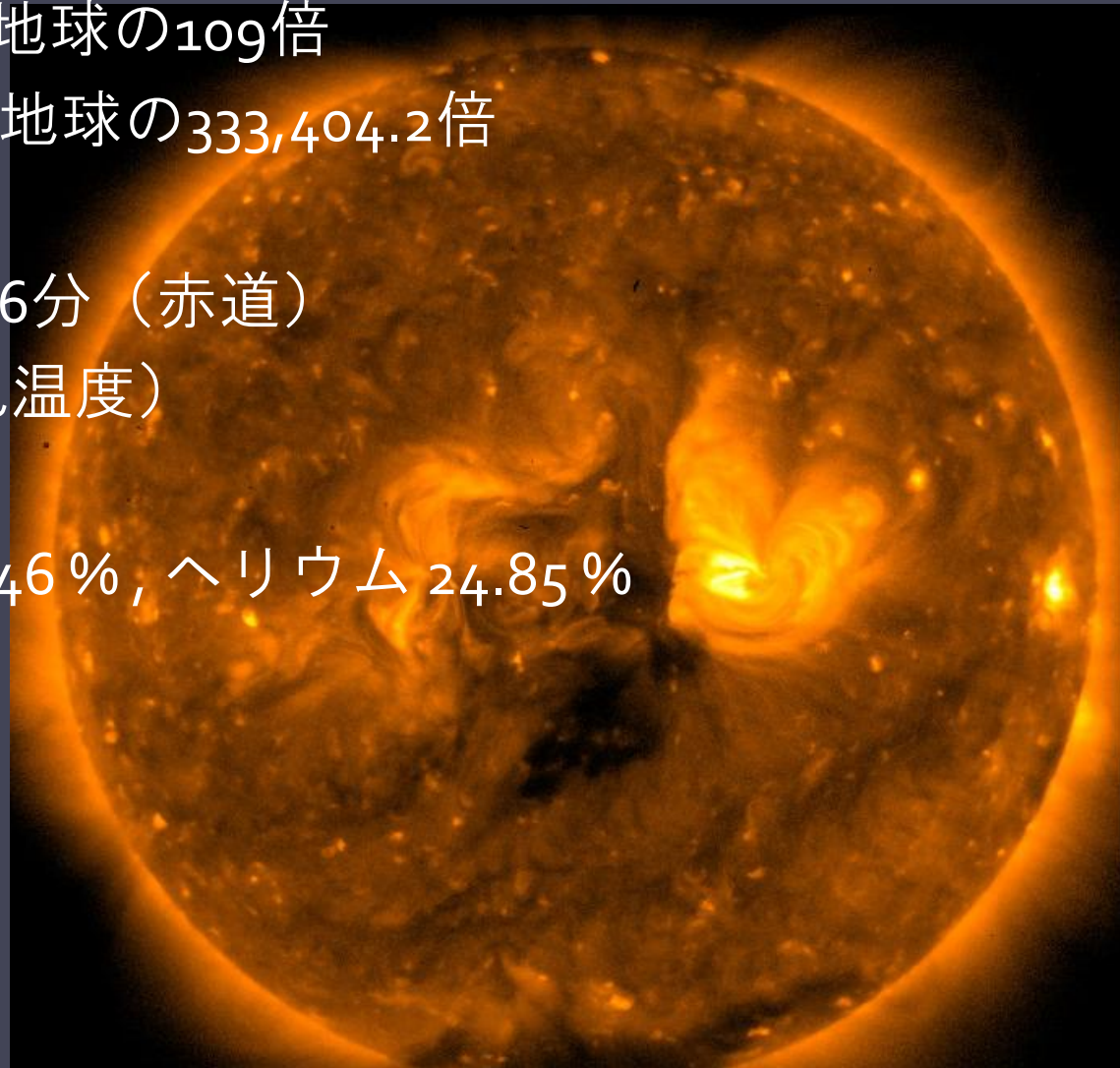


太陽

最も近い恒星

太陽の主な特徴

- 直径 1,392,000 km 地球の109倍
- 質量 1.9891×10^{30} kg 地球の333,404.2倍
- 平均密度 1.411 g cm^{-3}
- 自転周期 27日6時間36分（赤道）
- 表面温度 5,770 K（色温度）
- 年齢 約46億年
- 光球の組成：水素 73.46 %, ヘリウム 24.85 %



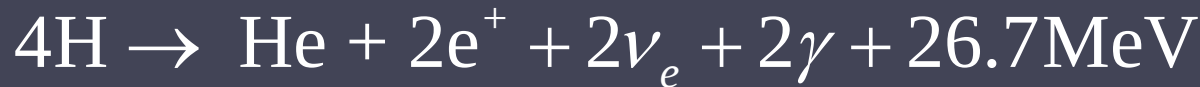
「ひので」が撮影した太陽のX線画像（国立天文台）

太陽の明るさ

- 光度 3.827×10^{26} J/s
 - ガソリンひと缶(45リットル) 1.6×10^9 J
 - 太陽が1年間に放出するエネルギー
 - 7.5×10^{24} 缶分 (7.5億の1億倍の1億倍)
 - 太陽の体積は、 1.4×10^{30} リットル = 3.2×10^{28} 缶
 - 太陽全部がガソリンだとすると、4300年しかもたない

太陽のエネルギー源

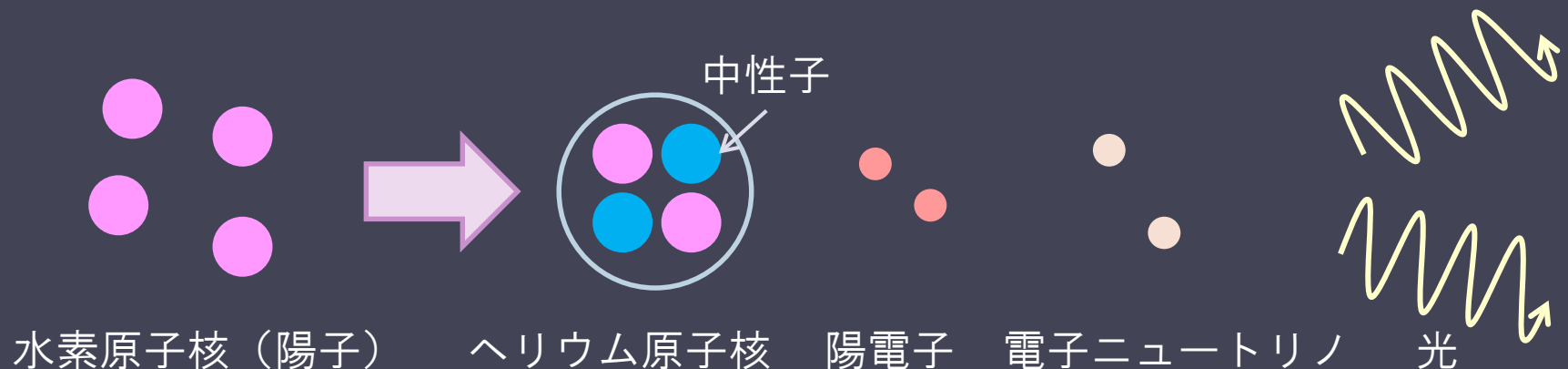
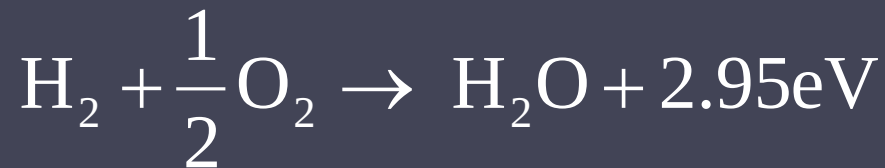
- 水素の核融合



– エネルギーの単位

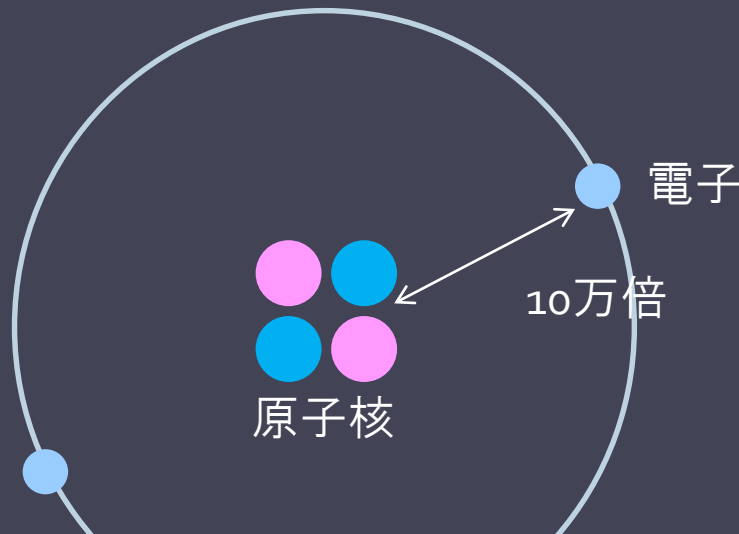
$$1\text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19}\text{ J} = 3.82 \times 10^{-20}\text{ cal}$$

- 化学反応のエネルギーの1千万倍



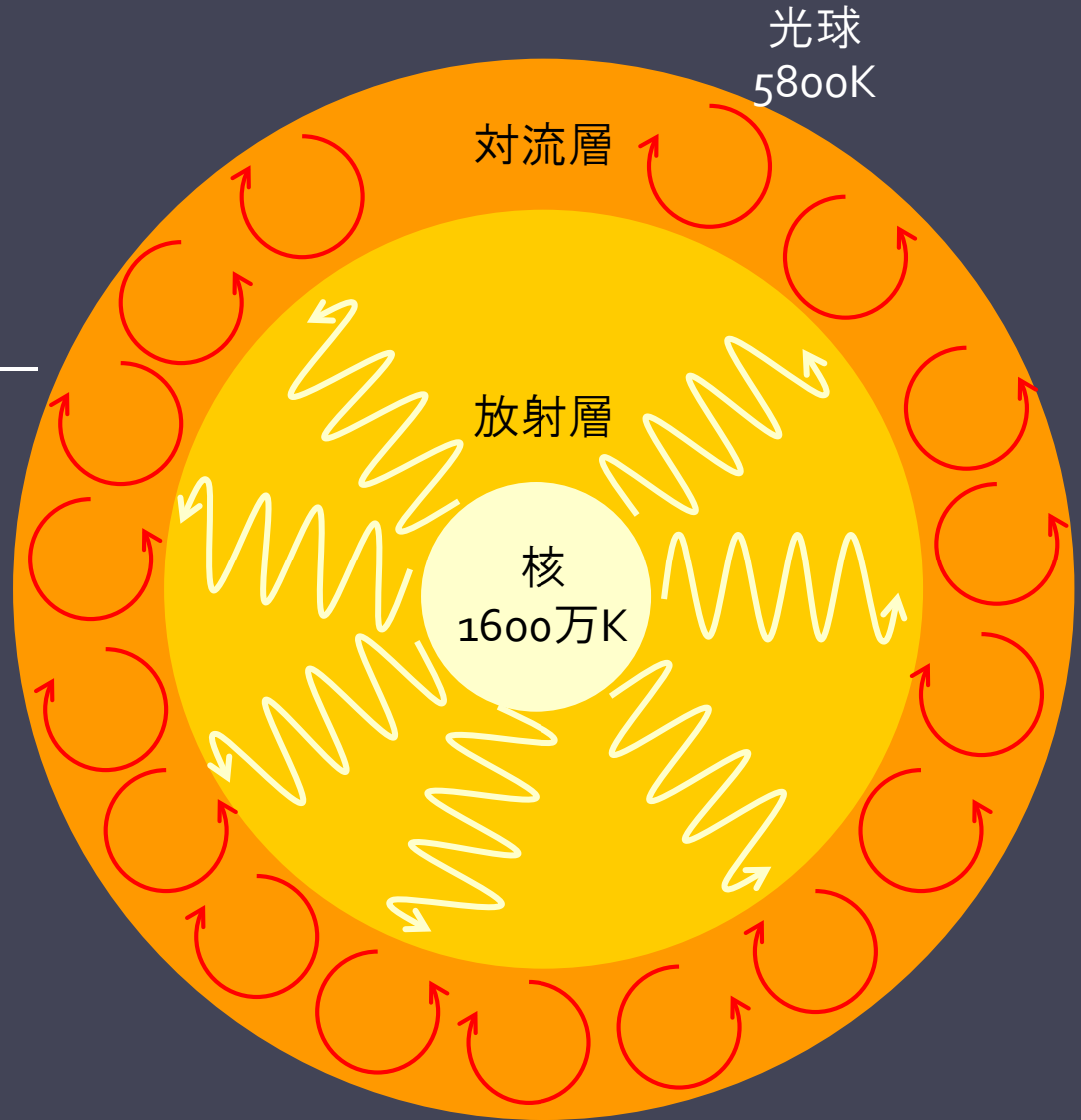
核反応と化学反応の違い

- 原子と原子核の大きさの違い
 - 原子： 10^{-10}m
 - 原子核： 10^{-15}m
- 電子（原子の場合）、核子（原子核の場合）を閉じ込める力
 - 原子： 電磁気力
 - 原子核： 核力
- より小さい領域に閉じ込めるほうがエネルギーが大きい
 - 量子力学を使うと、核子のエネルギーは電子の1000万倍程度



太陽の内部構造

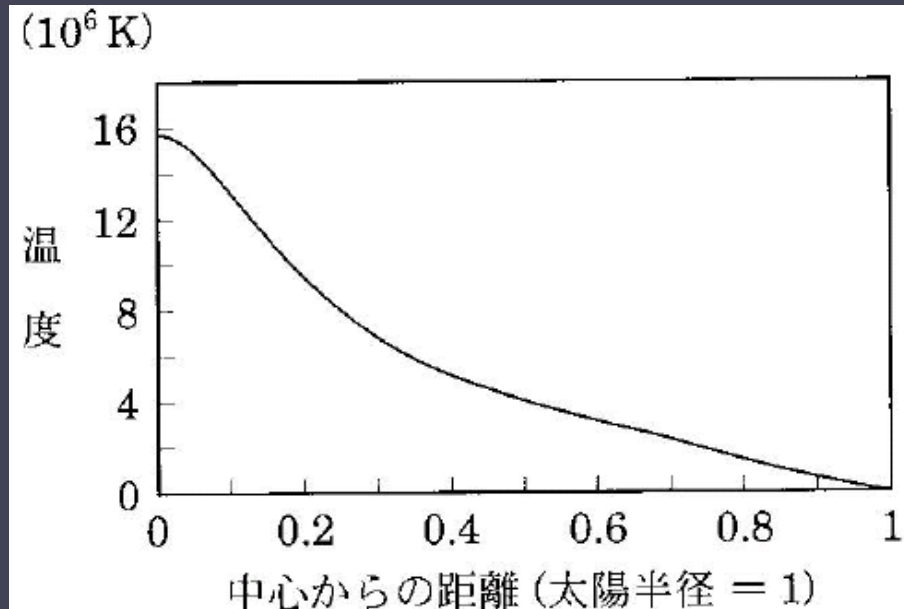
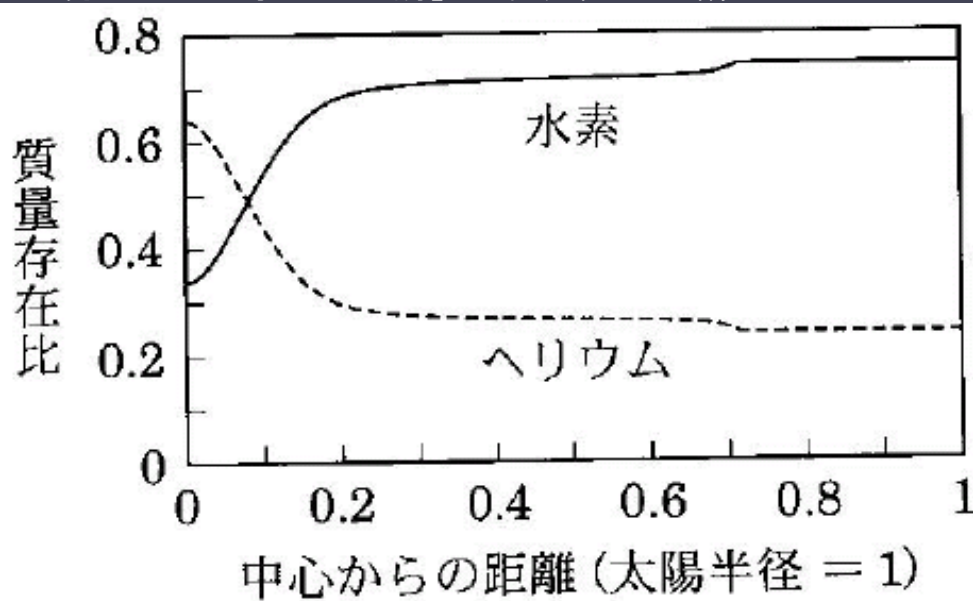
- 核
 - 水素が核融合
- 放射層
 - 光によってエネルギーが運ばれている
- 対流層
 - 対流によってエネルギーが運ばれている
- 光球
 - 太陽の表面



中心核

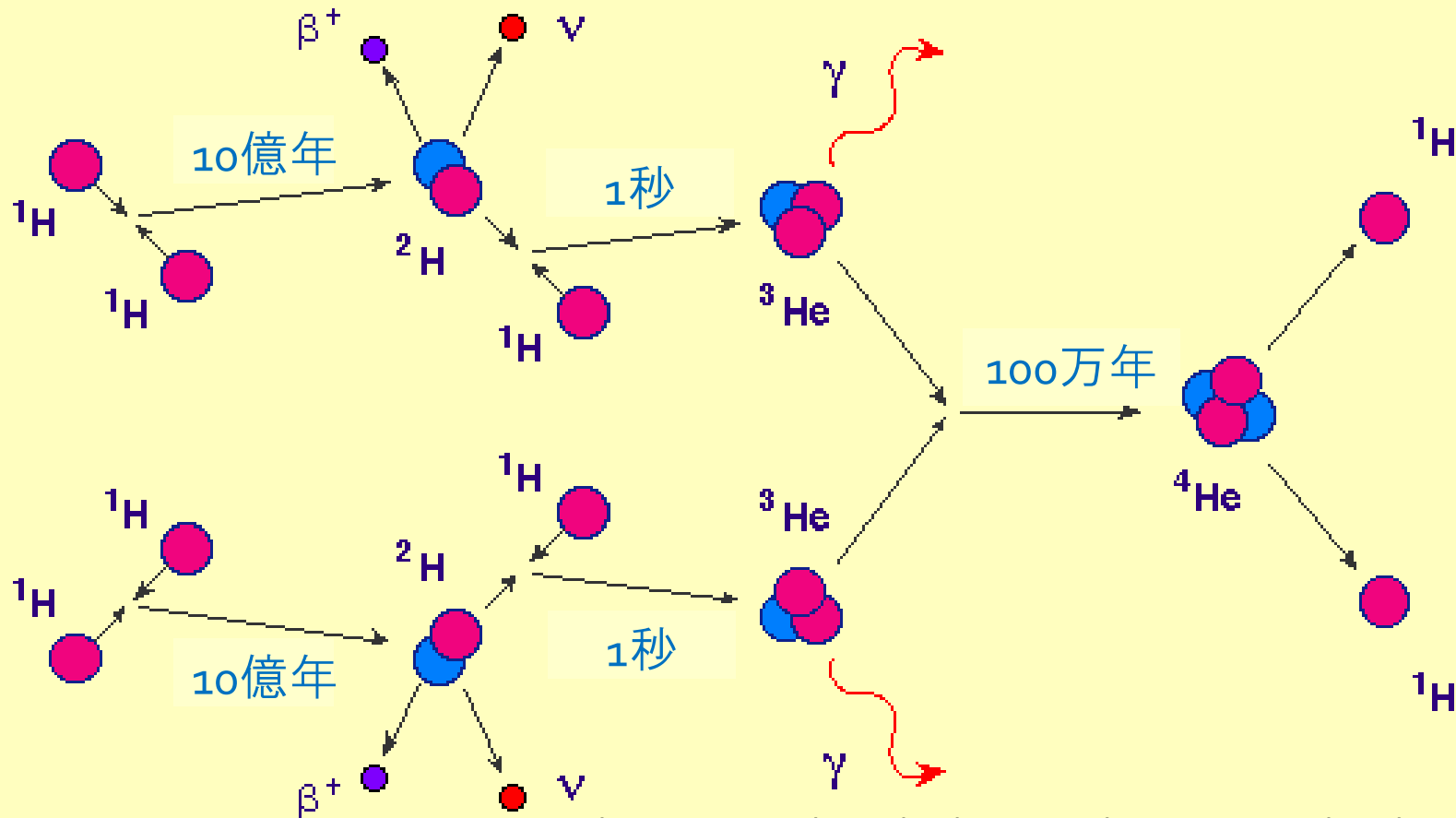
- 水素の核融合反応（ヘリウムができる）
 - 約1600万度
 - 中心から0.2太陽半径まで
 - 毎秒6.1億トンの水素が燃える
 - 中心核にはどんどんヘリウムがたまっていく

「現代の天文学10 太陽」 桜井隆ほか編



水素の核融合反応

- 陽子・陽子連鎖（pp-chain） pp-I
$${}^1\text{H} + {}^1\text{H} \rightarrow {}^2\text{H} + e^+ + \nu + 1.442 \text{ MeV}$$
$${}^2\text{H} + {}^1\text{H} \rightarrow {}^3\text{He} + \gamma + 5.494 \text{ MeV}$$
$${}^3\text{He} + {}^3\text{He} \rightarrow {}^4\text{He} + 2 {}^1\text{H} + 12.860 \text{ MeV}$$



緩やかな核反応

- 太陽は、激しく燃えているように思えるが . . .
 - 中心核でも、1秒間に反応する水素は、 10^{18} 個に1個にすぎない。
 - 中心核のすべての水素が燃えるのに100億年かかる→太陽の寿命
- なぜ、非常にゆっくりと燃えるのだろうか？

熱核反応

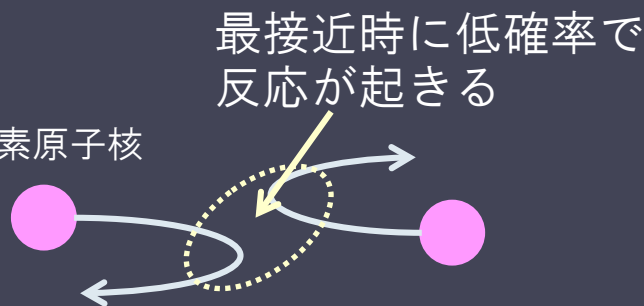
- 高温なほど、水素原子核は激しく運動
 - 電氣的な反発のため、水素原子核はお互いになかなか近付けない
- より高温なら高速で水素原子核をぶつけることができる
 - 最接近距離が近くなる
 - 最接近時にある確率で核反応がおこる
 - 確率は、距離が近いほど高い→ 高温なほど高い(反応率 $\propto$ 温度の4乗)
- 水素爆弾は1億度以上といわれている
- 太陽の中心核は1600万度：非常に低温

水素原子核



低速度で接近した場合、反発

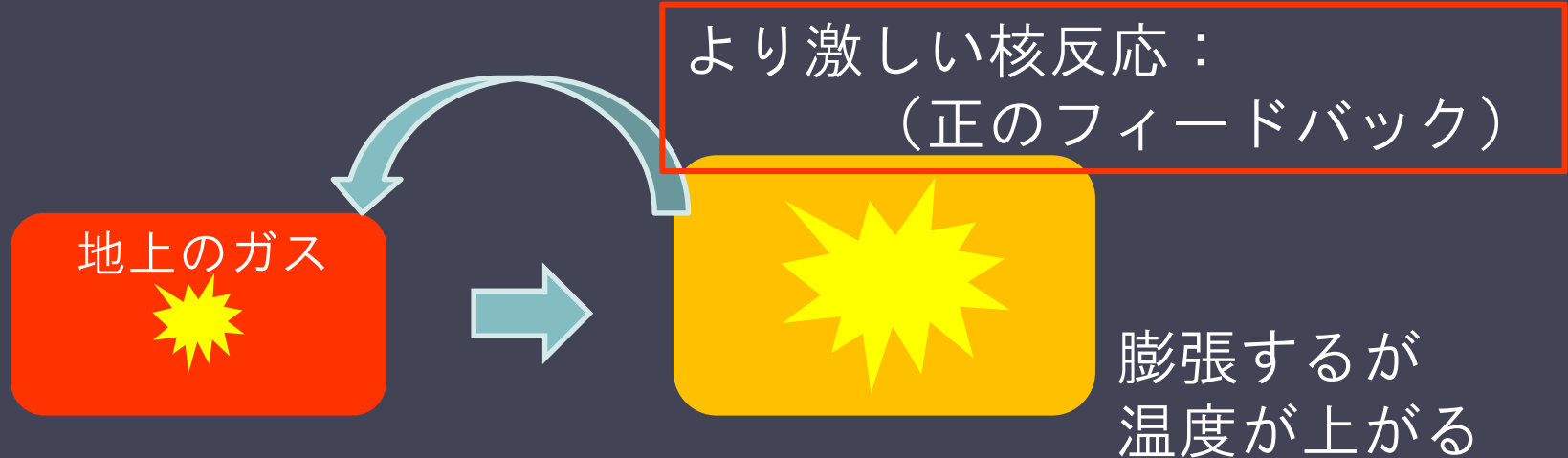
水素原子核



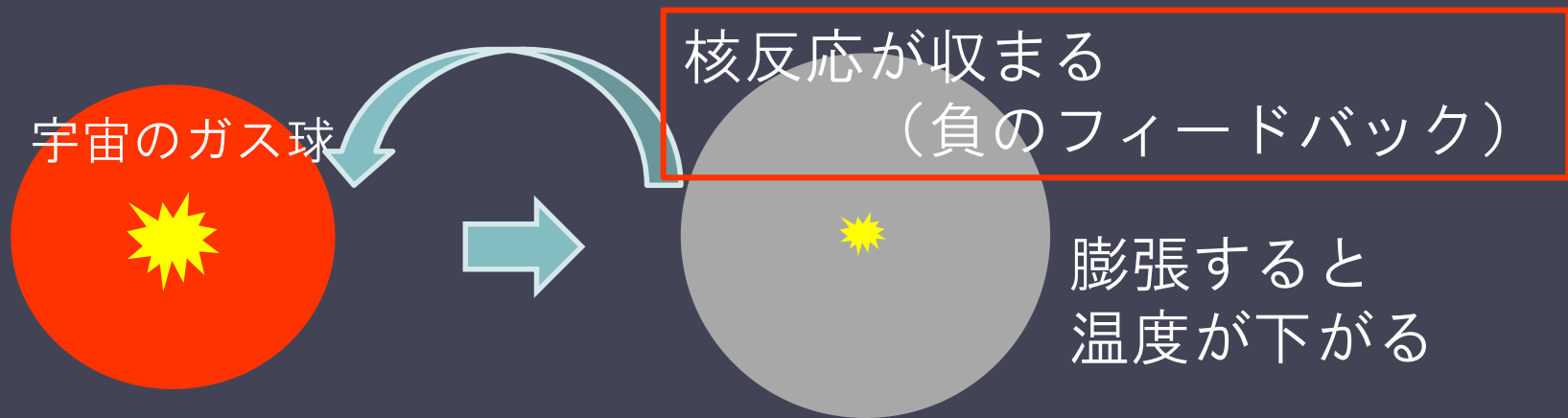
高速度で接近した場合

核反応の自己調節

- 通常の物質---- エネルギー供給されると熱くなる：比熱が正

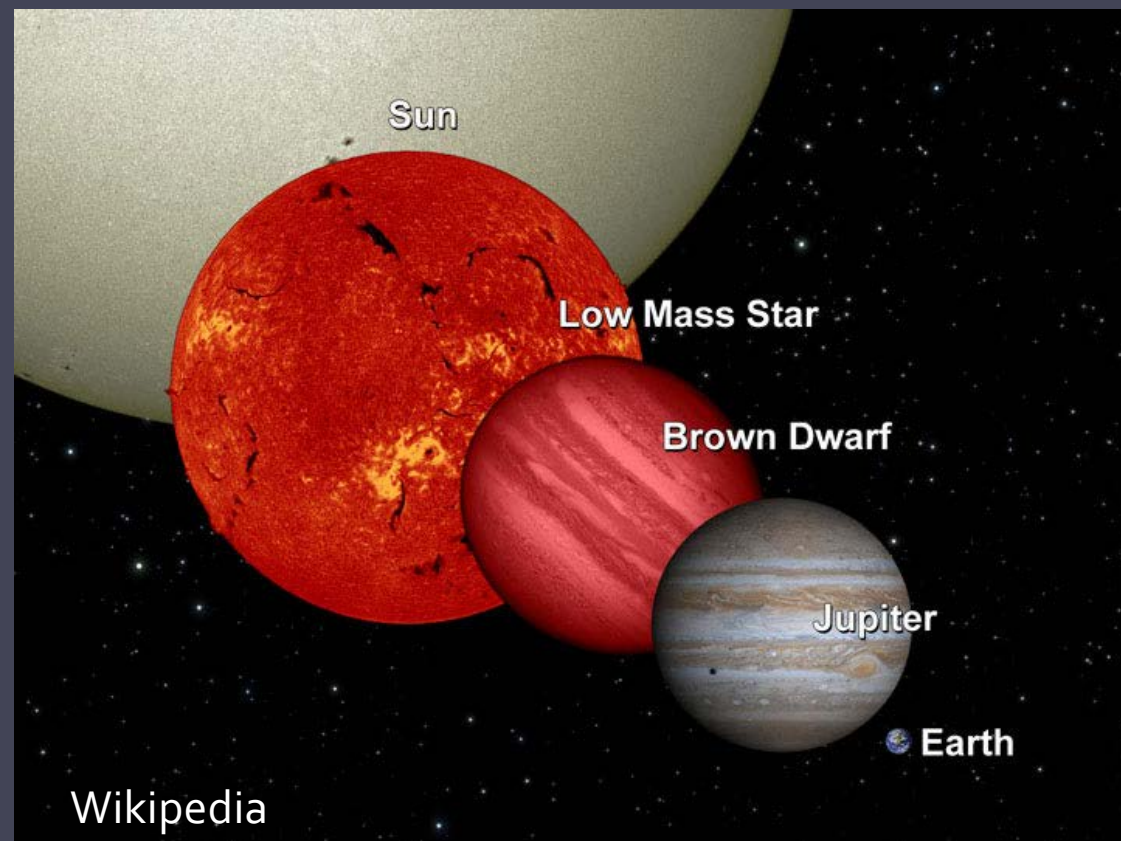


- 重力で固まっているガス球
 - エネルギーが供給されると冷たくなる：比熱が負



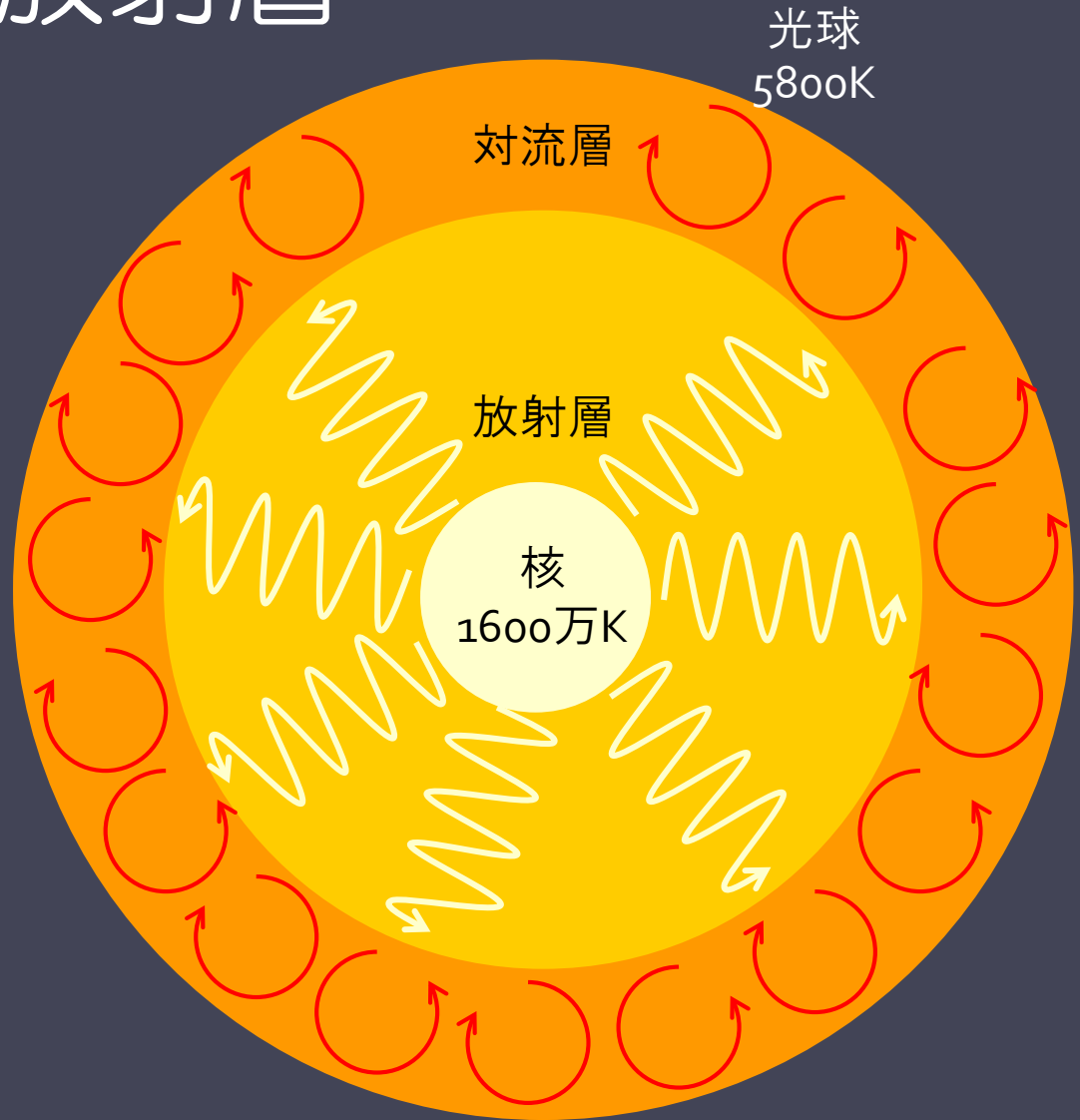
太陽は制御された原子炉

- 自分自身の重力によってガスを閉じ込めている
 - 核融合が起こるのは太陽の0.08倍以上の重さの星
 - それより軽い星は褐色矮星という



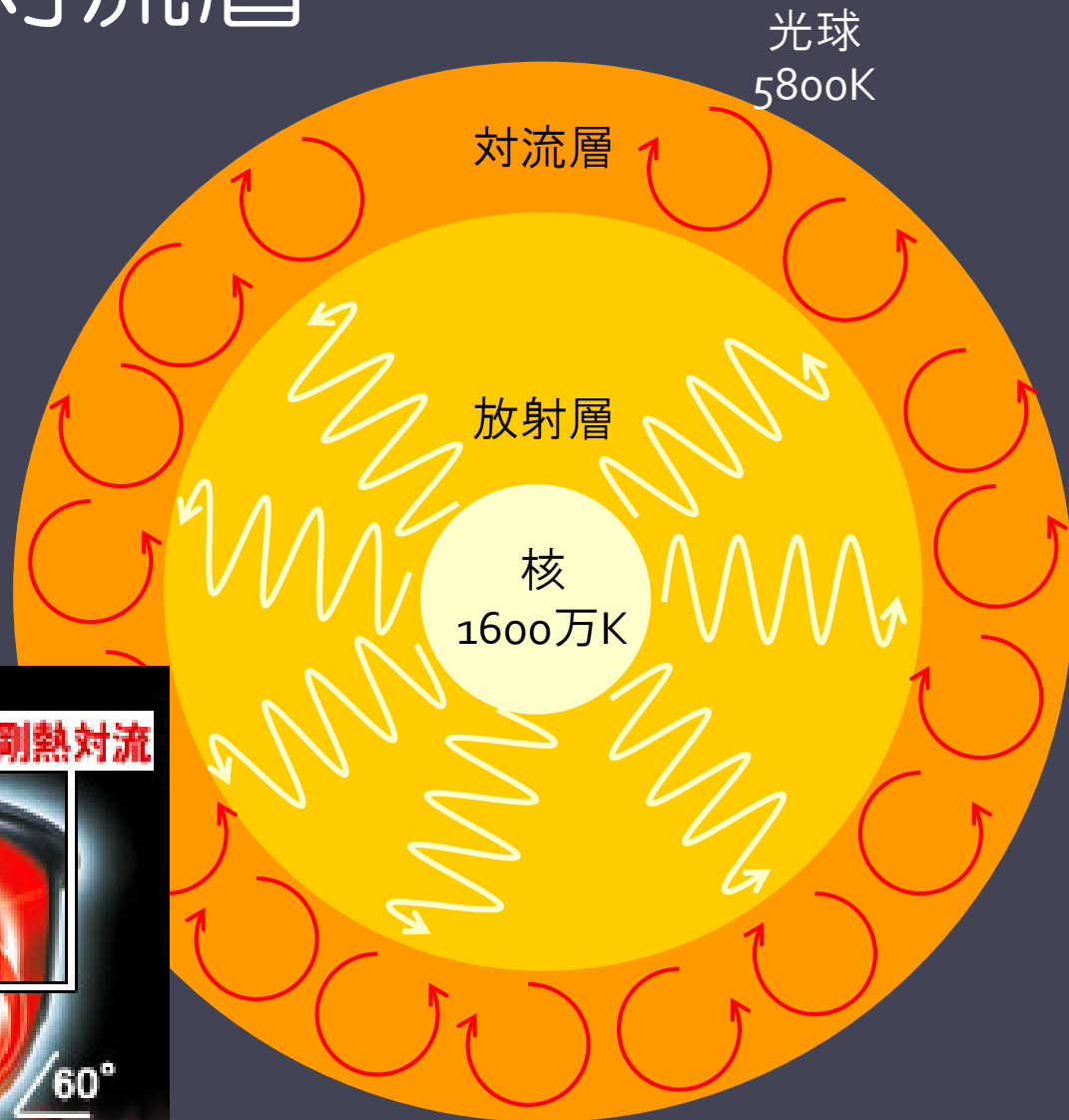
放射層

- 中心核で発生したエネルギー（熱）が光で伝わる領域



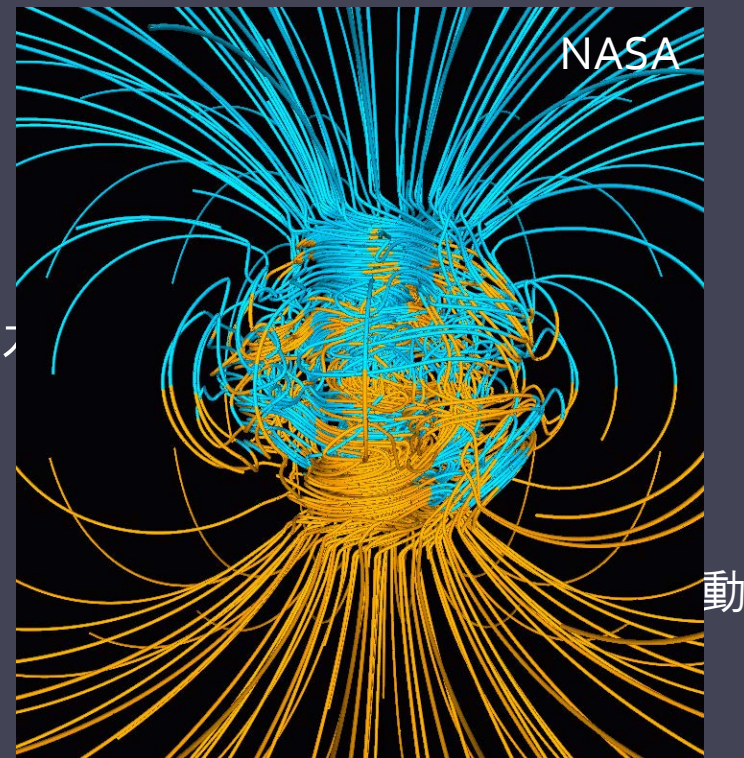
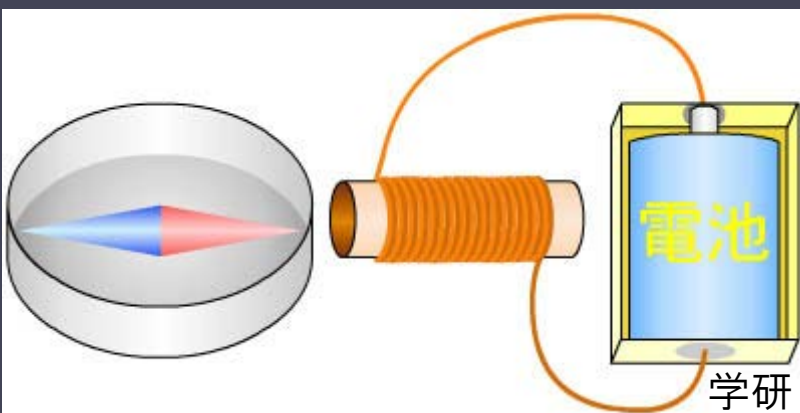
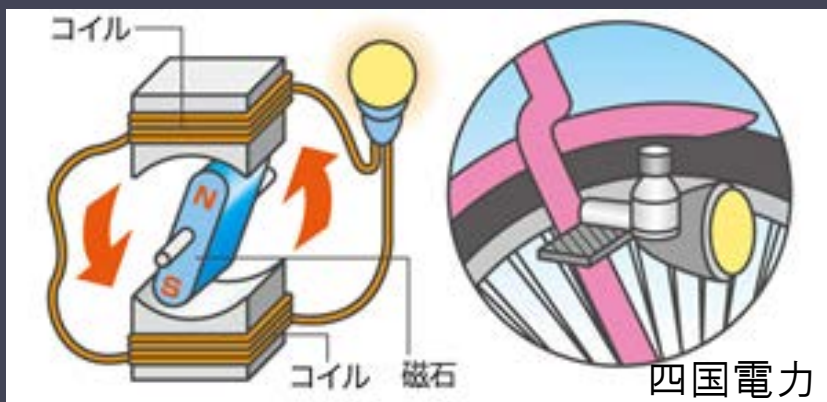
対流層

- 対流が起き、物質がかき混ぜられることによって、熱が運ばれている。
- 磁場が作られている



対流層で磁場が作られる

- 太陽のガスは電流を流す
- ガスは、激しく運動している
- ダイナモ
 - ガスの運動によって磁場が作られる（磁気ダイナモ効果）



動



光球

- 太陽の表面
 - 太陽からの光が私たちにまっすぐ届くようになるところ
 - ガスなので、厚みがある：数100km
 - 太陽半径70万kmよりずっと小さい
- 色温度：5770K

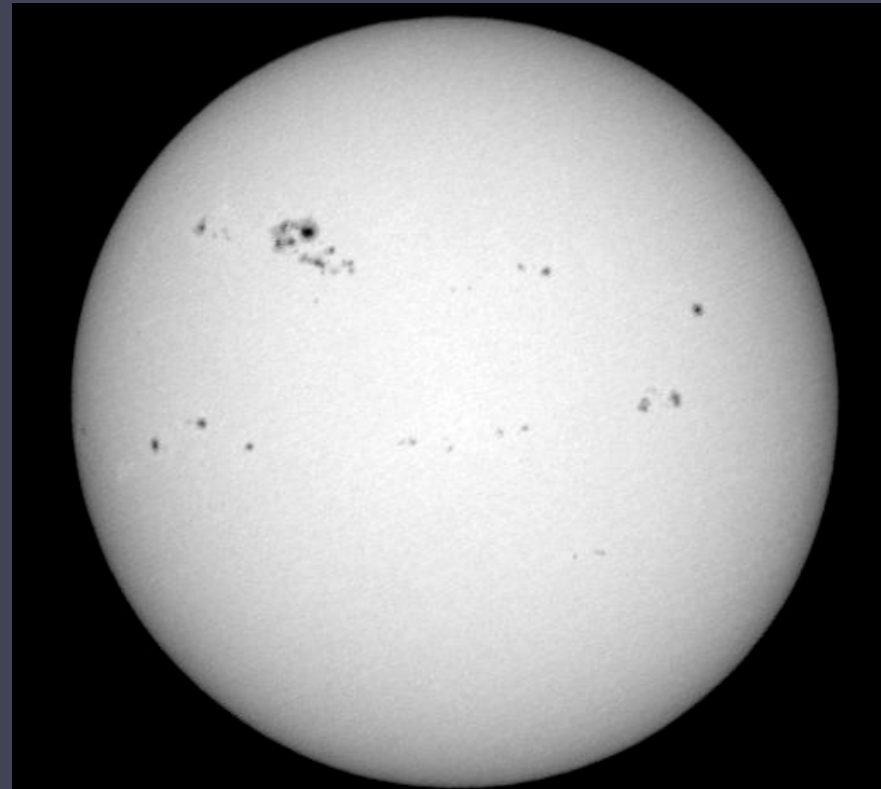
ここからの光は地球に届く

数100km

光球

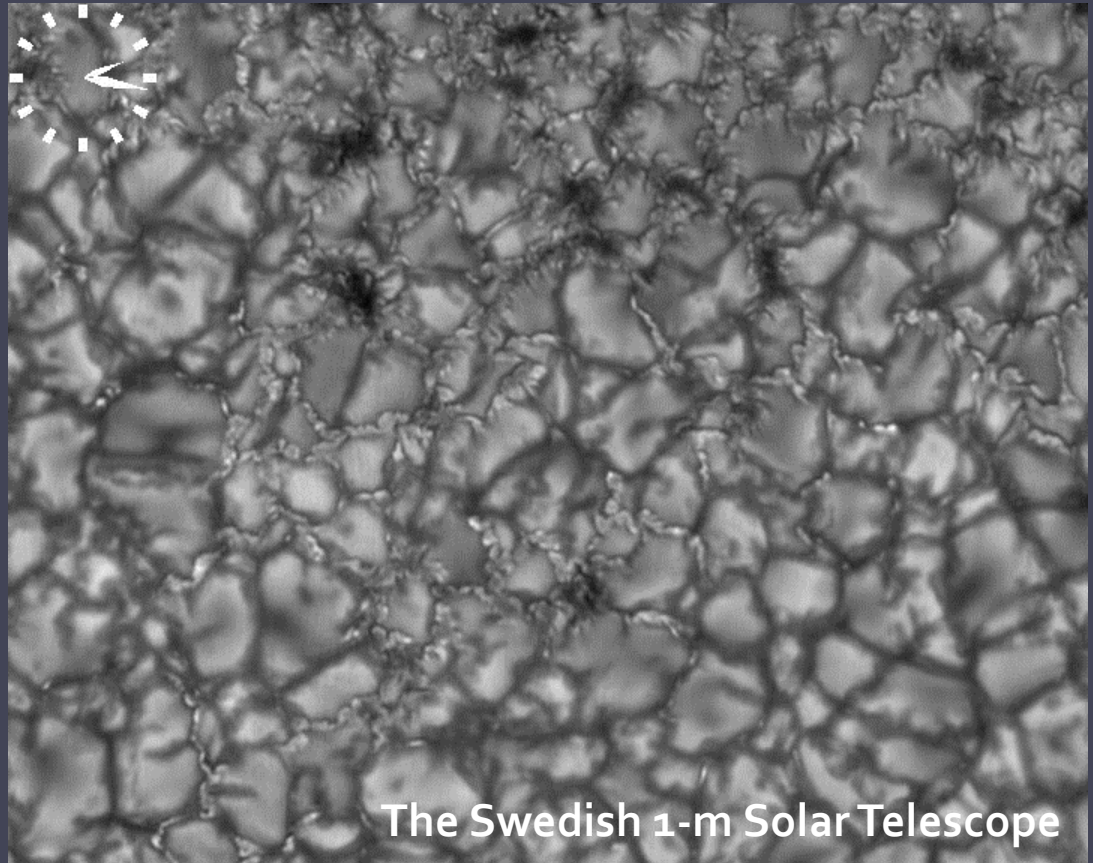
対流層

ここからの光は我々には直接届かない



粒状斑

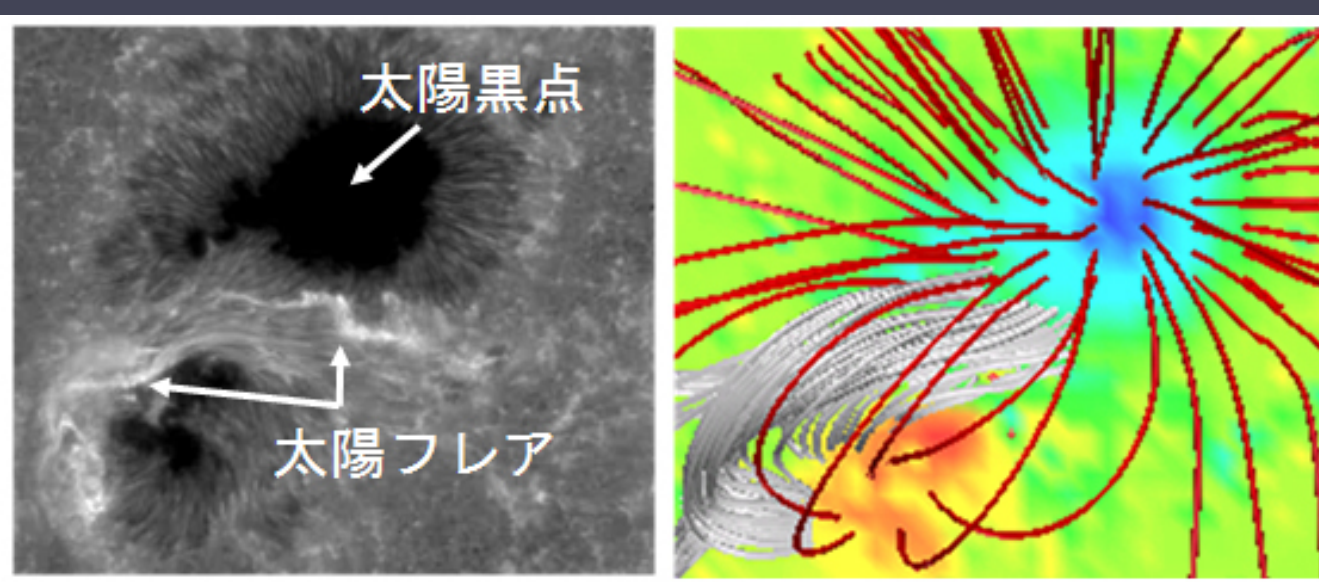
- 対流層の最上部の渦が見えている
 - 明るい部分：高温で上昇
 - 暗い部分：低温で下降
 - 大きさ：約1000km
 - 寿命：6-10分



The Swedish 1-m Solar Telescope

黒点

- 太陽の磁気活動の激しいところ
- 温度が低いので黒く見える (4000K)

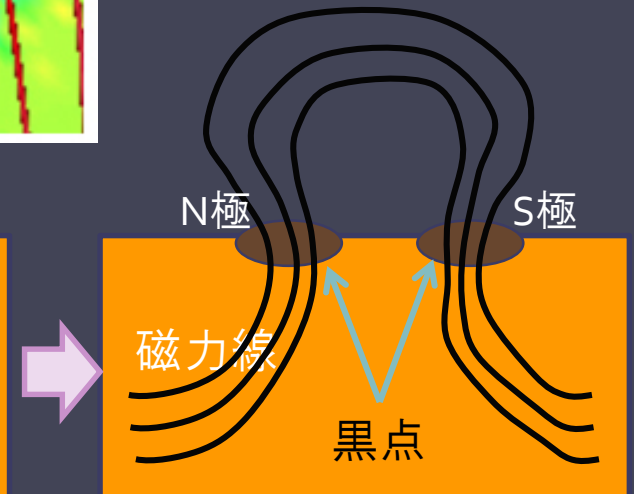


京都大学 http://www.kyoto-u.ac.jp/ja/news_data/h/h1/news6/2009/100315_1.htm

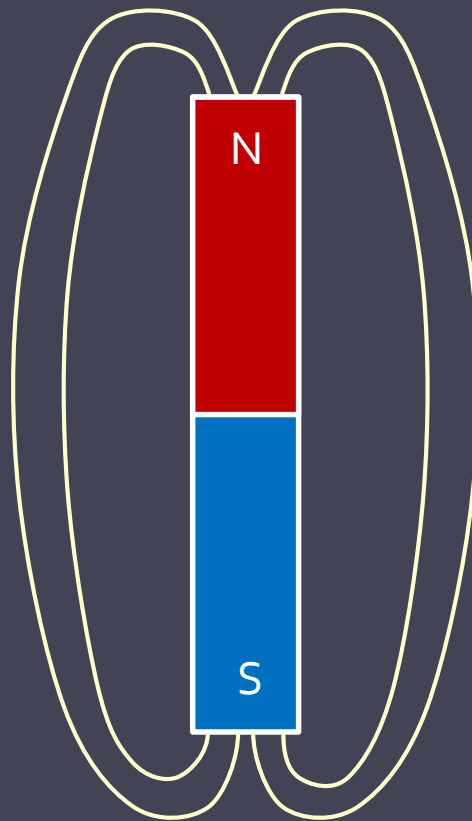
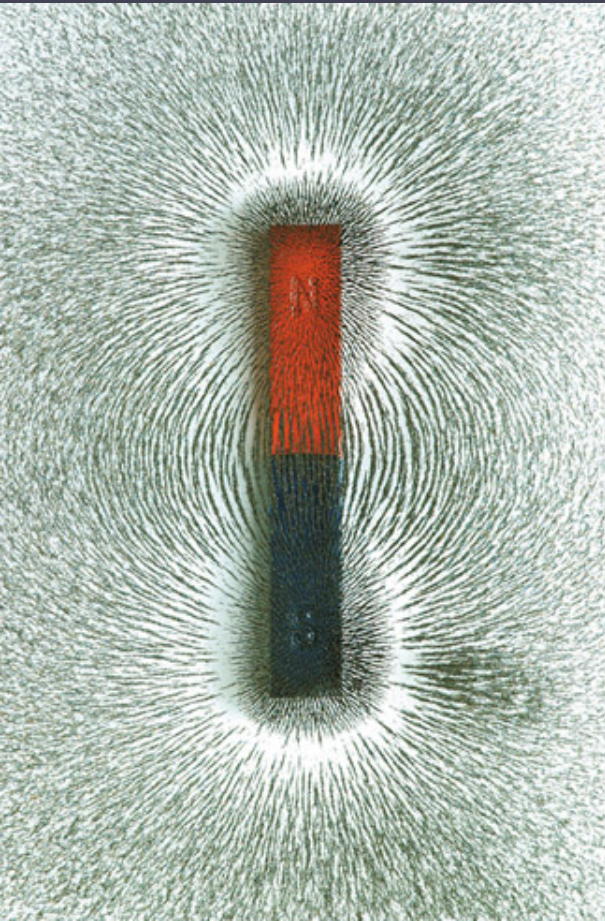
光球面



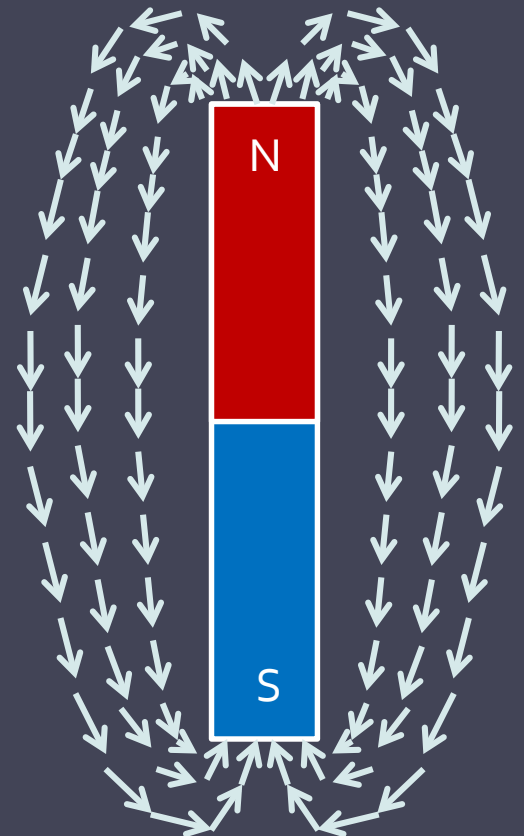
光球面



磁場（磁界）、磁力線

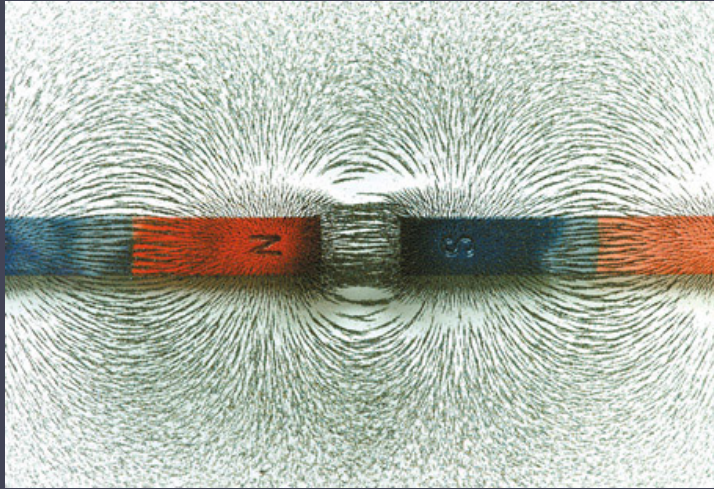


磁力線

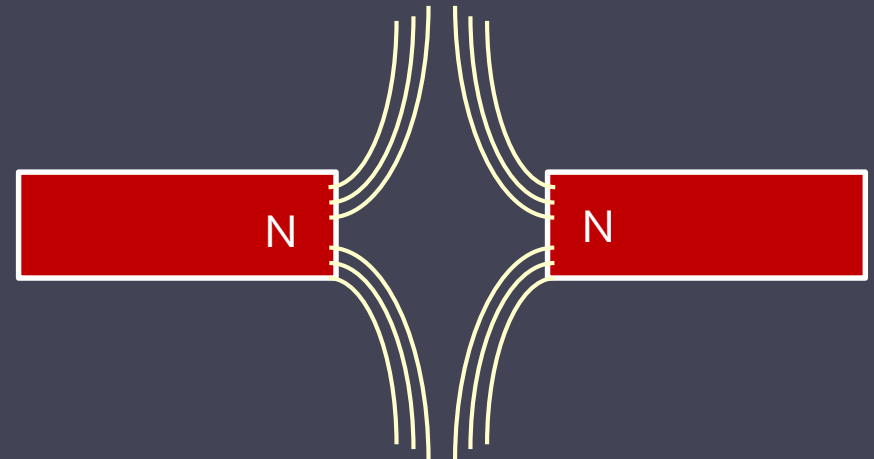
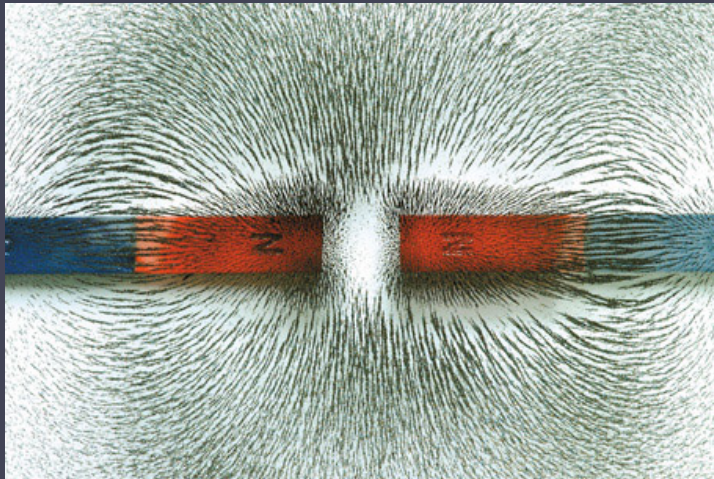


磁場（磁界）

磁力線はゴムひもにも似ている



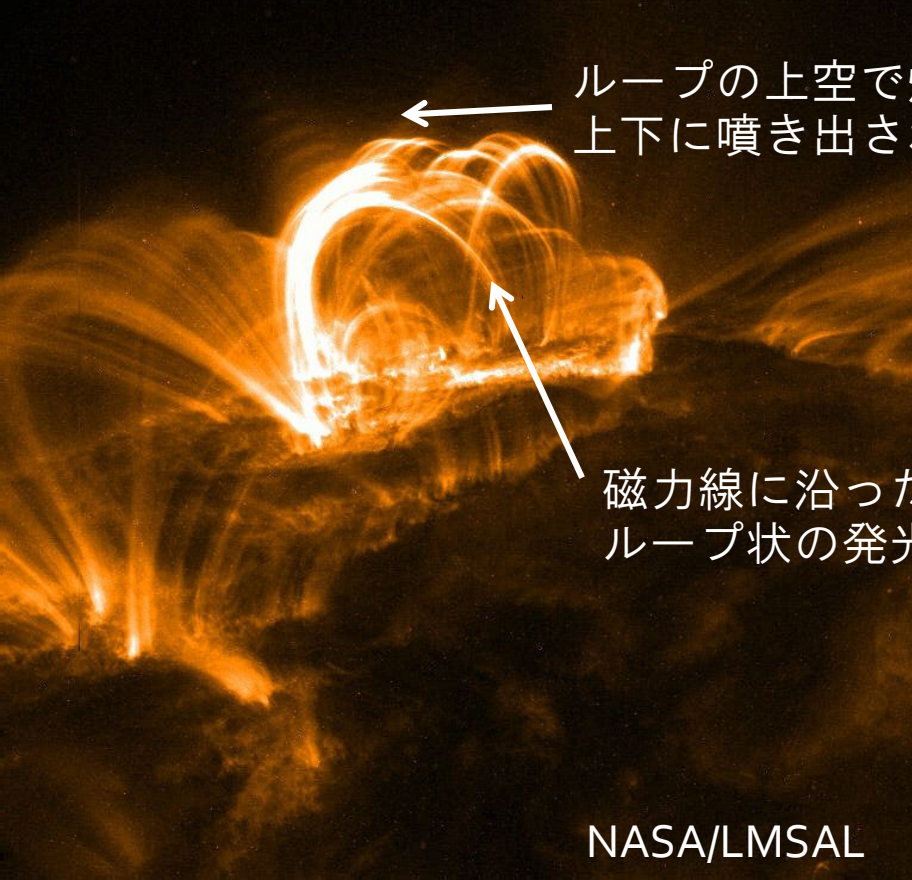
磁力線が縮む



磁力線が反発する

太陽表面の爆発現象（フレア）

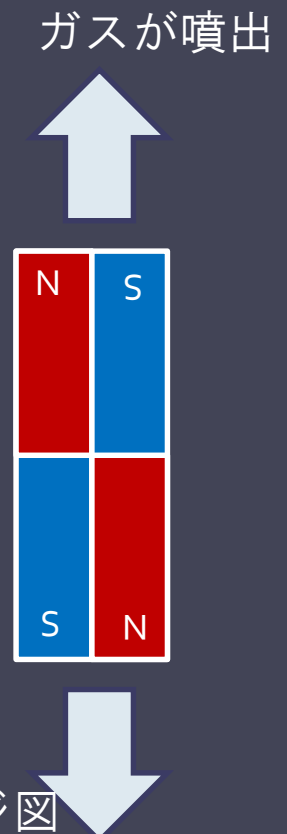
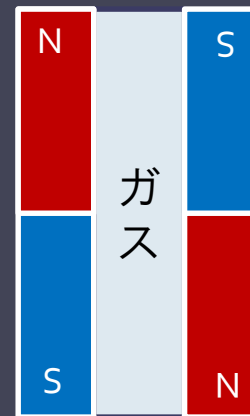
- 太陽表面で、磁場のエネルギーが解放される
- 電波から γ 線までの光
- ガスの激しい運動
- 電子やイオンを高速に加速



ループの上空で爆発。ガスが
上下に噴き出される

磁力線に沿った
ループ状の発光

NASA/LMSAL



フレアの簡単なイメージ図

TRACE衛星が観測した太陽フレア



NASA/GSFC (<http://svs.gsfc.nasa.gov/vis/a000000/a002400/a002464/index.html>)

コロナ

- 高温（100万度）の薄いガス
- 活動領域：ループ状の構造 → 閉じた磁場構造
- コロナホール：磁場が惑星空間に開いている



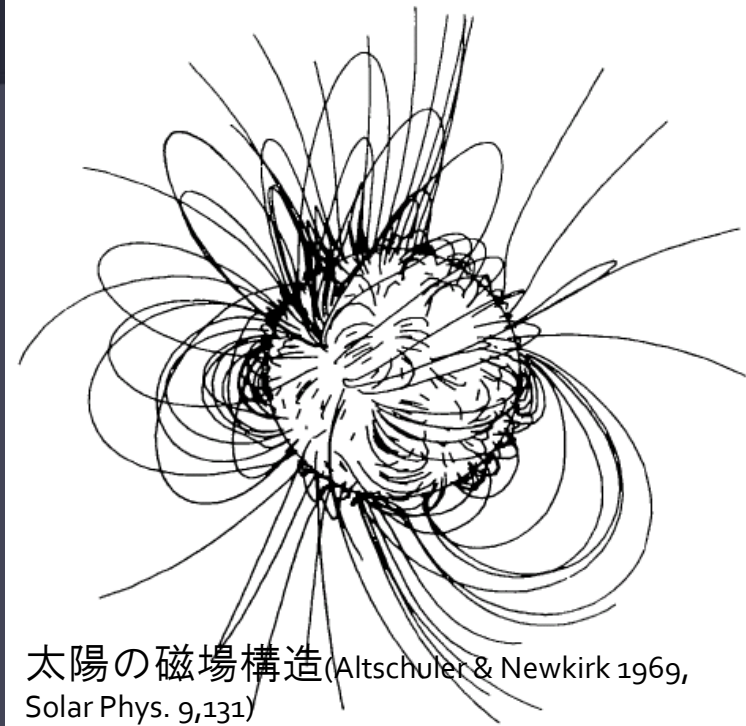
コロナホール



活動領域



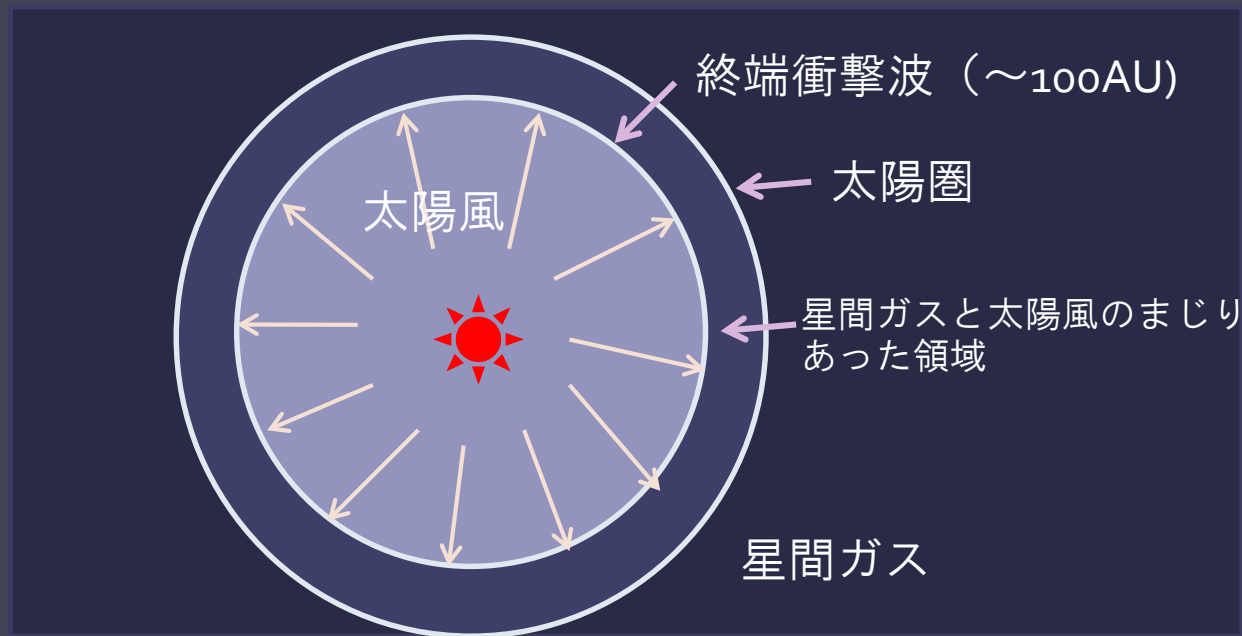
「ようこう」によるX線画像(JAXA)



太陽の磁場構造(Altschuler & Newkirk 1969, Solar Phys. 9,131)

太陽風

- 毎秒100万トンのガスが噴き出している
- コロナは高温（100万度）なので、圧力が高いため、太陽重力に打ち勝って噴き出す
 - 高速風：700-800km/s コロナホールから
 - 低速風：300-400km/s 低緯度から
- 太陽圏
 - 太陽風で満たされた領域（約100天文単位）



参考文献

- 「現代の天文学10巻・太陽」 桜井隆ほか編、
日本評論社