

ELCAS

— X線天文学 —

比例計数管を作ってみよう

2012/02/04, 02/18 京都大学

鶴 剛 (つる たけし)

信川 正順 (のぶかわ まさよし)

中島 真也 (なかしま しんや)

河畠 久美子 (かわばた くみこ)

京都大学理学部物理第二教室・宇宙線研究室

<http://www-cr.scphys.kyoto-u.ac.jp>

簡単な自己紹介

- 鶴 剛
- 理学部物理第二教室宇宙線研究室
- 専門：X線天文学
 - X線天文衛星を用いた宇宙の研究
 - X線の観測装置の開発

<http://www-cr.scphys.kyoto-u.ac.jp>

話の内容

X線とは

X線で宇宙を観測するには

元素の起源 - 超新星爆発・超新星残骸 -

X線とは

物の「見え方」が違う

人の手の場合



赤外線:
温度



可視光:
表面



X線:
中身

X線って何だろう？

1. レントゲン

高い透過力



深く・遠くまで見える

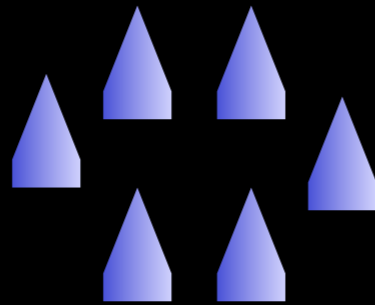


暗黒星雲の中
遠い宇宙の果て

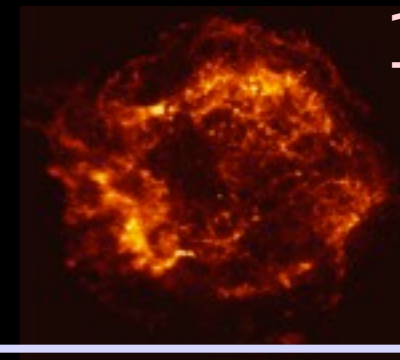
2. 光と同じ、でも波長が短い



5000度



10000度



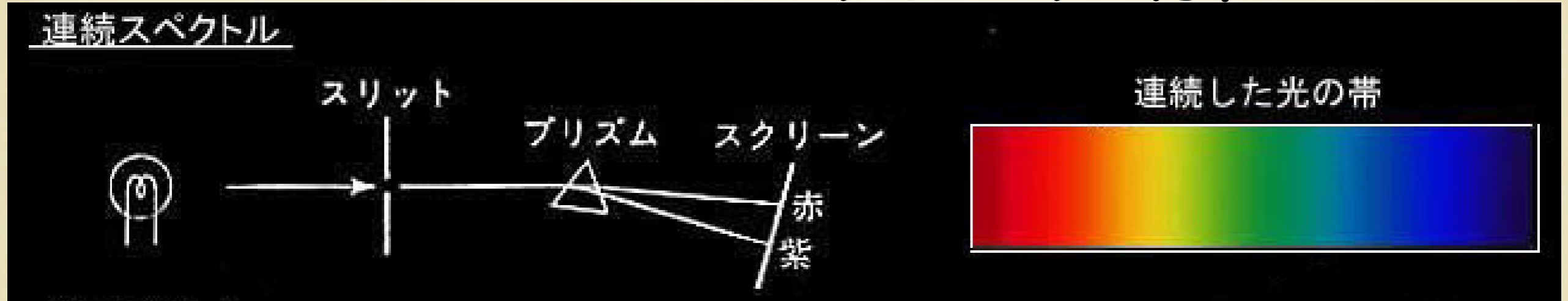
1億度

超高温・高エネルギーの世界

3. 元素分析と物質の状態

宇宙の核心を見ることが出来る！

プリズムで光を分解



温度が低いランプ
赤色の成分が
多くなる



青色の成分が
多くなる

温度が高いランプ

電波

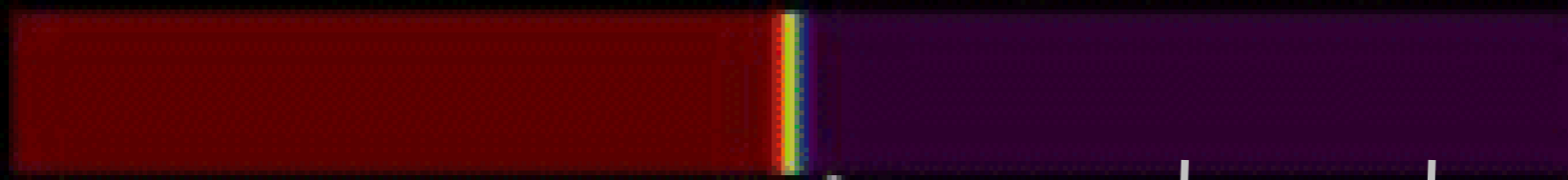
赤外線

可視光線

紫外線

X線

γ 線



1

100万分の1

6000

5000

4000

波長(オングストローム)

温度は波長に反比例

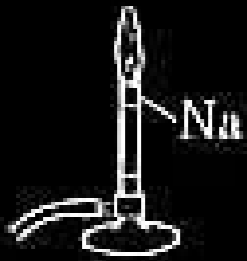
可視光：1000度～1万度

X線：1000～10万倍

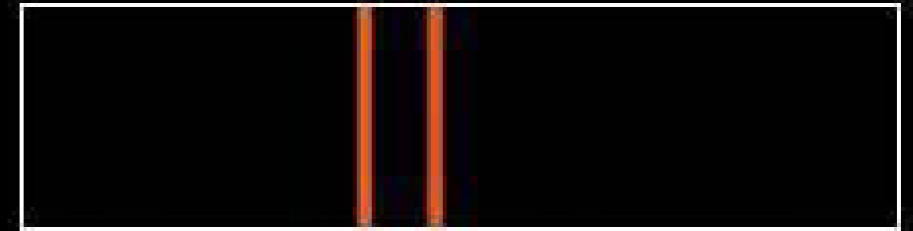
X線：100万度～10億度

プリズムで光を分解

線スペクトル



輝線



5890
5896

トンネルの中：ナトリウム灯



蛍光灯：水銀

5770
5791

5461

4348
4358

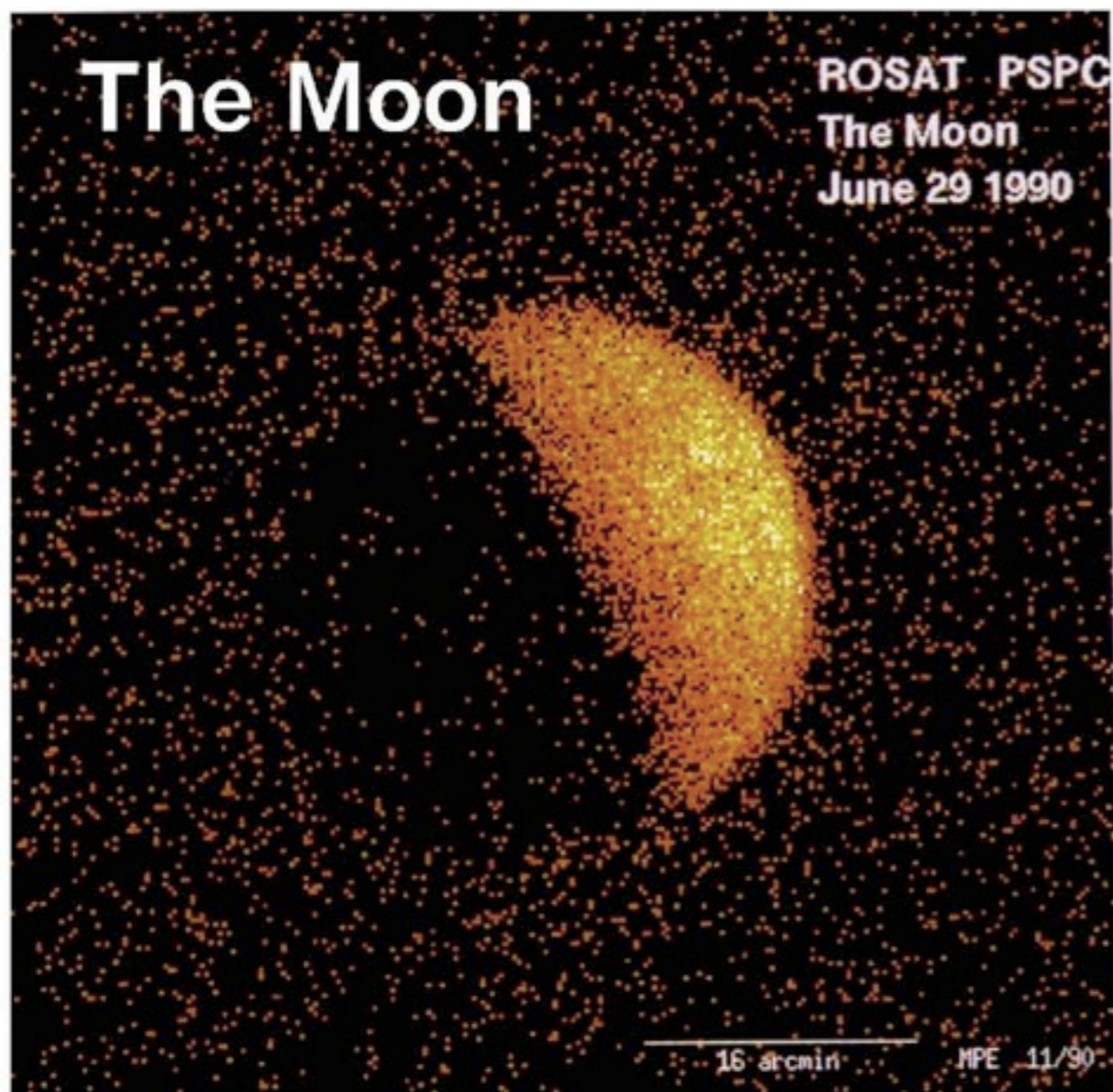
4047
4078

3650

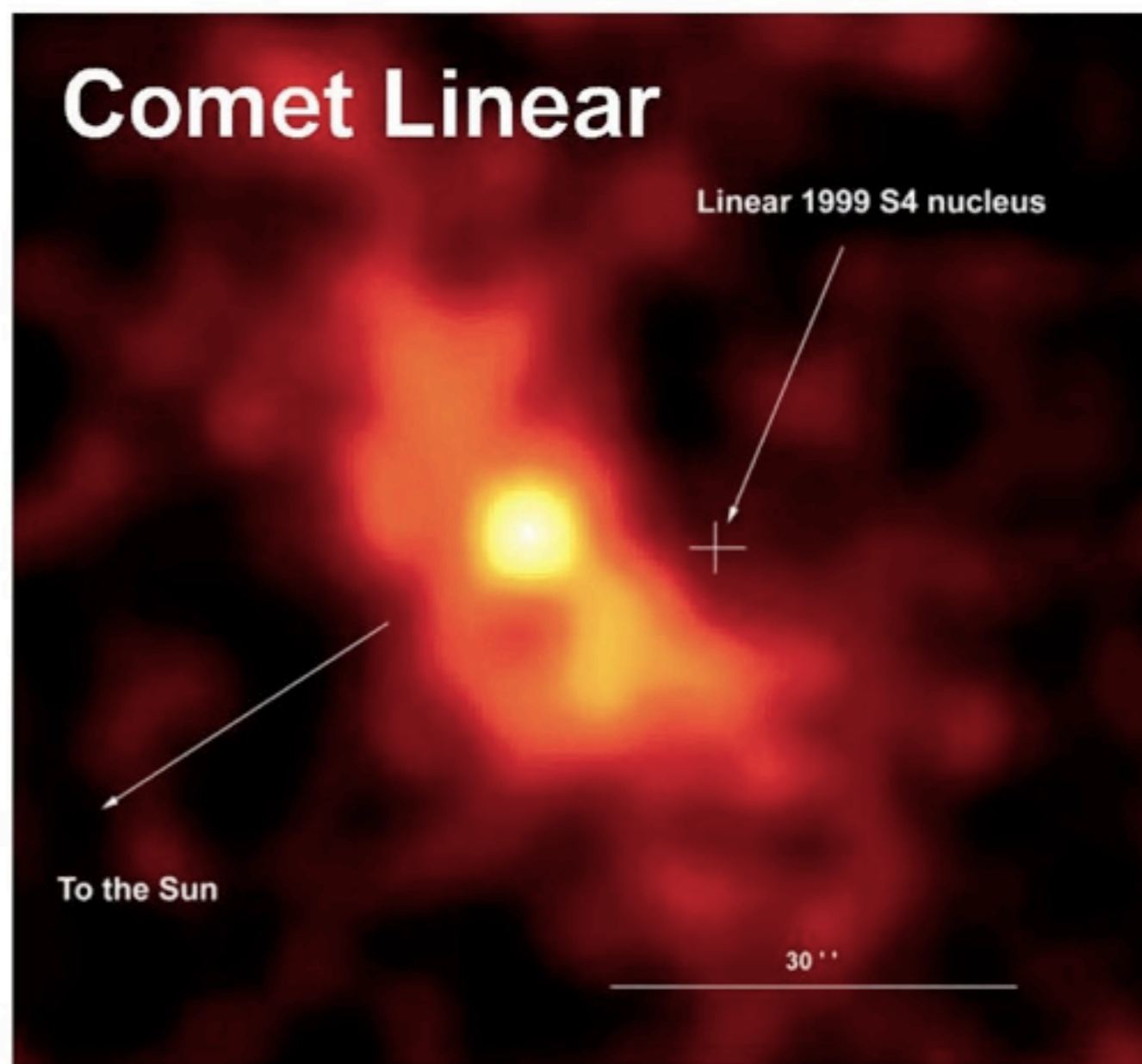


光とX線で見える天体

月



彗星



太陽



可視光:
一様な光球
(6000度)



X線: コロナ,
激動の
高エネルギー現象

銀河団高温ガス

可視光画像




高温ガス質量
= 銀河の合計 × 数倍

宇宙の「普通の物質」
大半は高温ガス

重力的に閉じ込める
ために必要な質量
= 見えている質量 × 数倍

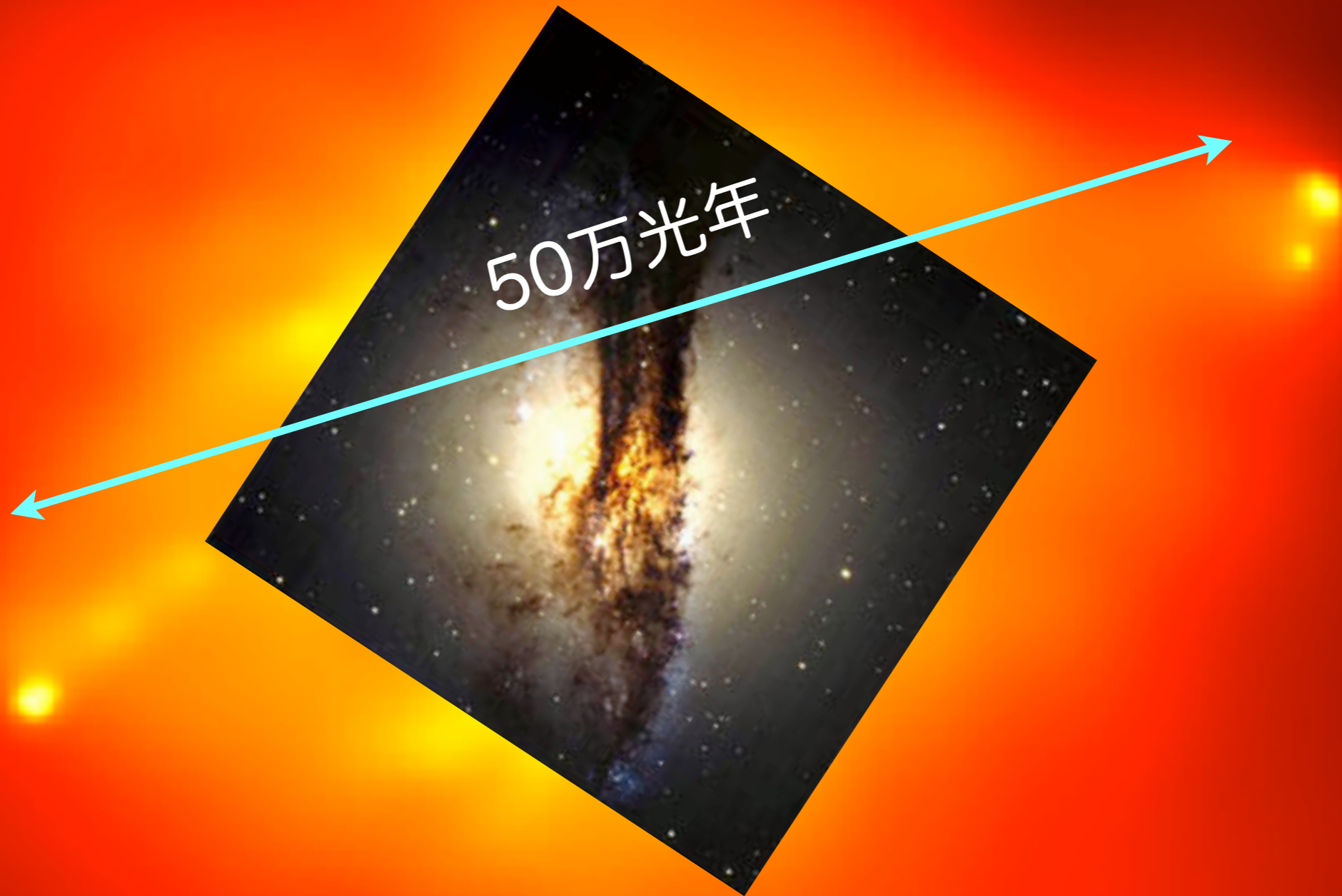
約100万光年



⇒ 暗黒物質

白鳥座A

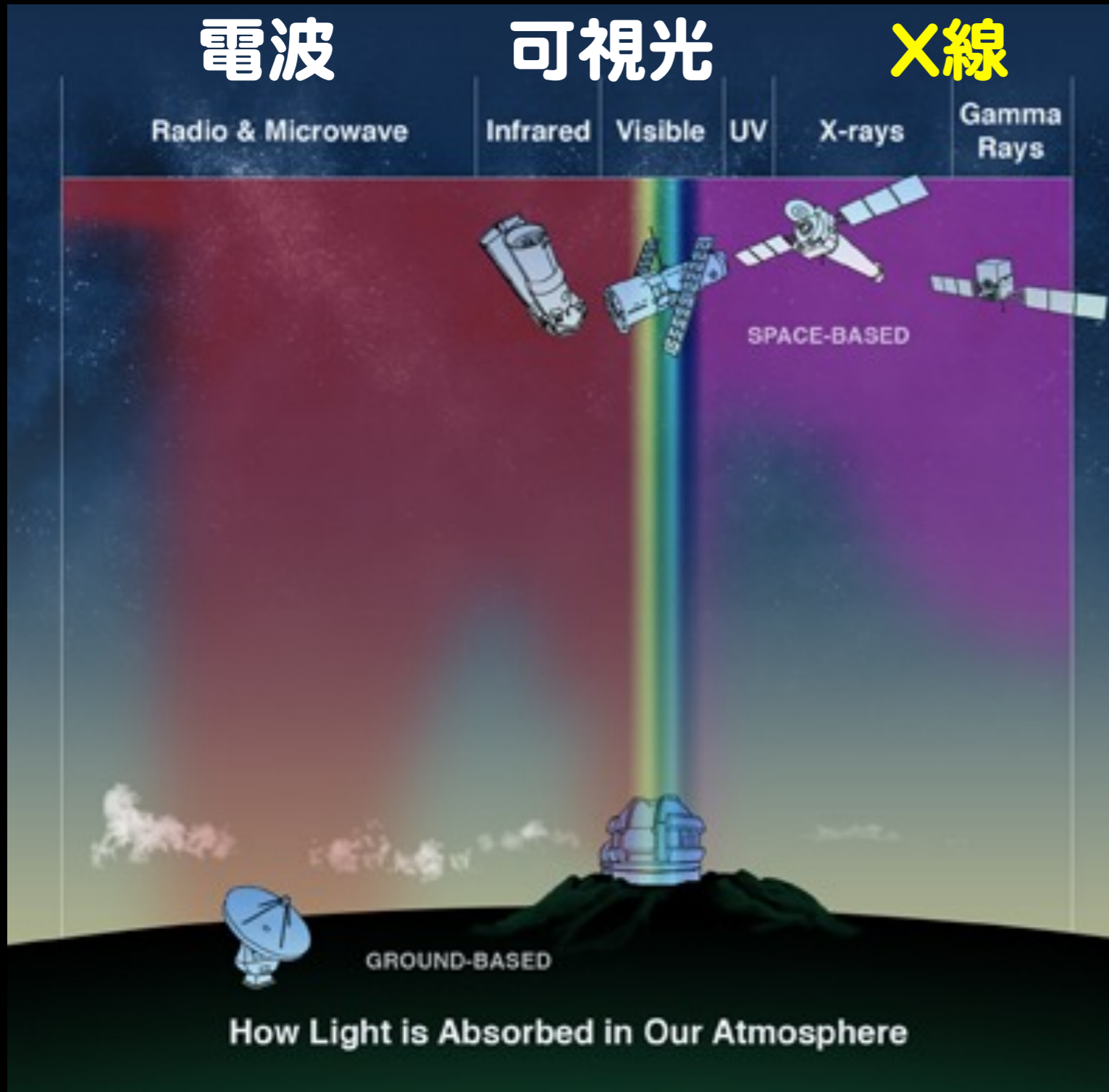
- 太陽質量の $10^6 \sim 10^9$ 倍
- 銀河を地球の大きさに例えると、
 - ブラックホールは $1\text{mm} \sim 1\text{m}$



X線

X線で宇宙を観測するには

X線天文の始まり：衛星で宇宙に行く！



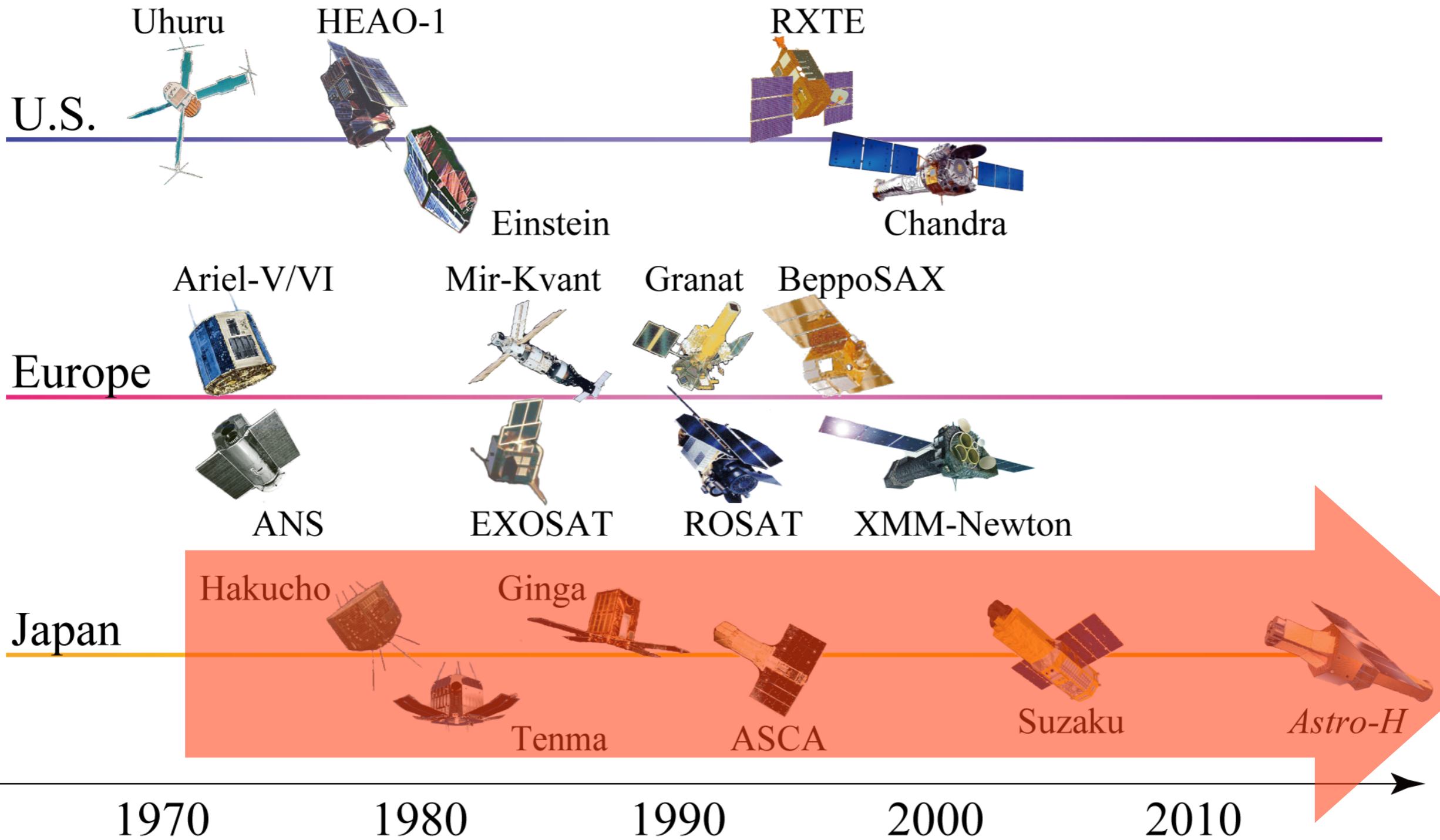
宇宙でしかX線観測できない

最初のX線衛星 「Uhuru」 1958



ウフルによって識別されたX線源は339個。これらのX線源は、中性子星(またはブラックホール)と低質量星の連星系、超新星残骸、セイファート銀河、銀河団であることが明らかになっている。銀河団の中の「熱いガス」からX線が放出されているのを発見。

X線天文：世界との競争



CORSA-b 「はくちょう」

M-3C-4 1979/2/21

96kg

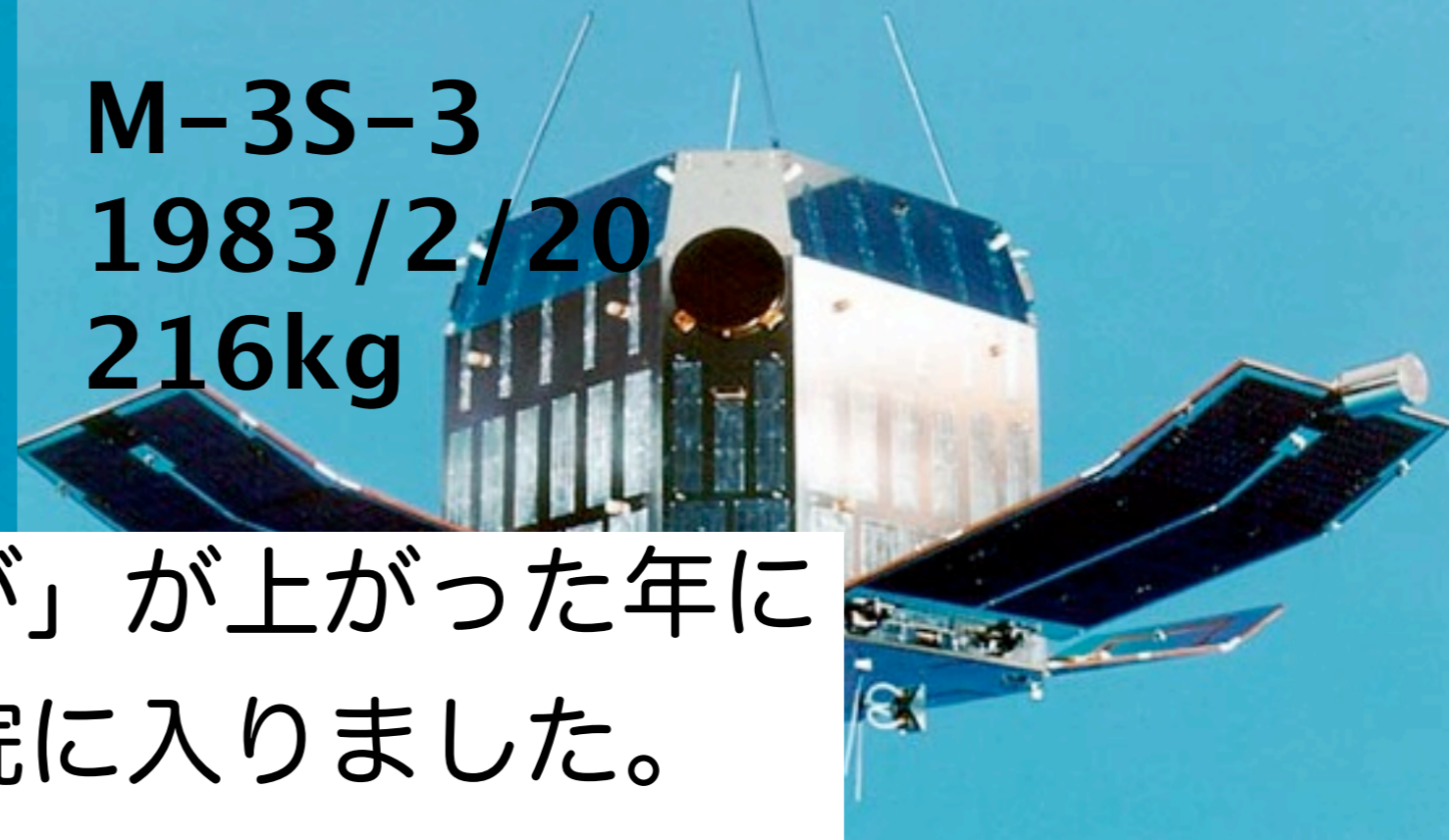


Astro-B 「てんま」

M-3S-3

1983/2/20

216kg



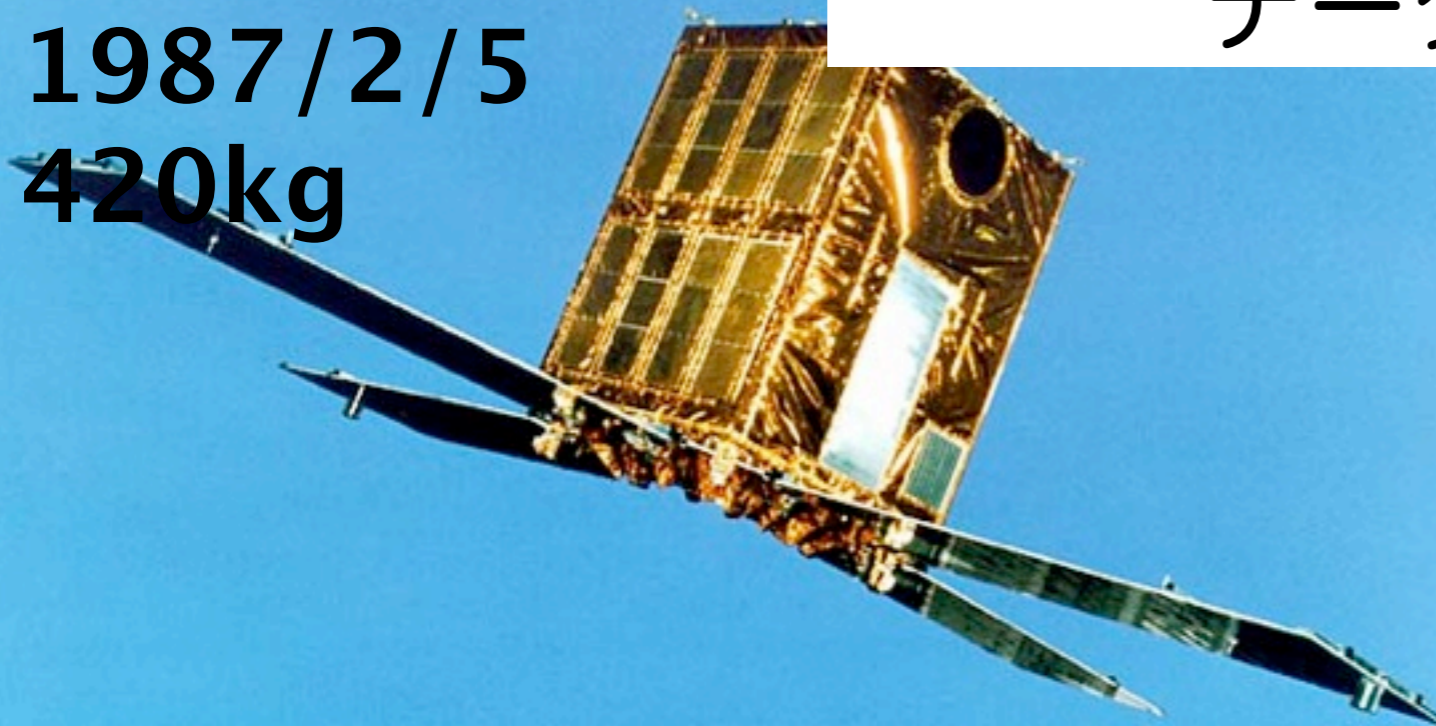
「ぎんが」が上がった年に
大学院に入りました。

Astro-C 「ぎんが」

M-3SII-3

1987/2/5

420kg

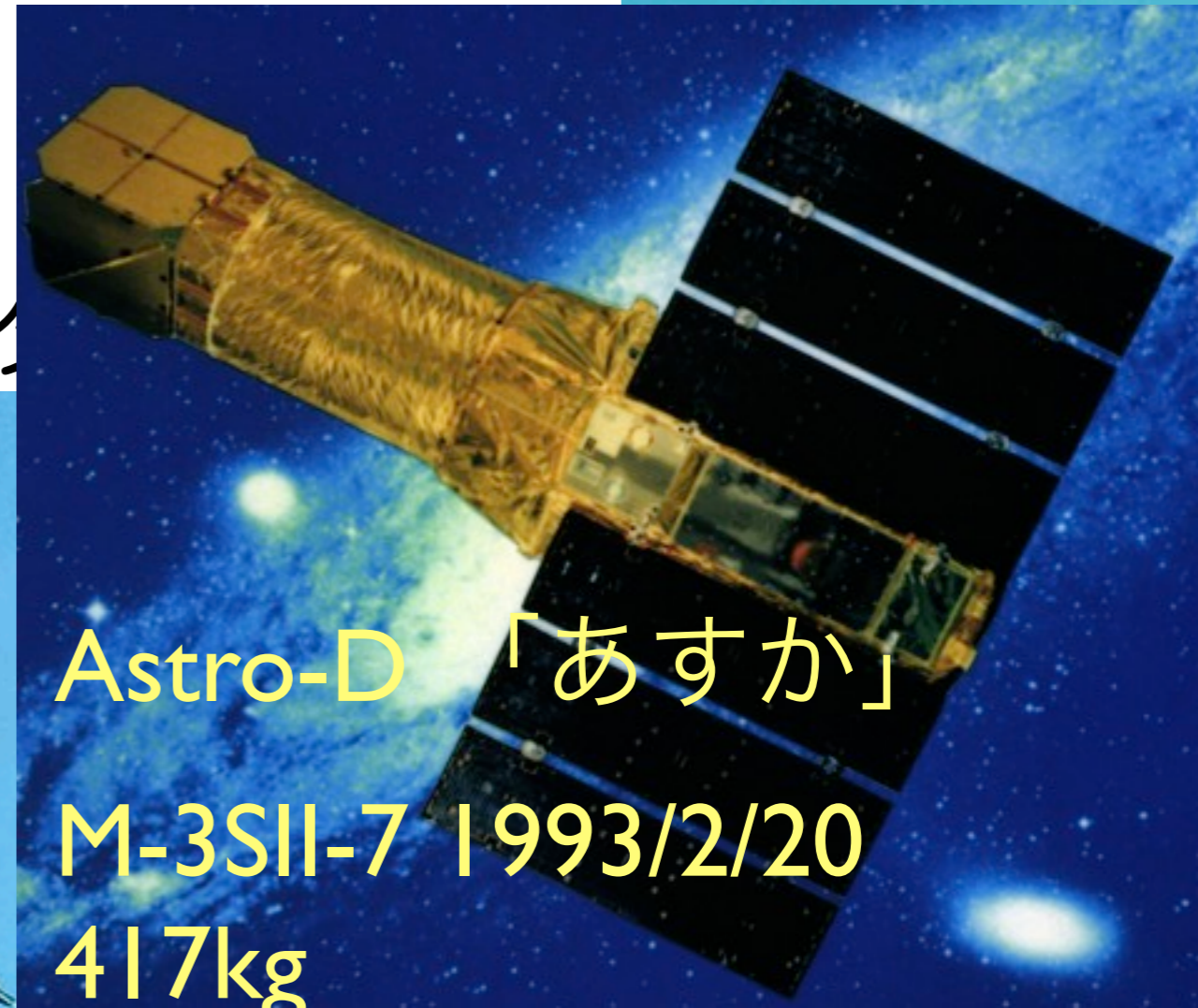


博士論文は
データ

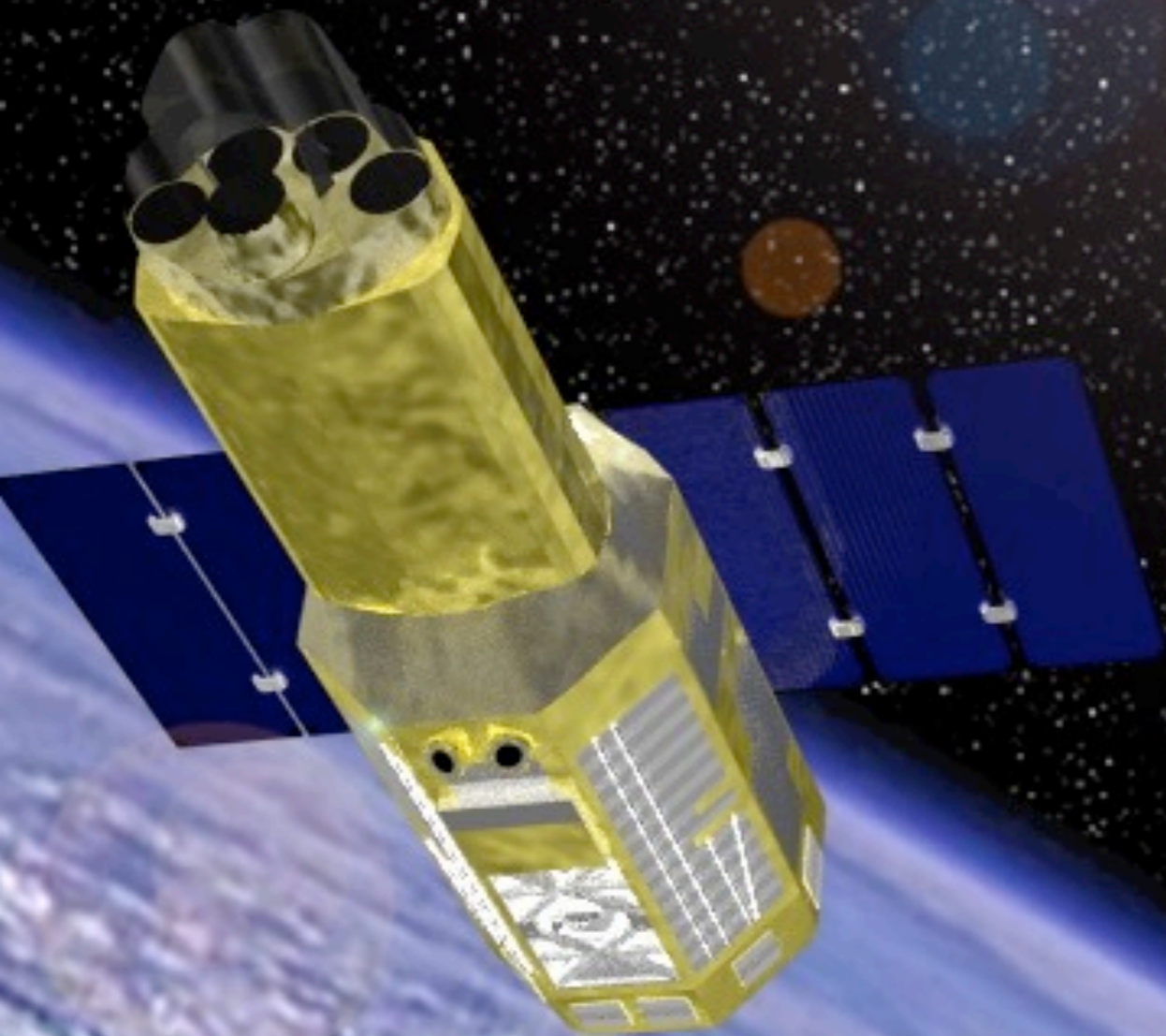
Astro-D 「あすか」

M-3SII-7 1993/2/20

417kg



すざく衛星
2005年7月10日



ASTRO-H衛星 (NeXT)
2014年2月ごろ





打ち上げ直前の試験



打ち上げリハーサル

いよいよ打ち上げ



2005.7.10 12:30 (JST)



人間の体を構成する元素の起源

体重50kgの人間を構成する元素

酸素	32.5kg	硫黄	亜鉛
炭素	9kg	カリウム	マンガン
水素	5kg	ナトリウム	銅
窒素	1.5kg	塩素	セレン
カルシウム	750g	マグネシウム	ヨウ素
リン	500g	鉄 (4g)	モリブデン
その他	750g	フッ素	クロム
		珪素	

カルシウム・リン

骨、歯、血しょう中。

欠乏→骨粗しょう症、動脈硬化、脳卒中、情緒不安定、自律神経失調症、胃潰瘍、十二指腸潰瘍。

カリウム

細胞機能。

欠乏→筋麻痺。

鉄

赤血球のヘモグロビン。

酸素の運搬。

ヨウ素（ヨード）

甲状腺ホルモン。

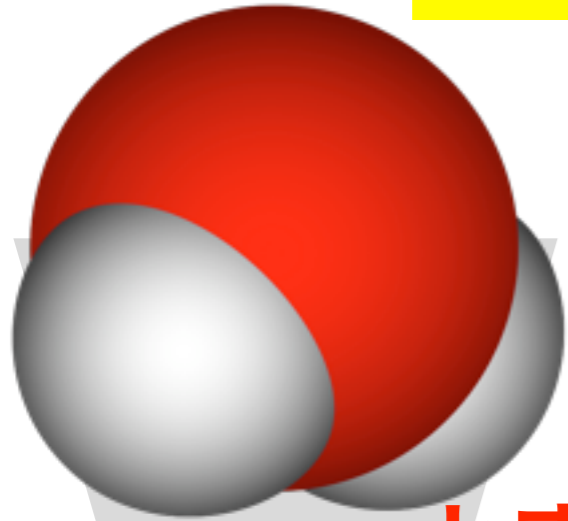
銅／コバルト

欠乏→ヘモグロビンの成

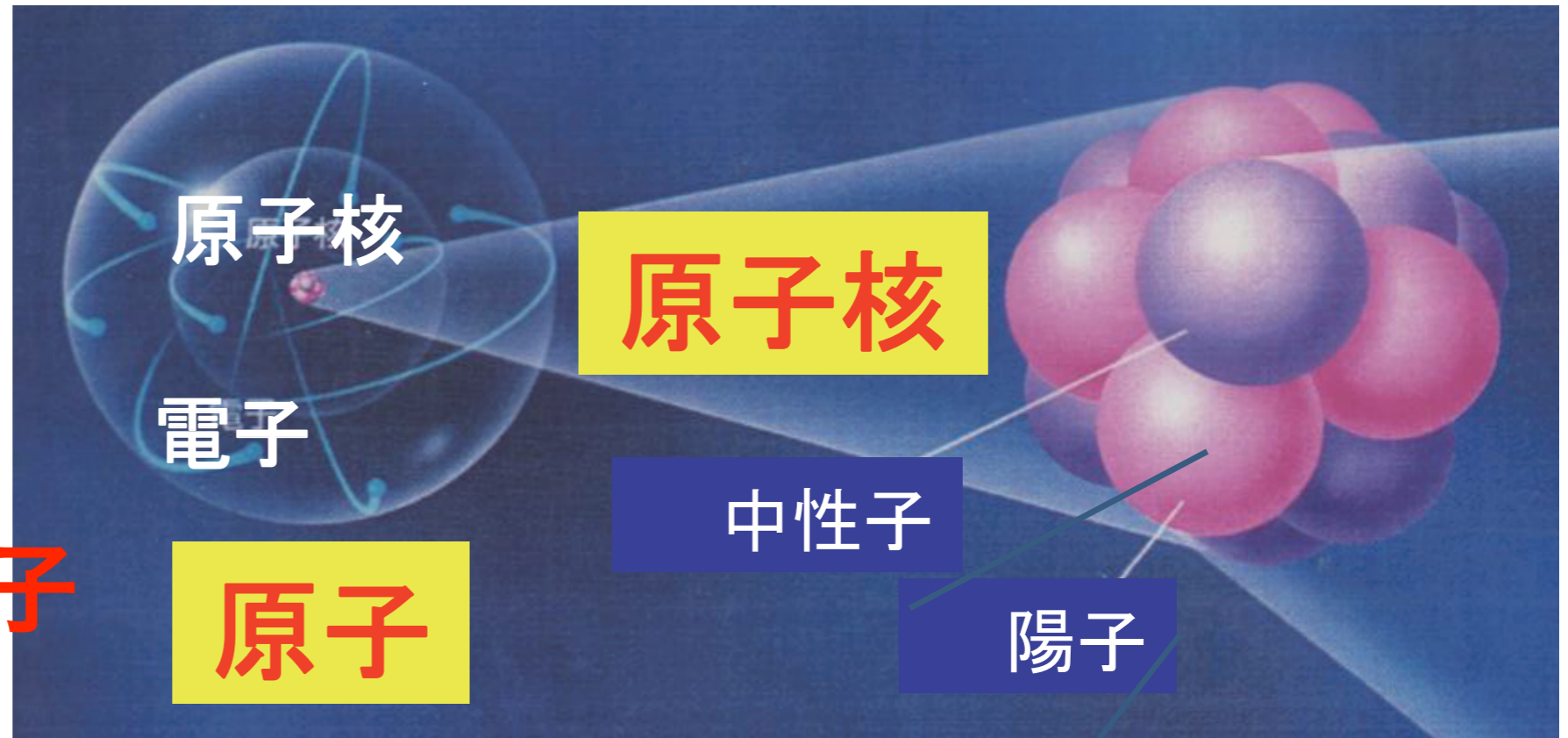
長が衰える。貧血。

物をばらばらにする

酸素原子 分子



水素原子



加熱すると融ける

=ばらばらになる

冷やすと合体する



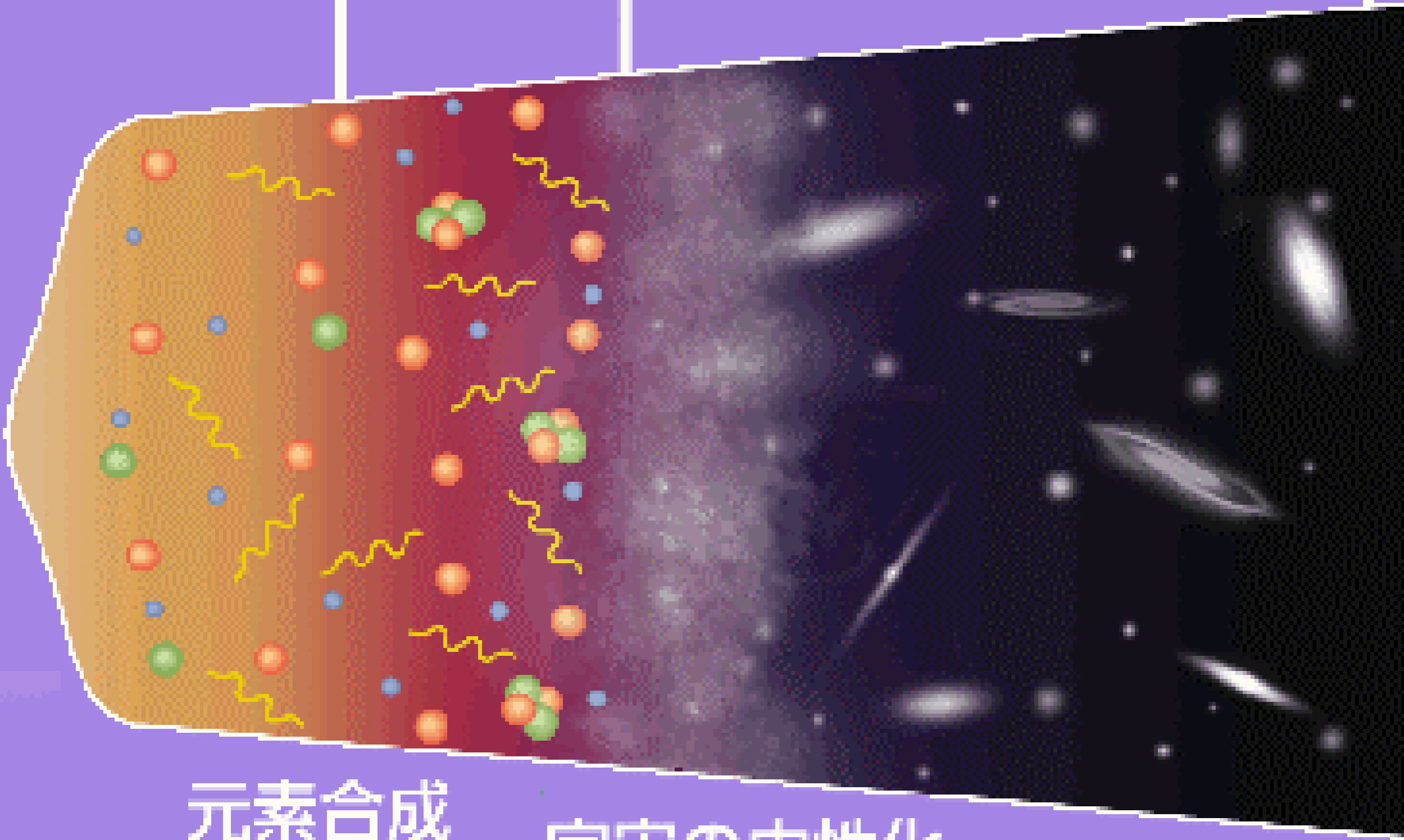
熱いところでは物質はばらばら：宇宙も同じ

ビッグバン：宇宙の歴史

3分

30万年

100億年

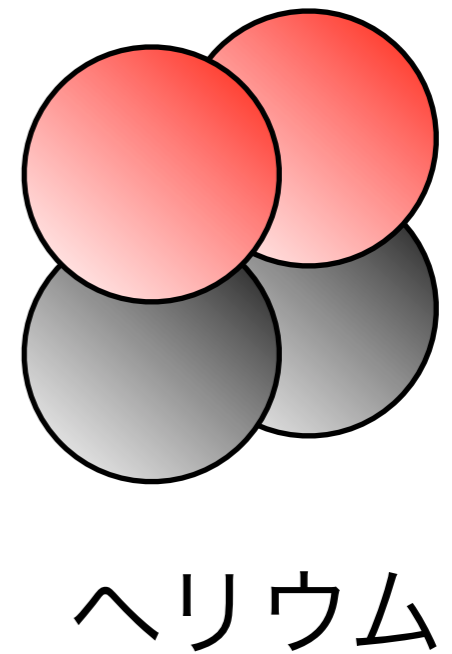
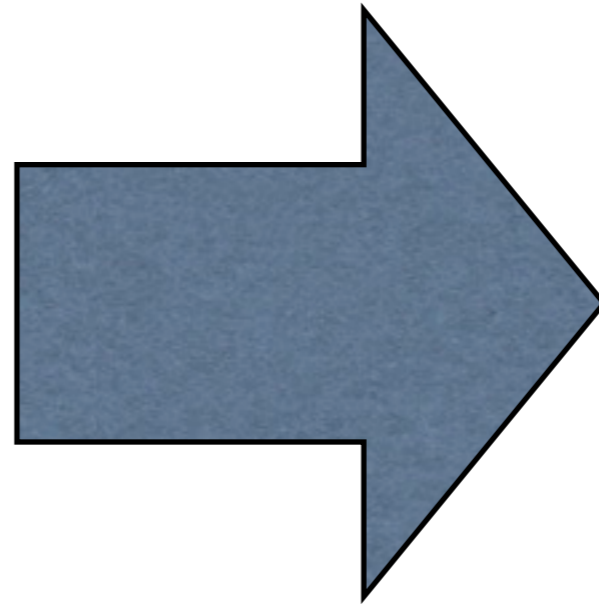
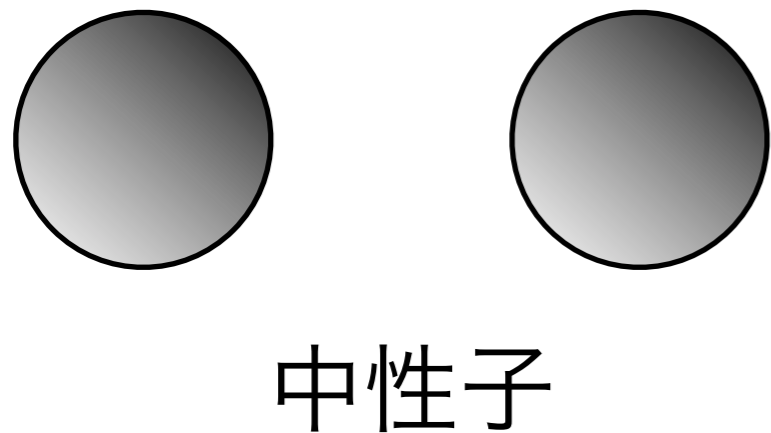
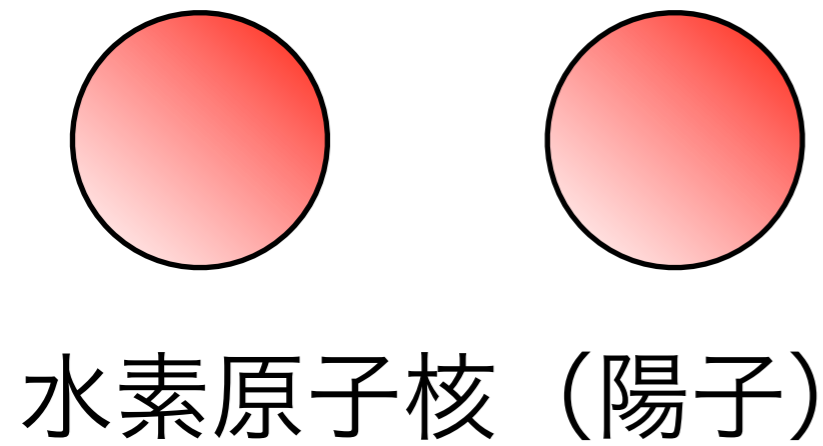


元素合成

宇宙の中性化

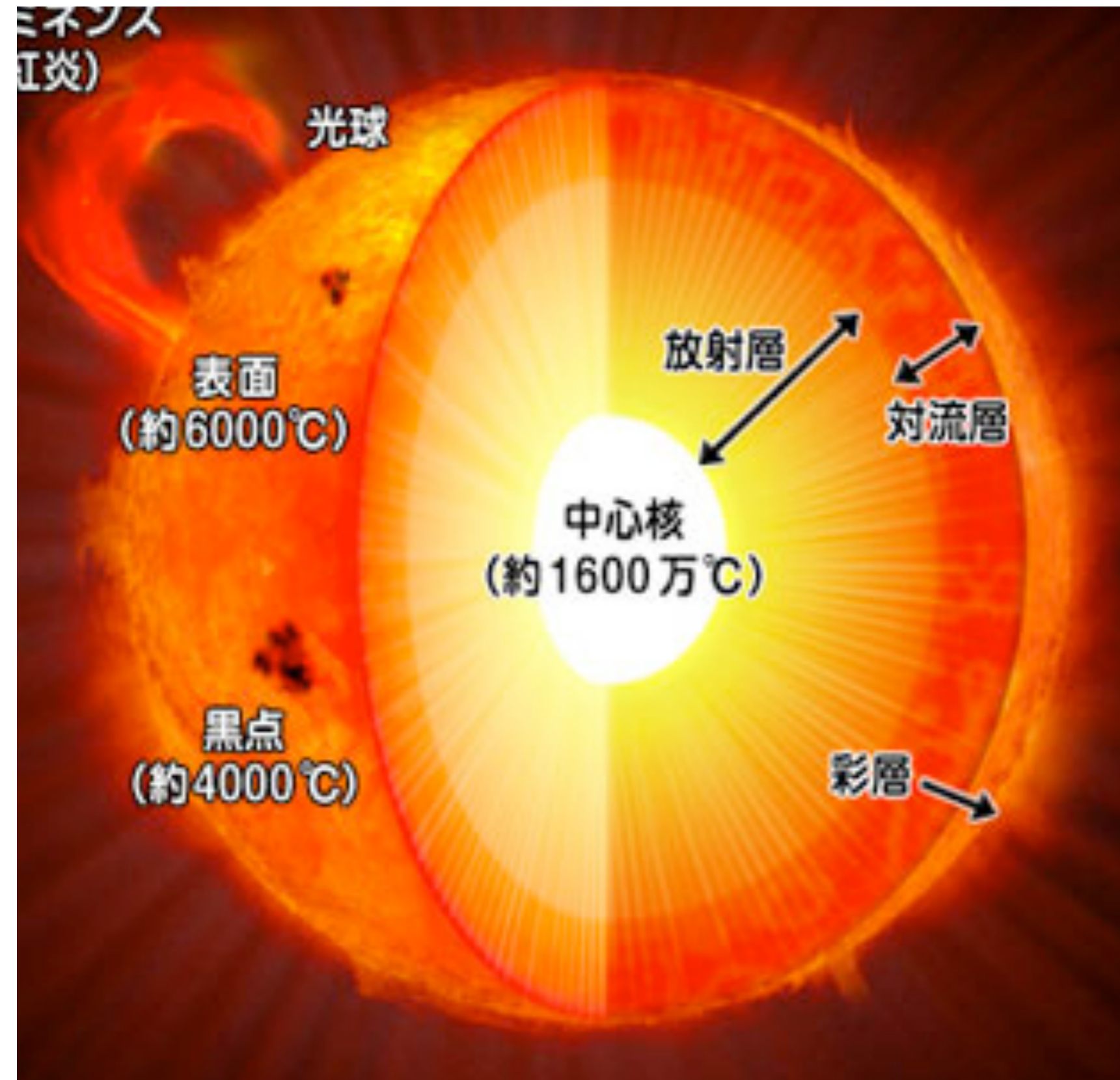
銀河形成

宇宙誕生最初の3分間

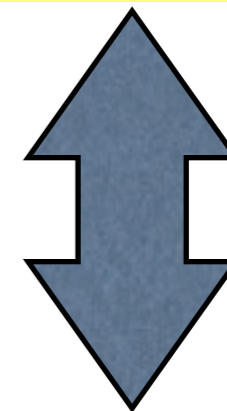


水素 1 に対して、ヘリウム 0.25
宇宙が誕生し、たった 3 分間で作られた。
しかし、これより重い元素は作れない。

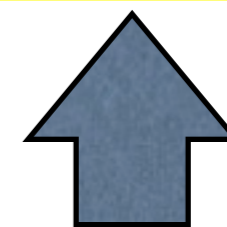
恒星の内部



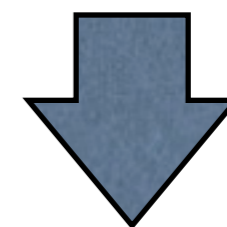
自分の重さ(重力)で
縮もうとする



高温の圧力で支える



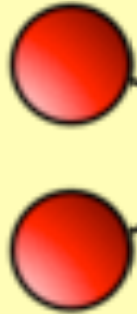
内部で発生する
エネルギーが作る



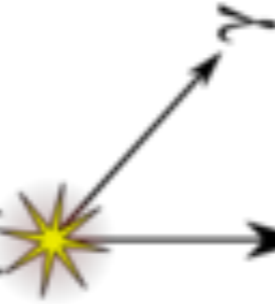
太陽からの
熱(光)の源

星のエネルギー源：核融合

水素



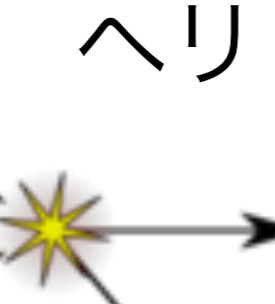
重水素



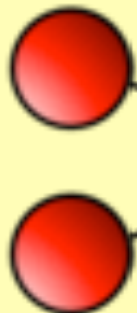
ヘリウム3



ヘリウム3



重水素



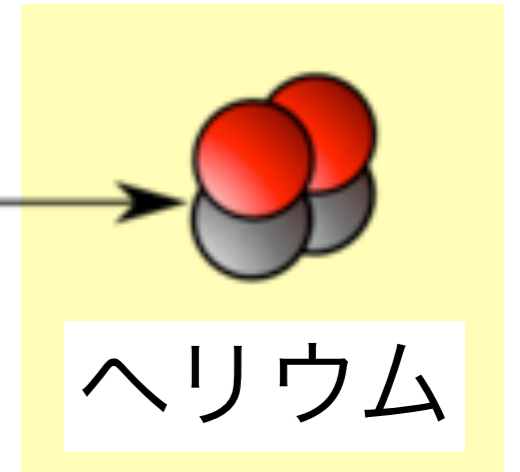
水素原子核



中性子



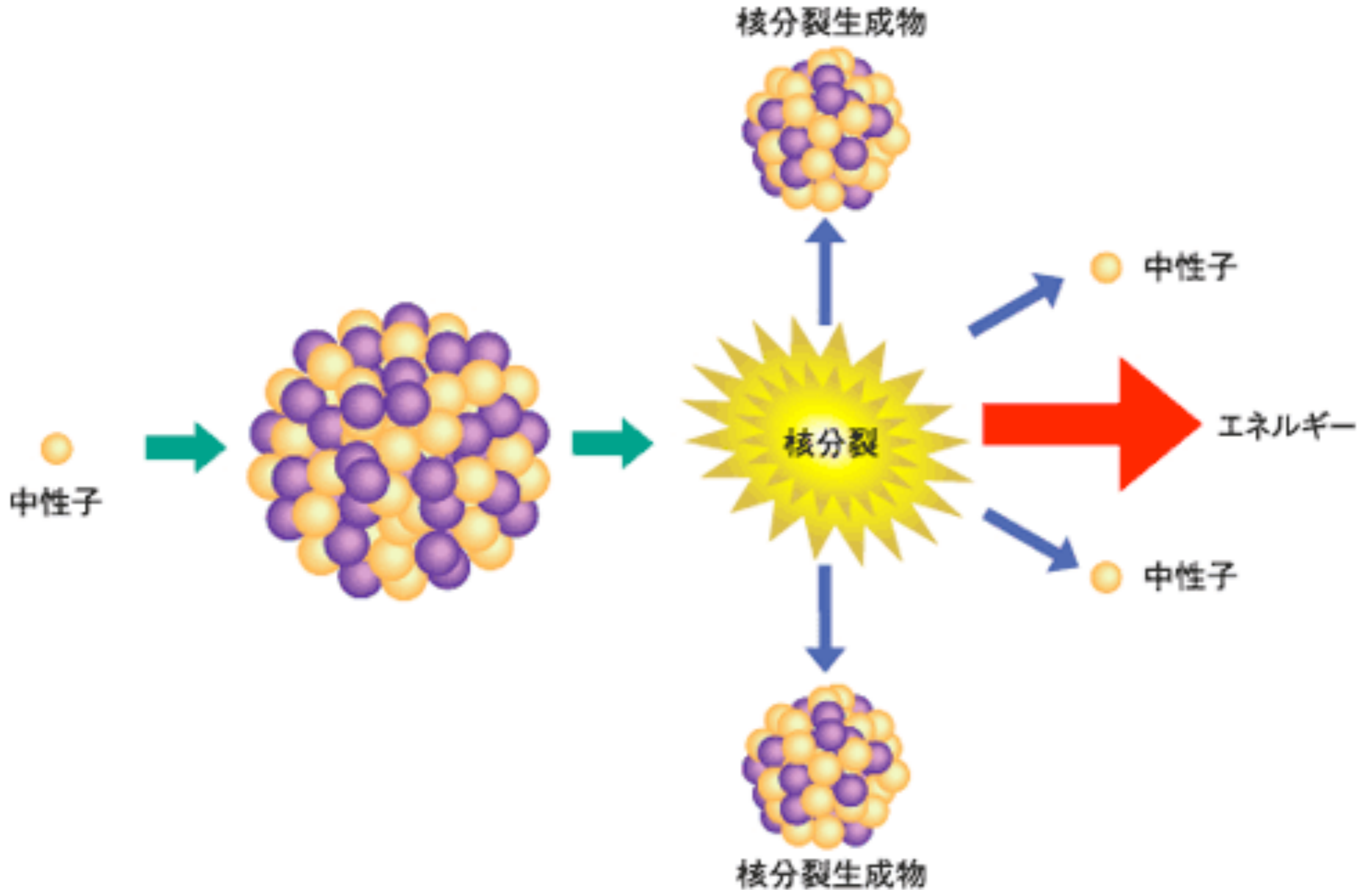
陽電子



ヘリウム

軽い元素を合体させると
エネルギーを取り出せる。

核分裂

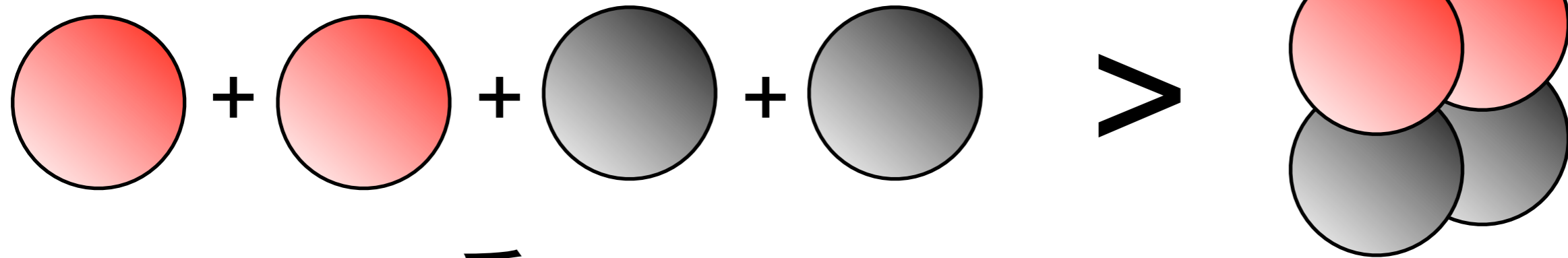


重い原子を分解するとエネルギーを取り出せる

アインシュタインの一般相対性理論

$E=mc^2$: 質量はエネルギーと等価

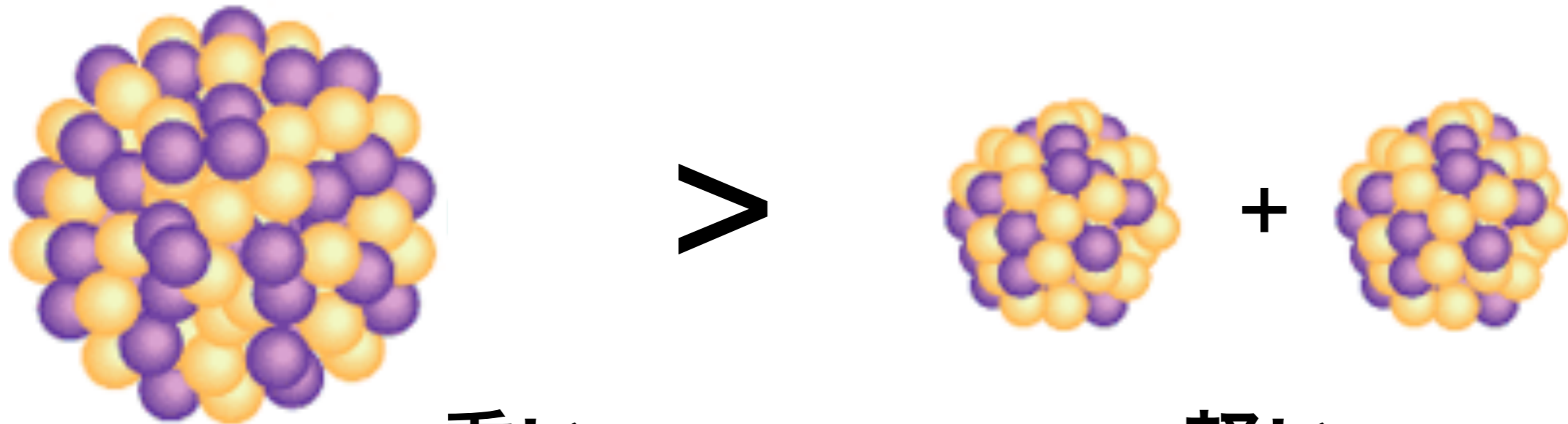
核融合



重い

軽い

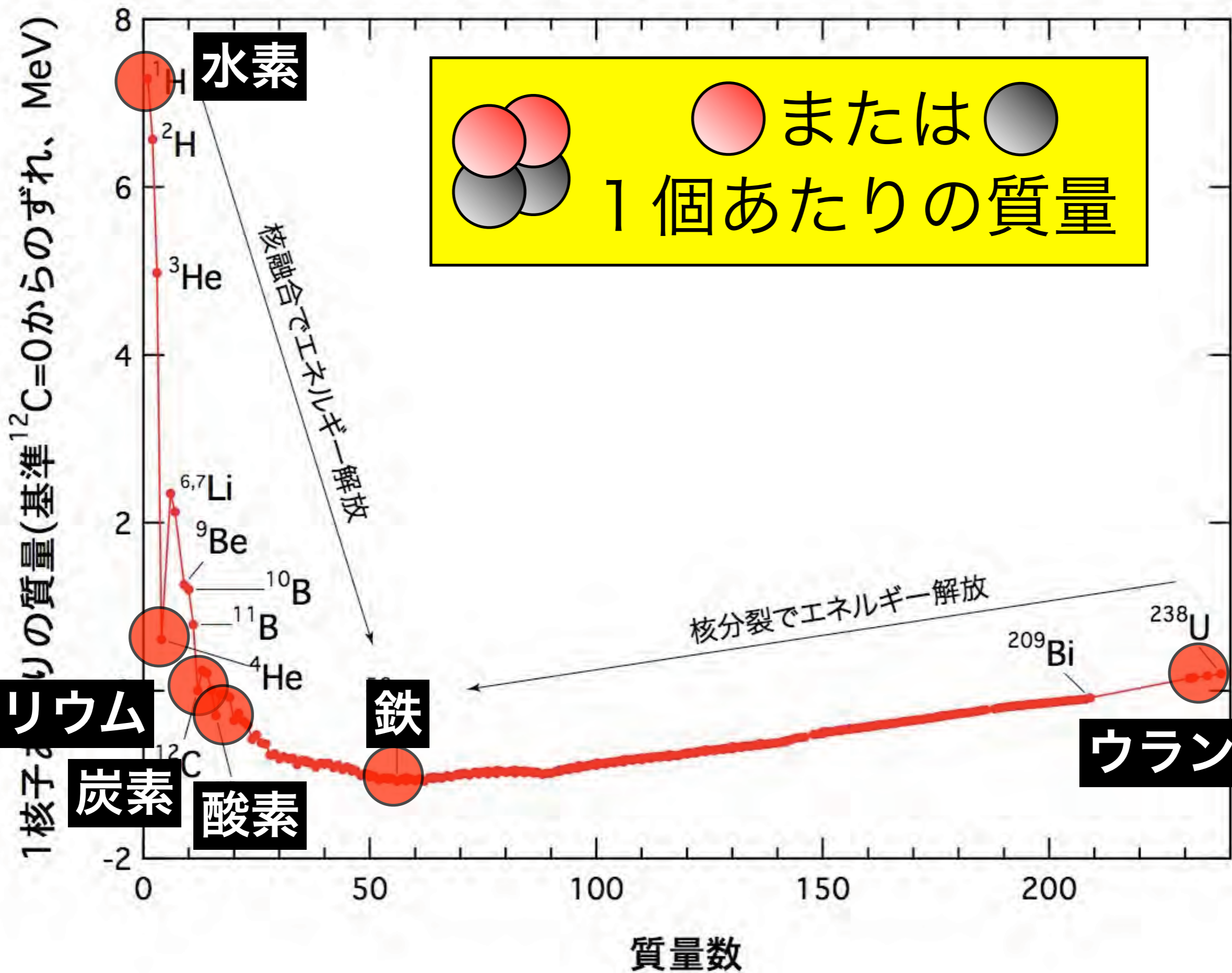
核分裂



重い

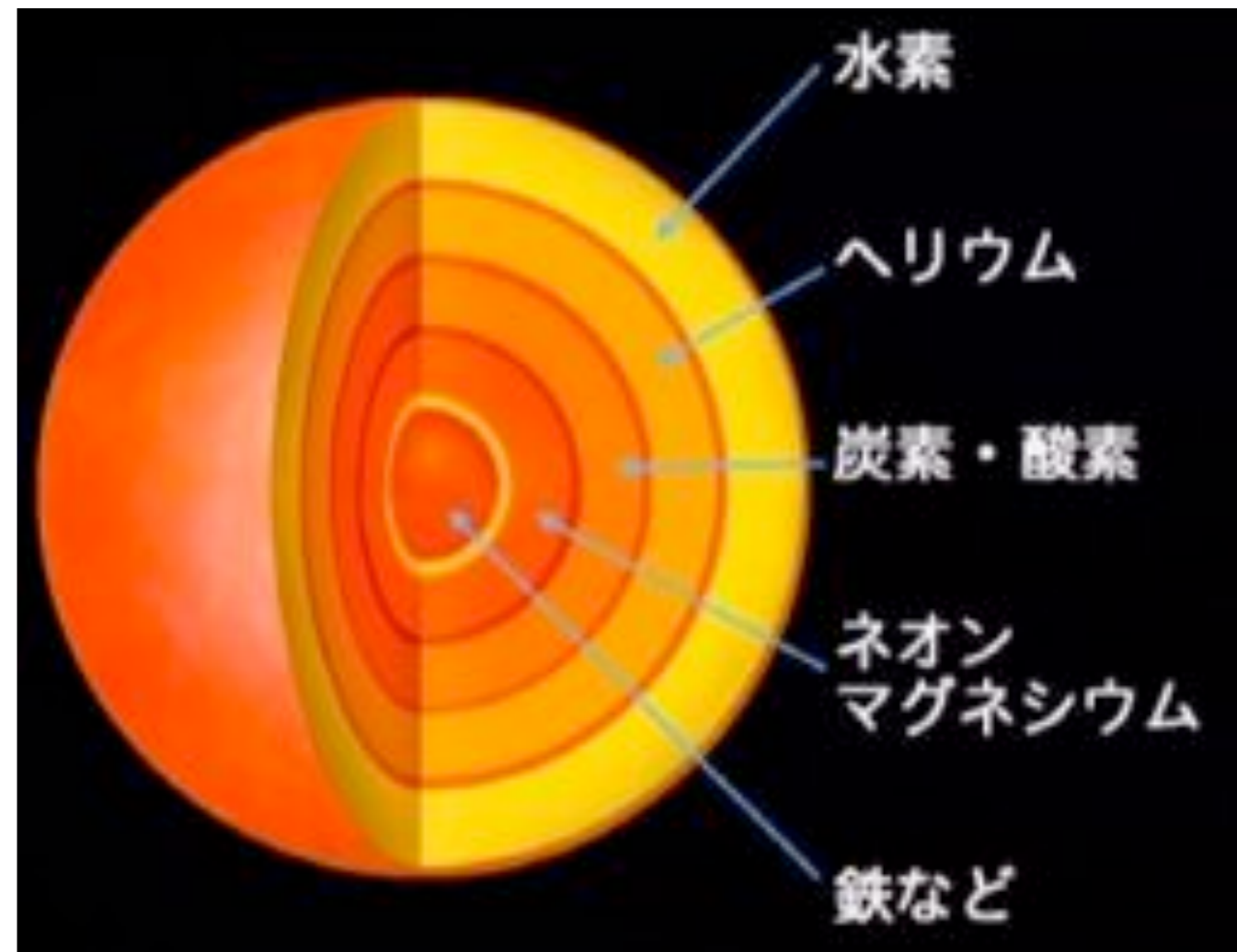
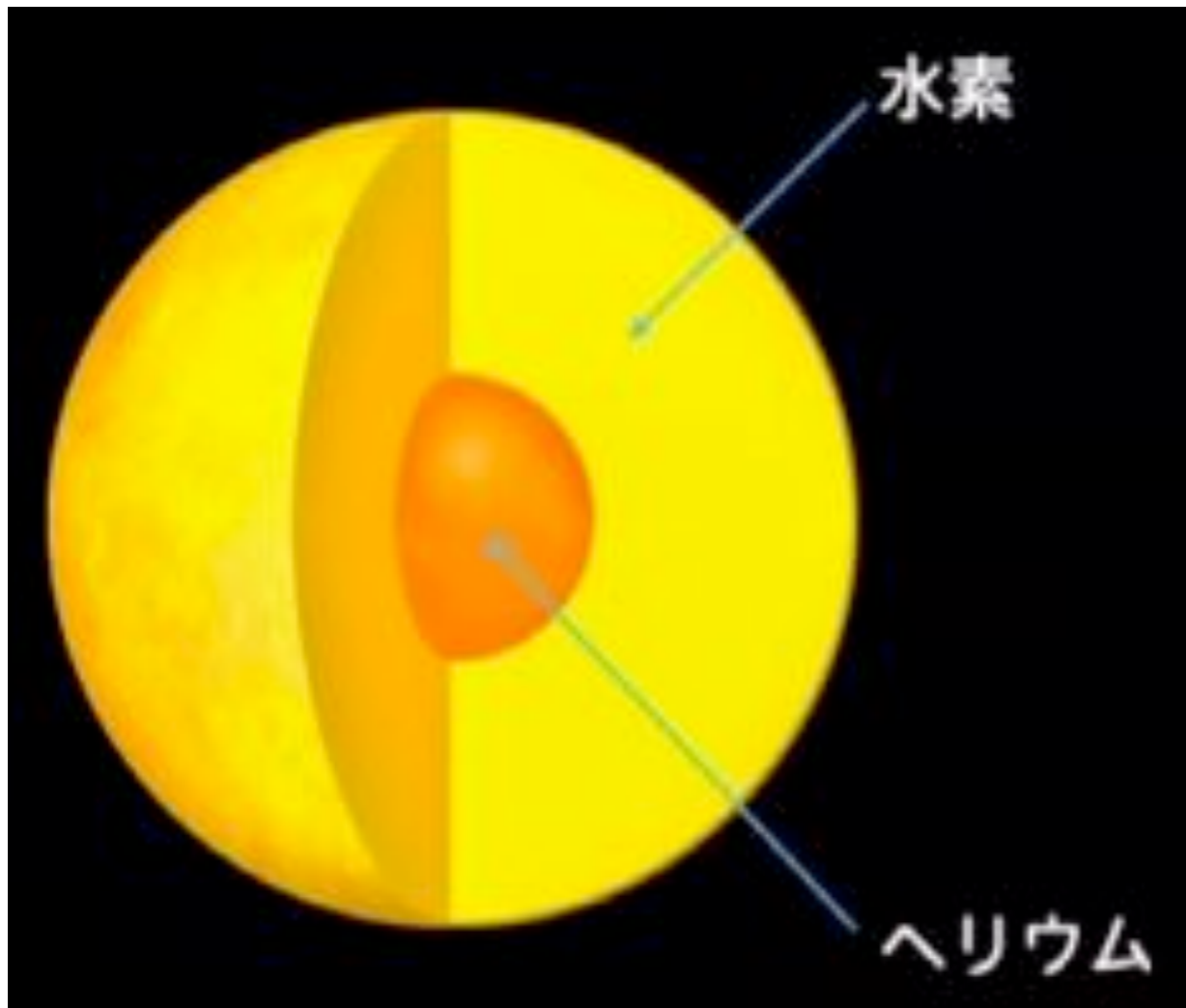
軽い

差が「エネルギー」になる



鉄からはエネルギーを取り出せない

恒星の内部



鉄は、核融合しても核分裂してもエネルギーが取り出せない。

圧力が無くなるので、自分の重みで星がつぶれる。

中心で「跳ね返る」 ⇒ 大爆発をする「超新星爆発」

星の中身を宇宙空間にばらまく

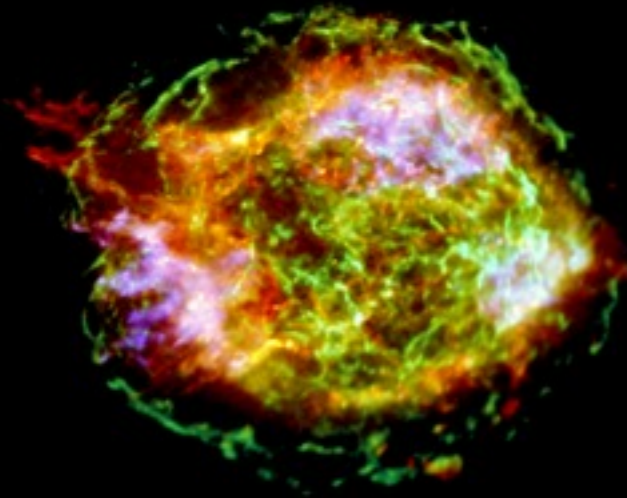
中心に、中性子星やブラックホールが残ることがある。

超新星爆発のエネルギー = 10^{44} カロリー
(世界のエネルギー消費 10^{26} 年分)

膨張の速度 毎秒1万km

この速度で星間ガスに衝突すると数千万度になってX線をだす

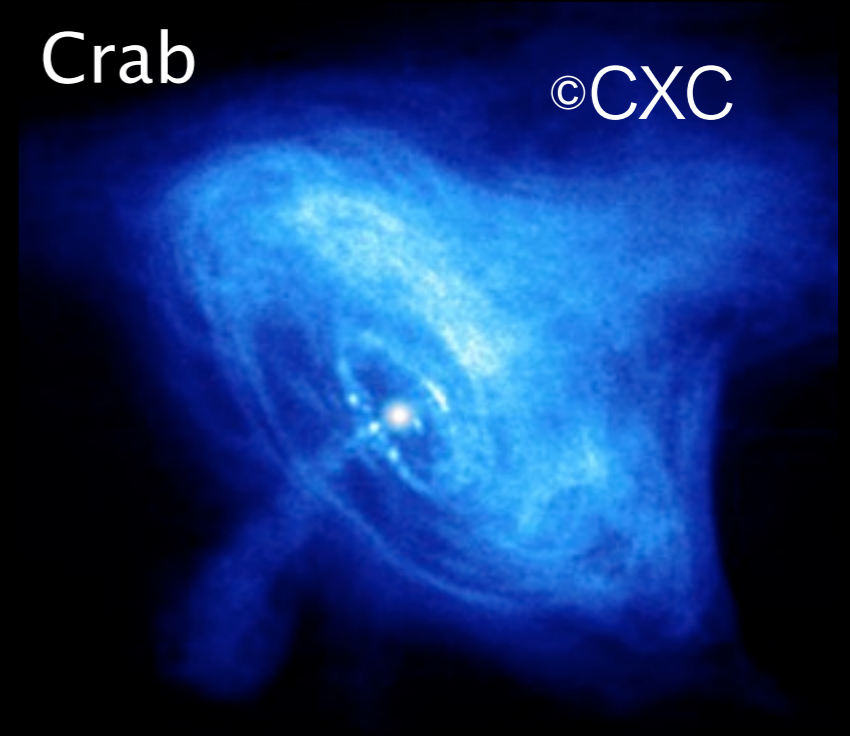
Cassiopeia A



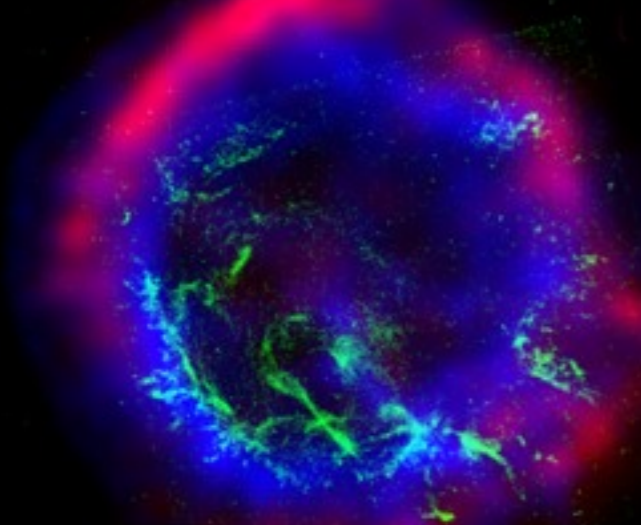
Kepler



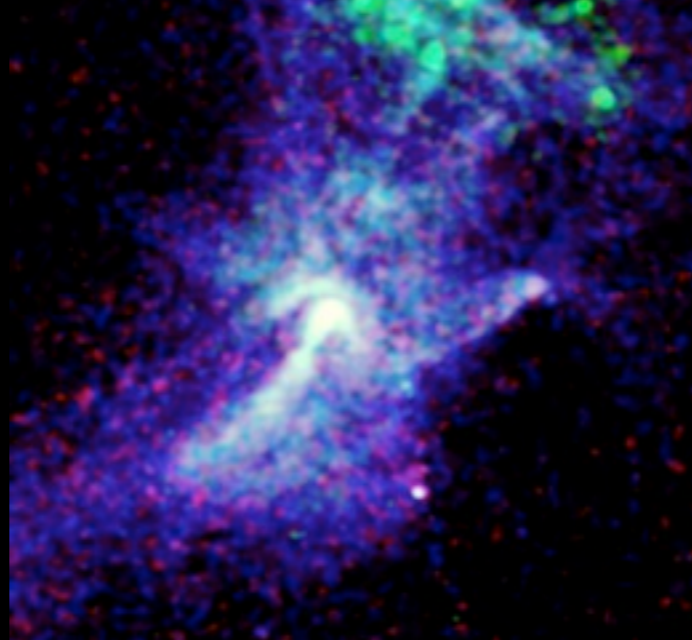
Crab



E0102-72



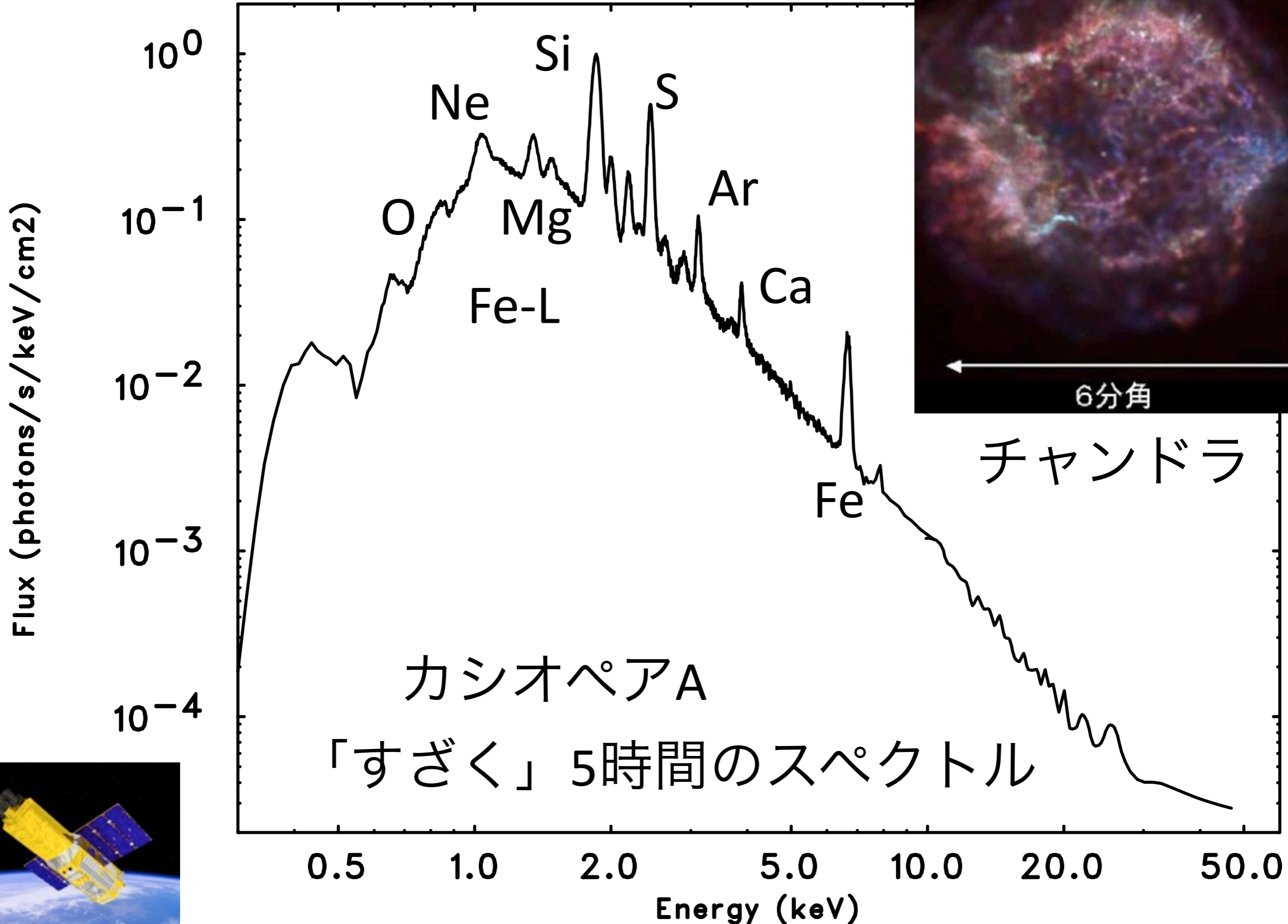
G320.4-1.2



W49B



星の死 (超新星爆発) は生命の源(元素)

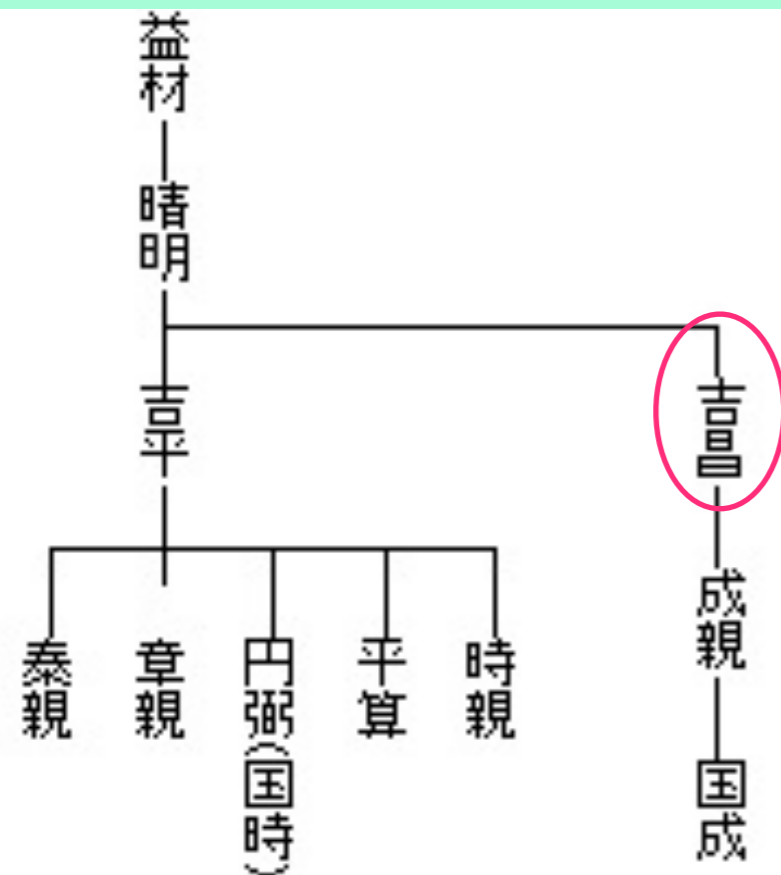
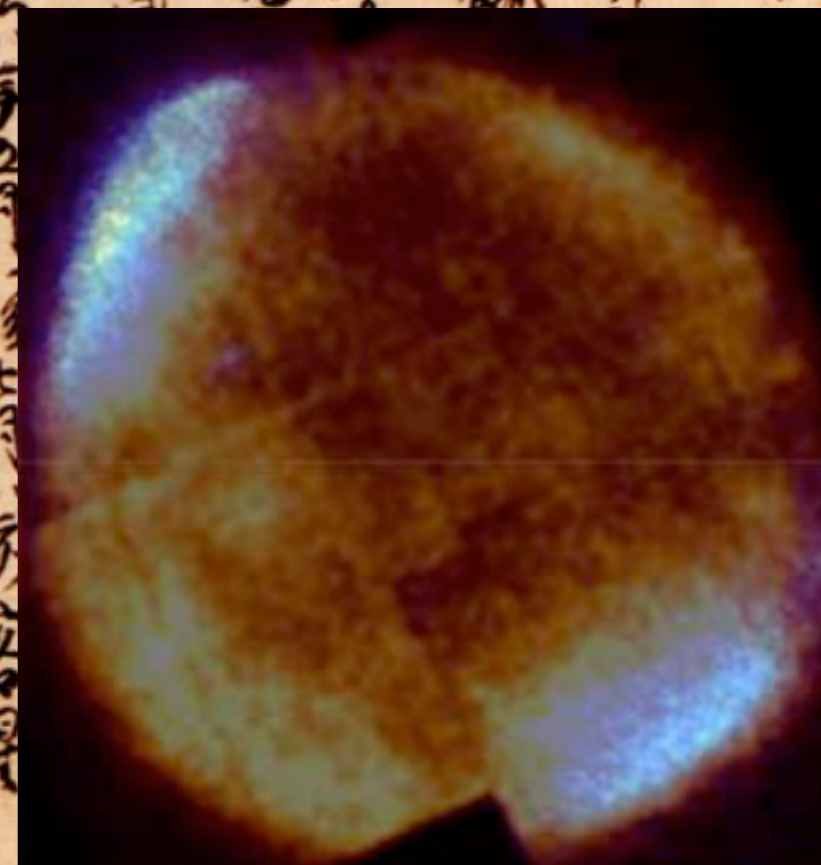
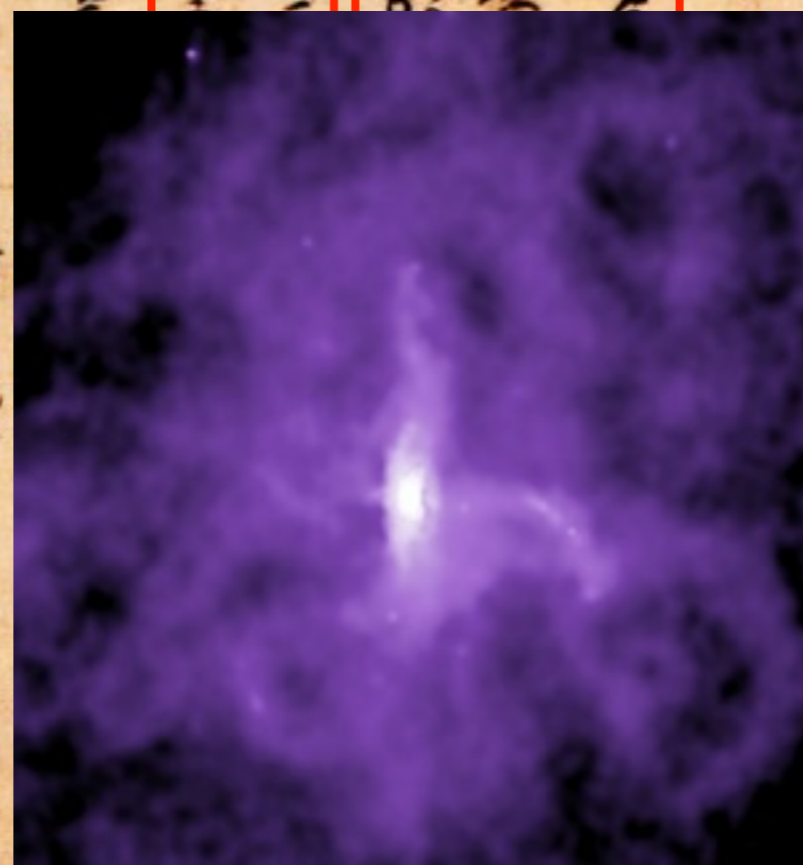
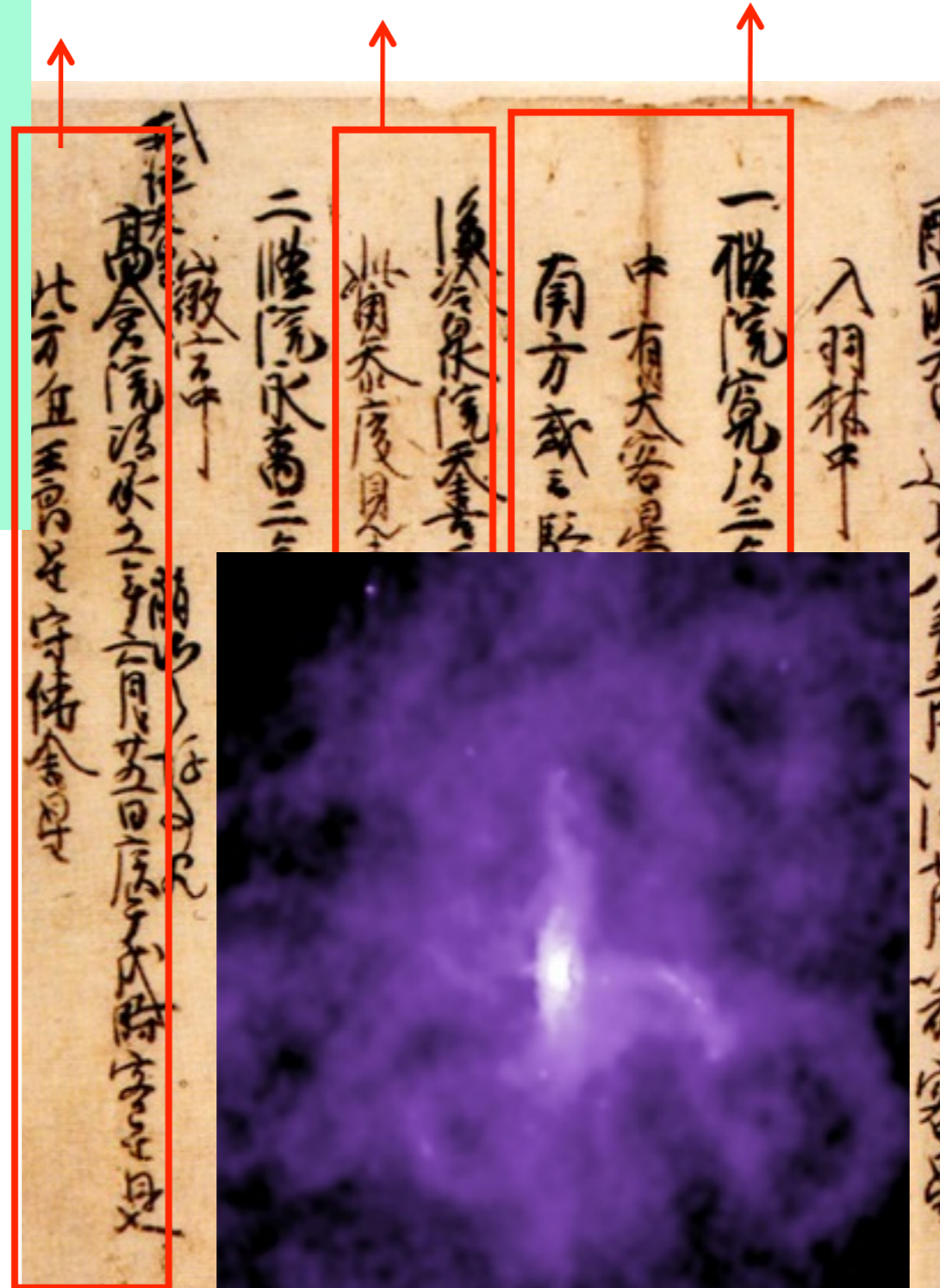
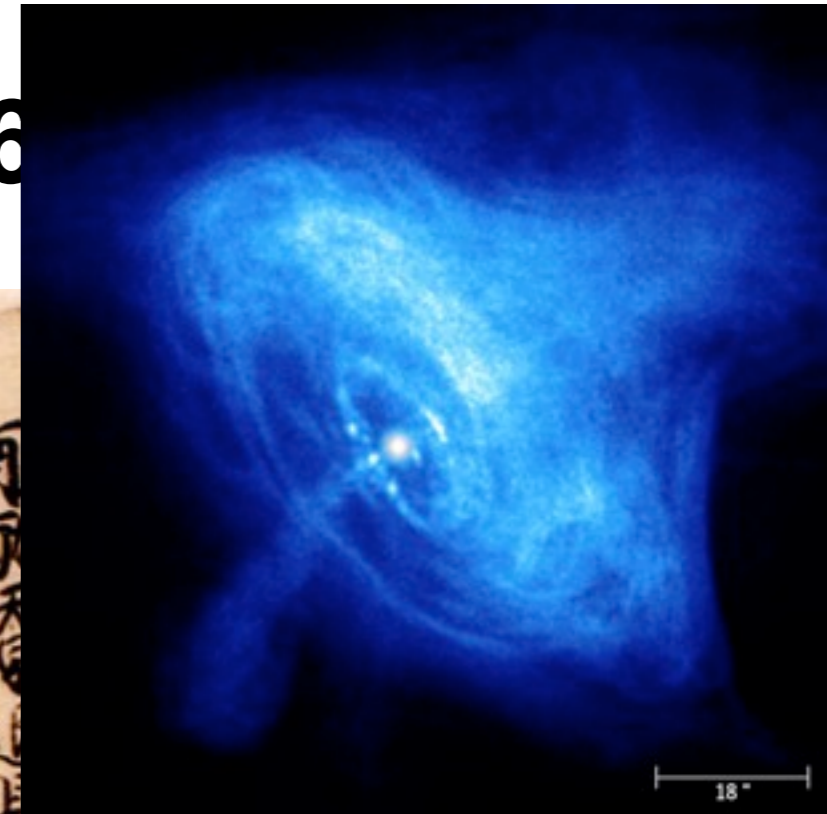


明月記

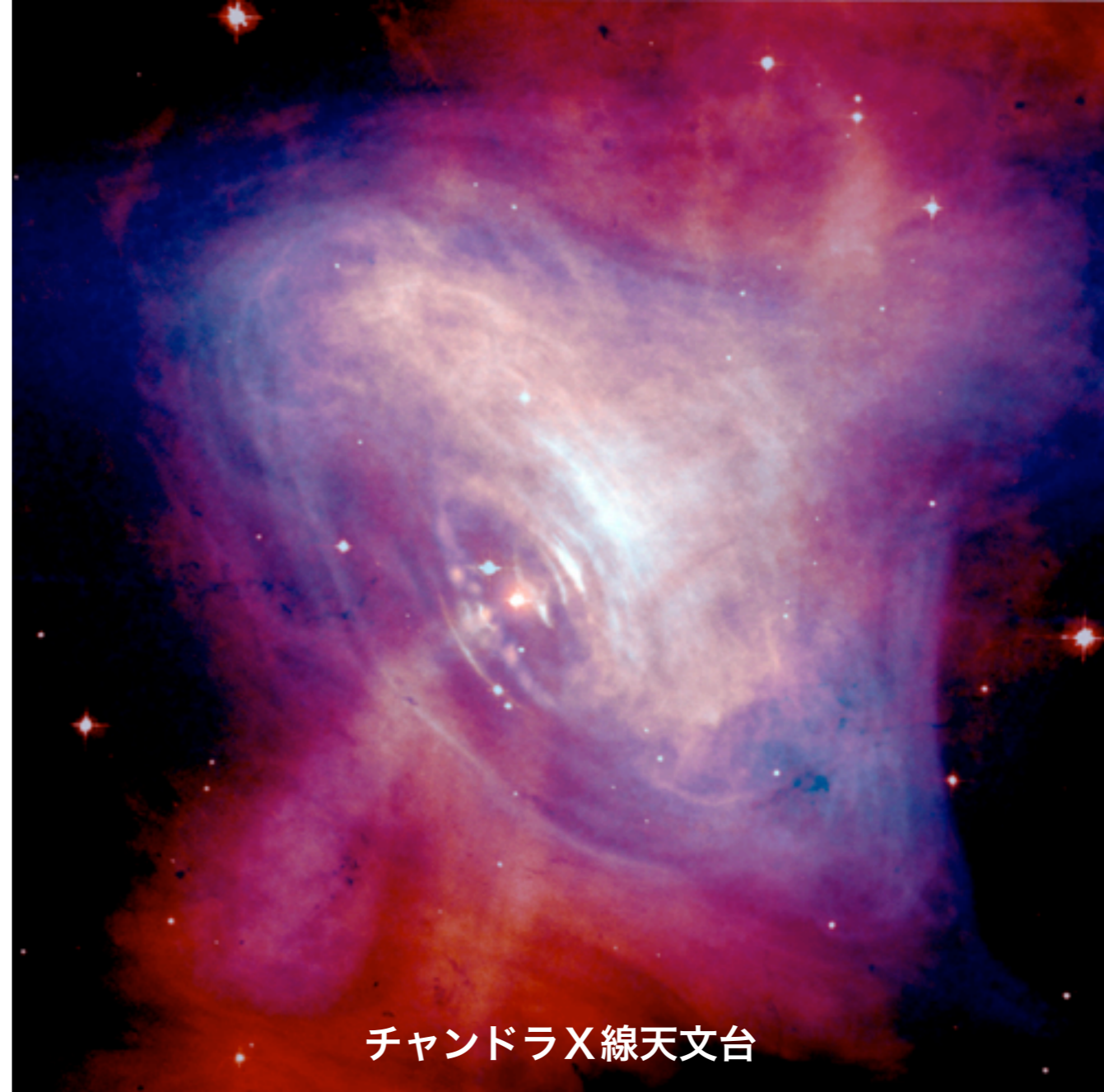
藤原定家 (1162-1241) が超新星(客星、大客星)の過去の記録をまとめた。

実際に観測し、
記録したのは
安倍晴明の子孫
例: 晴明の次男
安倍吉昌
(?-1019)
陰陽寮の長(頭)
: SN1006

3C58 かに星雲
クォーク壺性超新星 SN1006



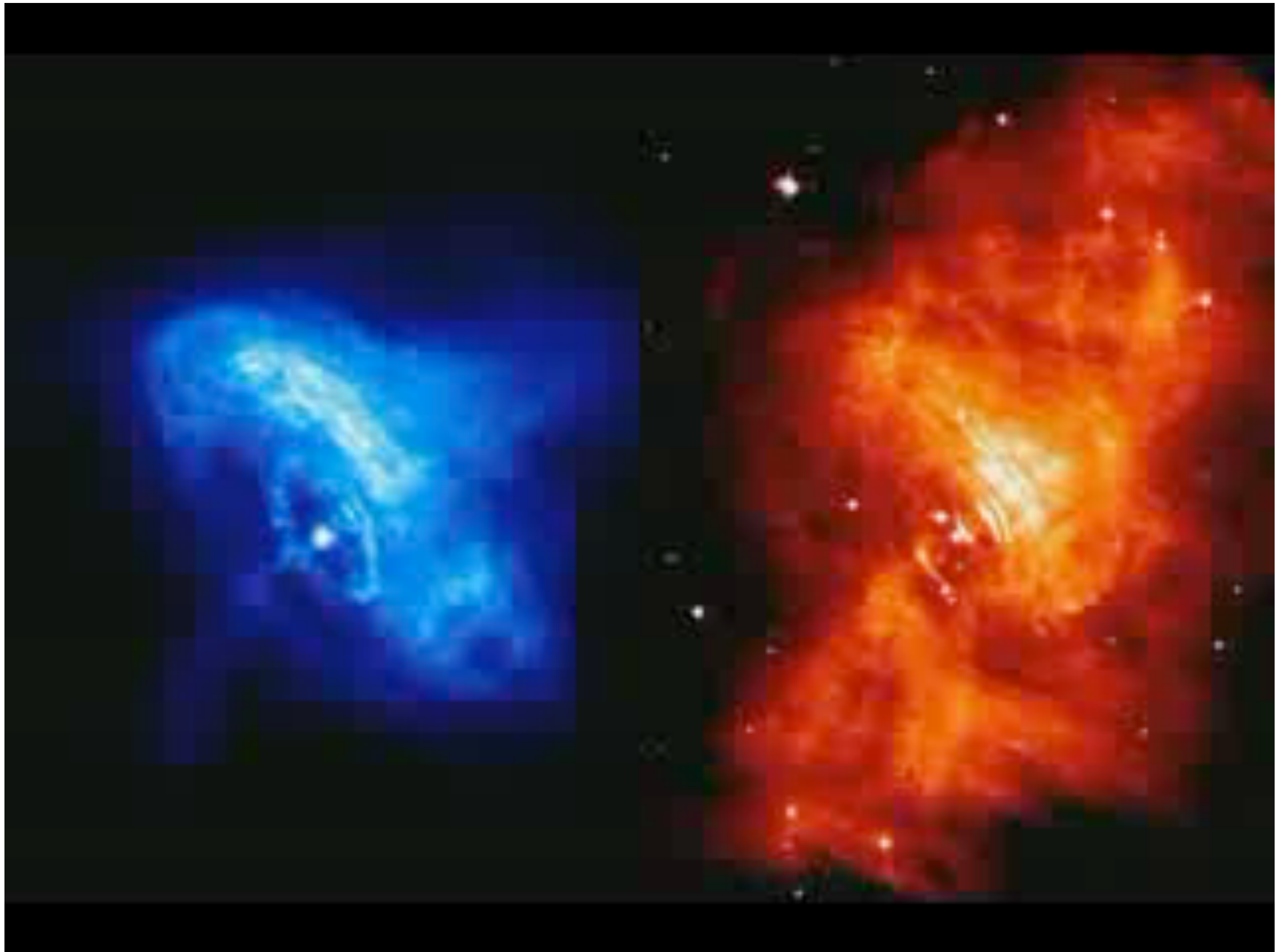
かに星雲: MI



「パルサー」と呼ばれる中性子星

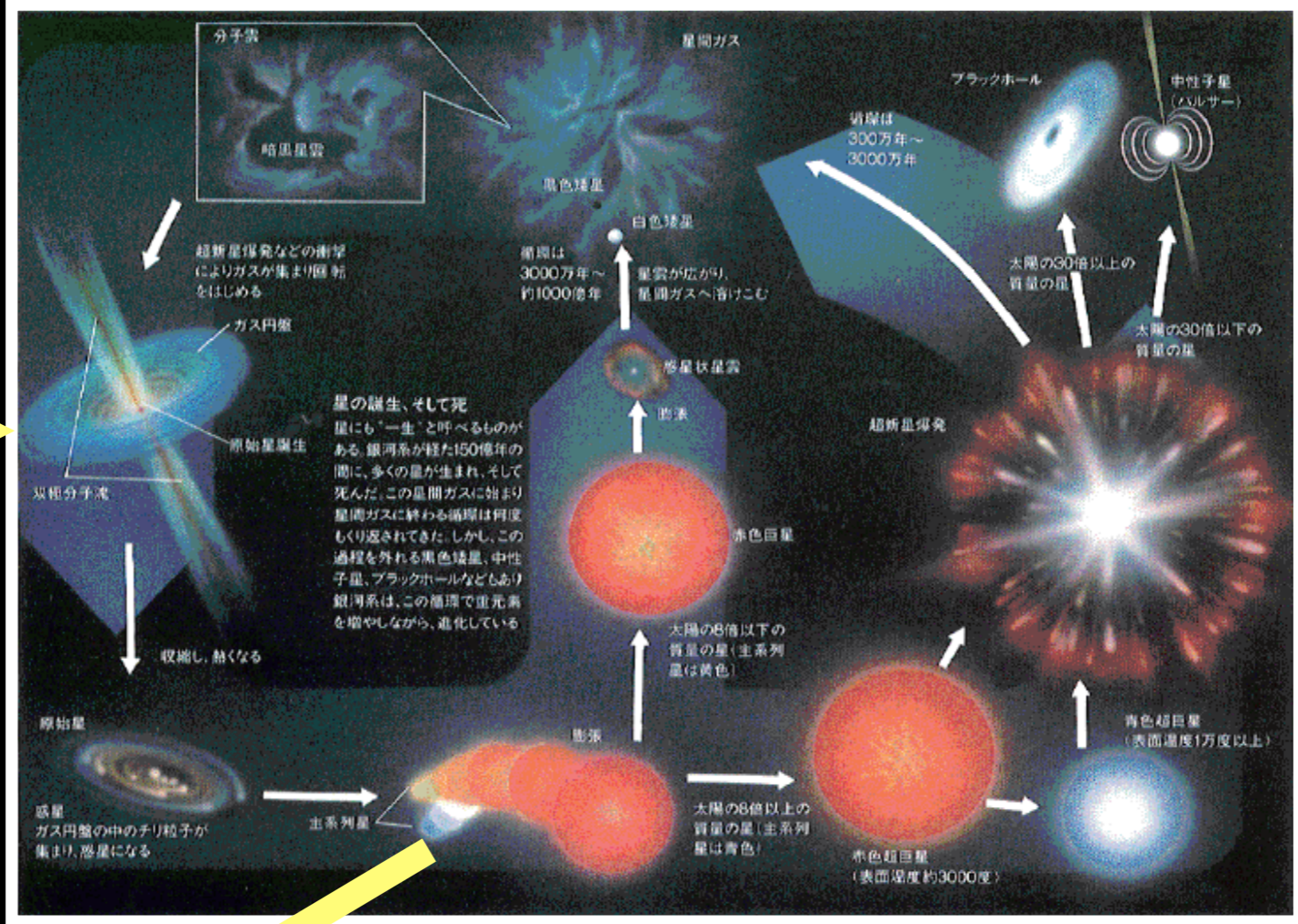
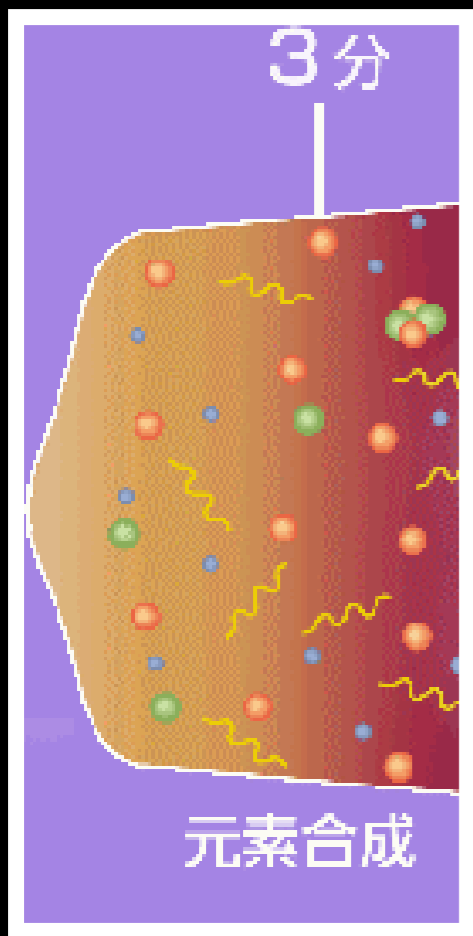
太陽の質量が10kmに押し込まれている。

1mm³あたり37万トン



チャンドラX線天文台

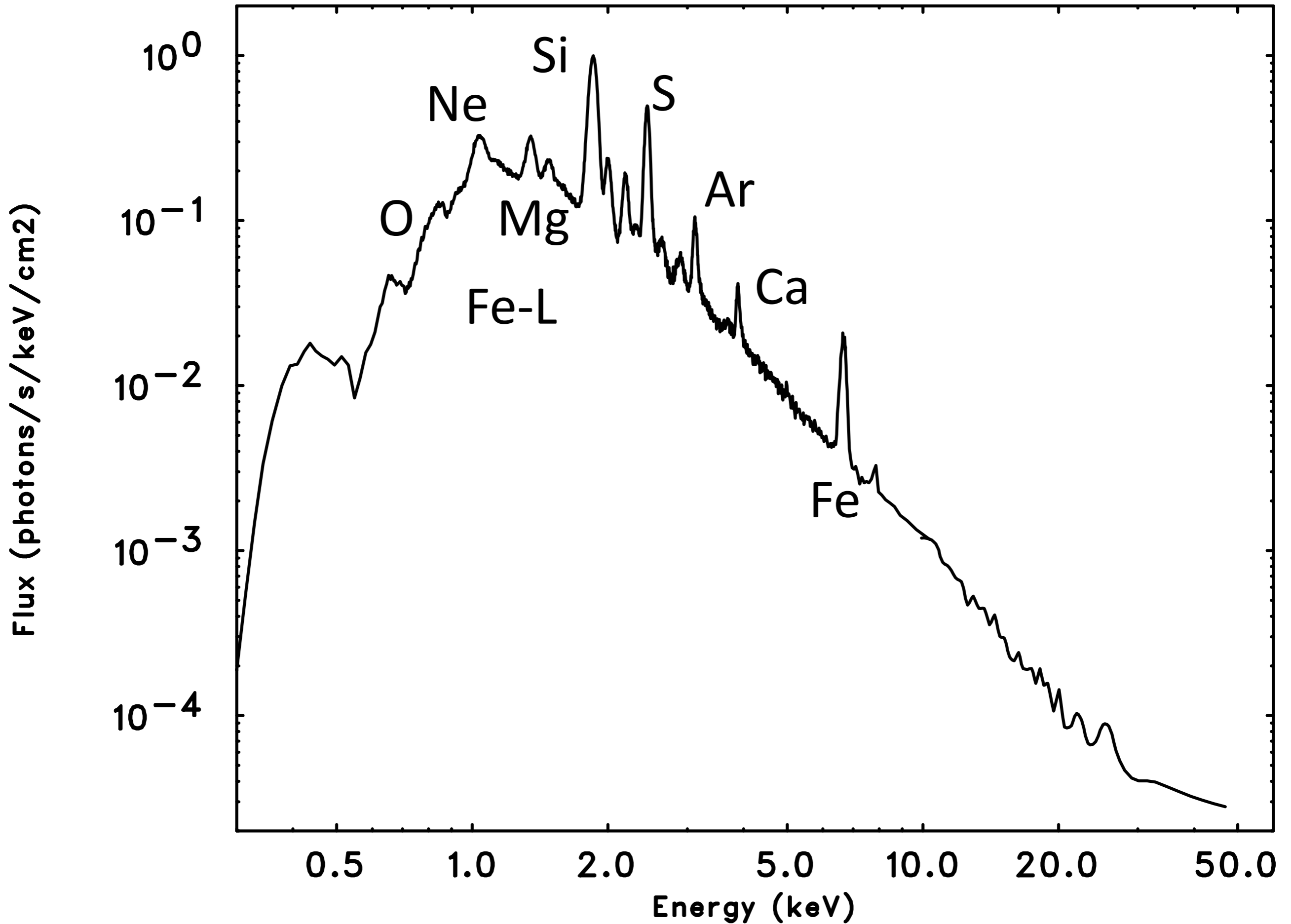
ハッブル宇宙望遠鏡



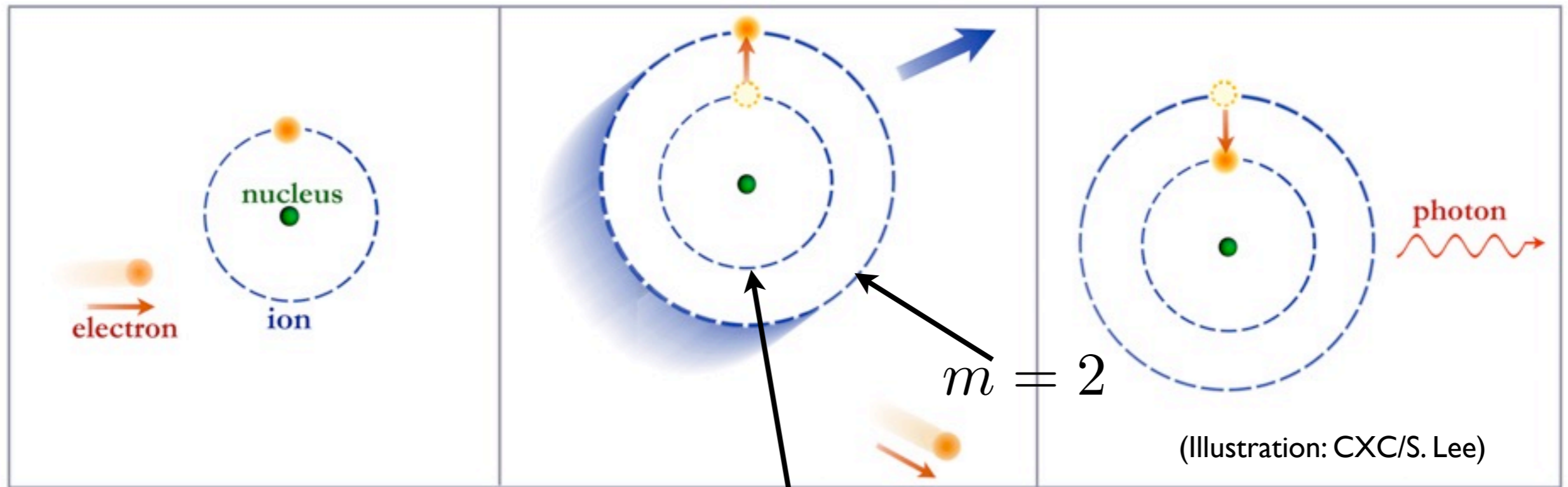
宇宙の輪
廻から私
たちは産
まれた。



今回はこれを体験しましょう



蛍光X線 (輝線)



$n = 1$

$$E_n = -13.6[\text{eV}]Z^2 \frac{1}{n^2}$$

$$E_X(m \rightarrow n) = E_m - E_n = 13.6[\text{eV}]Z^2 \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)$$

ありがとうございました。

(スライドはここまで)

<http://www-cr.scphys.kyoto-u.ac.jp>