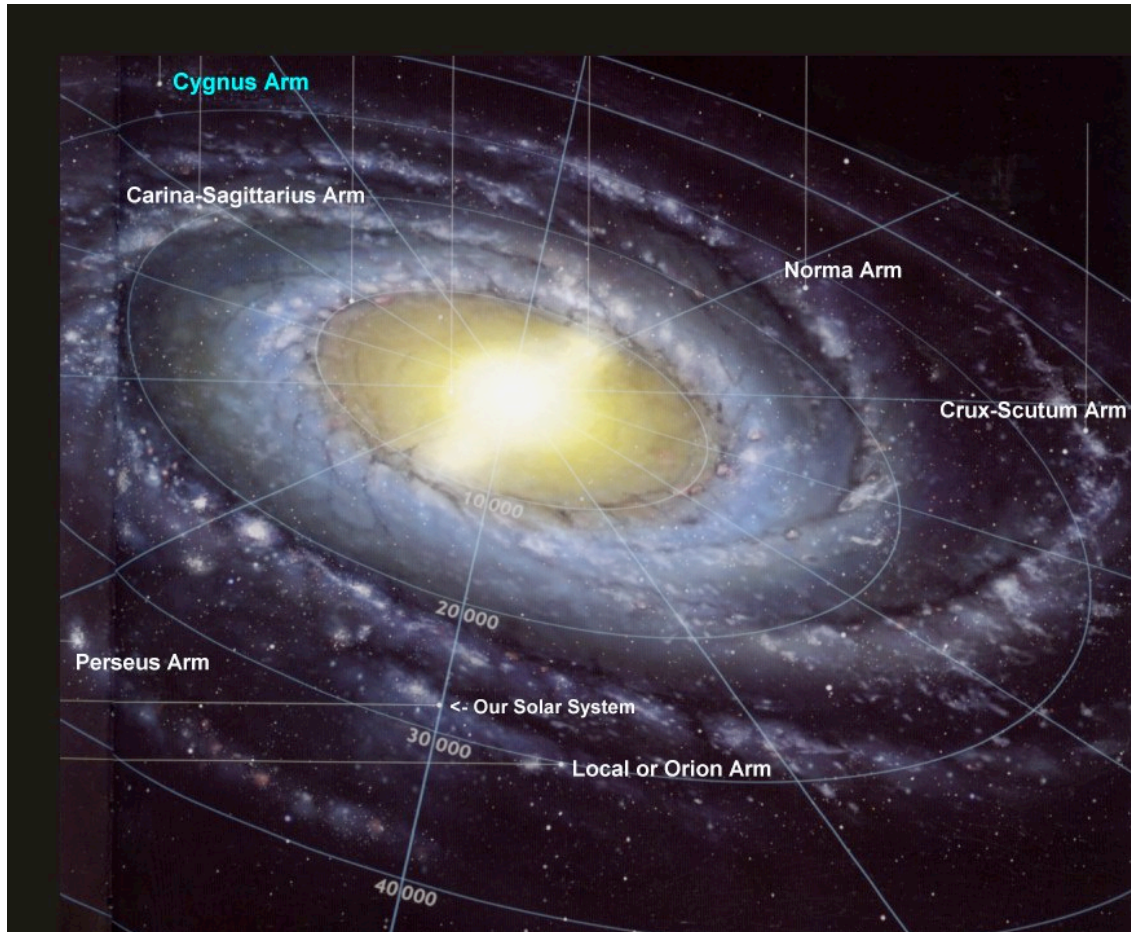


M78 ... 実は反射星雲。濃いガスが近くの星の光を反射している。ただの濃いガスの雲なので、もちろん住めない。オリオン座の近くであり、1600光年ほど離れている。

M87 ... 楕円銀河。恐らく中心に巨大ブラックホールがあり、そこからジェット(高速で飛び出すガスの流れ)が噴出しているのを見つかっている。



# 銀河系の中の星の運動



銀河の腕=星の多い場所はずっと同じ場所にあるわけではない。

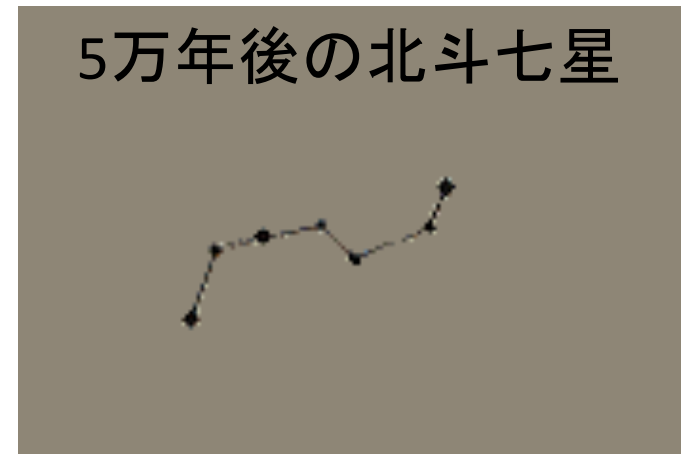
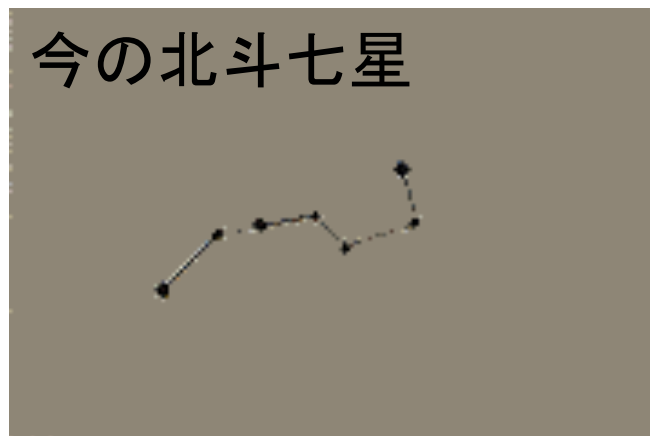
腕は一種の波動現象

個々の星(太陽など)は、数億年ごとに腕の中に出たり入ったりする。

個々の星もお互いに動いている

# 星は動いている

個々の星が相対的に動いている=>星座の形も変わる



ベガ(織女星)とアルタイル(彦星)の距離は現在15.3光年。7万年後に15.0光年まで近づきその後は永遠に離れてゆく。



# 大昔の夜空はこんなだった？

太陽系は他の大質量星と一緒に集団で生まれた可能性があるという最近の研究がある(Zwart et al. ApJL 2009)

地球が生まれてすぐの星空は、今よりずっと明るい星が空一杯に輝いていたかも。

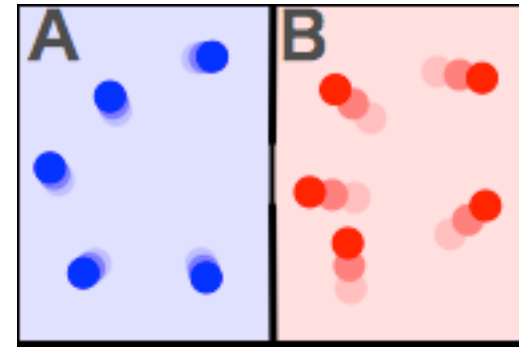


From Scientific American



# 問題1の答え

- 温度＝物質を構成している分子の平均の運動エネルギー（速さ）
- 温度が高い物質(A)は、分子が速く動き回っている。温度が低い物質(B)は、分子がゆっくり動いている
- エネルギーの高い(=速い)粒子が当たると痛い=熱い



サウナとお湯の違いは、密度＝分子の数の違い。

サウナは1日1発ビンタされて、お湯は1秒間に100発ビンタされるようなもの(\*)。1発で受けるダメージは一緒だが、数が全然違う。

\*実際には、空気と水の密度差は1000倍くらい。

## 問題2の答え

- 銀河一つの中に星は大体1000000000000個( $=10^{11}$ 個)
- 我々が見ることのできる宇宙全体に銀河は大体10000000000000個( $=10^{11}$ 個)から1000000000000000個( $10^{12}$ 個)
- 従って星の数は10000000000000000000000000000000個くらい(ゼロの数で $\pm 1$ 個位の不確定性はある)
- 水を一口飲むと、その中に入っている水分子の数は宇宙の星の数と大体同じくらい。