

静岡サイエンスカフェ（平成28年9月29日）

第100話

宇宙の99.99%は**プラズマ**で
できている！

（その中で、人間はどうして生きられるのか）

天岸 祥光

「プラズマ物理学」は 20世紀に生まれた新しい学問

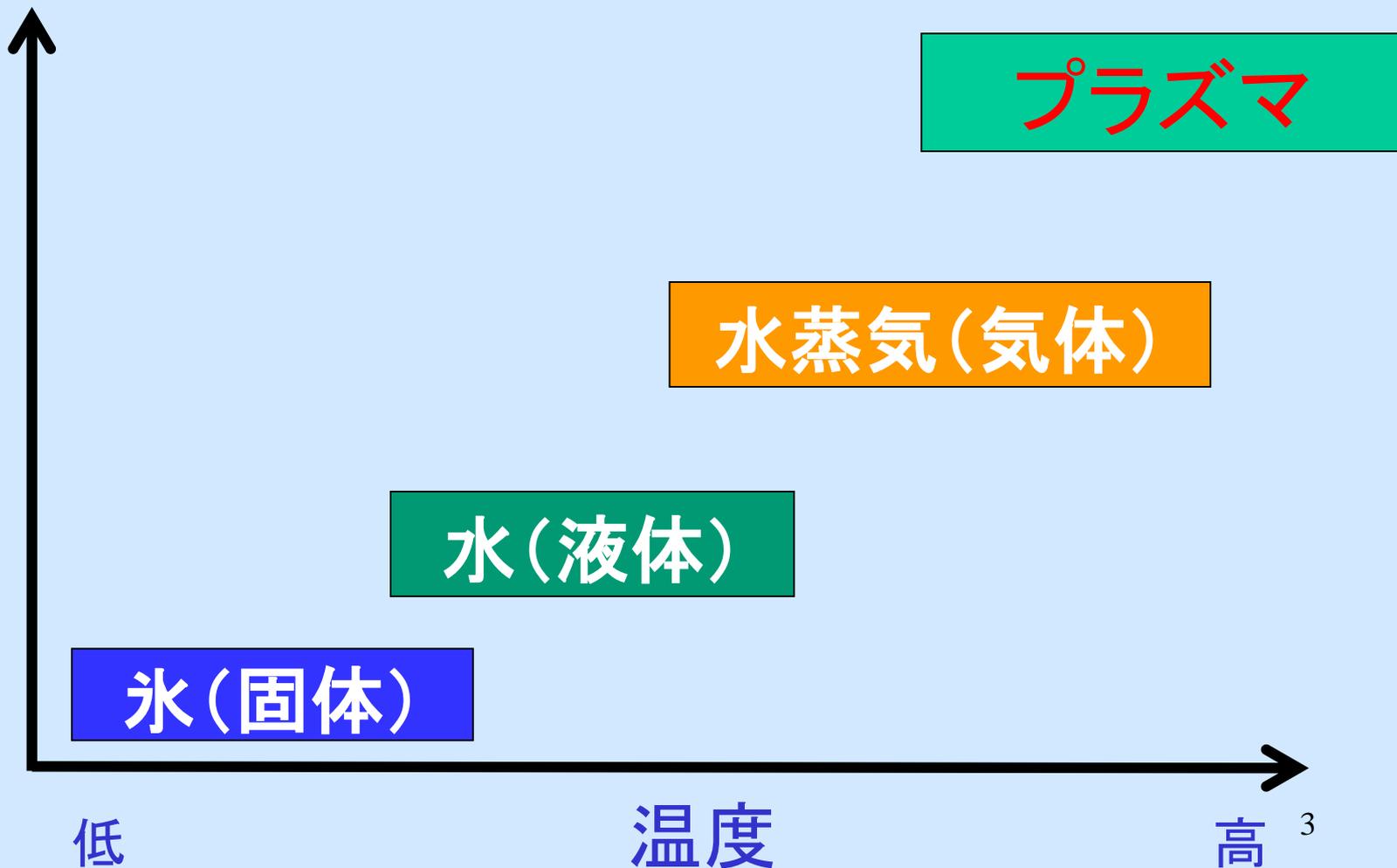
・プラズマ物理学 20世紀中期ごろから急速に発展

その<理由> 二つの「発見」

- ① 宇宙の90%以上がプラズマである
ことの発見！
- ② 夜空の星々(恒星)がプラズマを使っ
て「核融合」を起こしていることの発見！
→ 地球上に人工の太陽を！

まず水(H₂O)をイメージしてください

物質状態(相)



地球上のあらゆる物質は

温度上昇に伴って

「固体」→「液体」→「気体」→「プラズマ」

と物理状態は変化する。

気圧によっては、途中を飛ばすことがある。

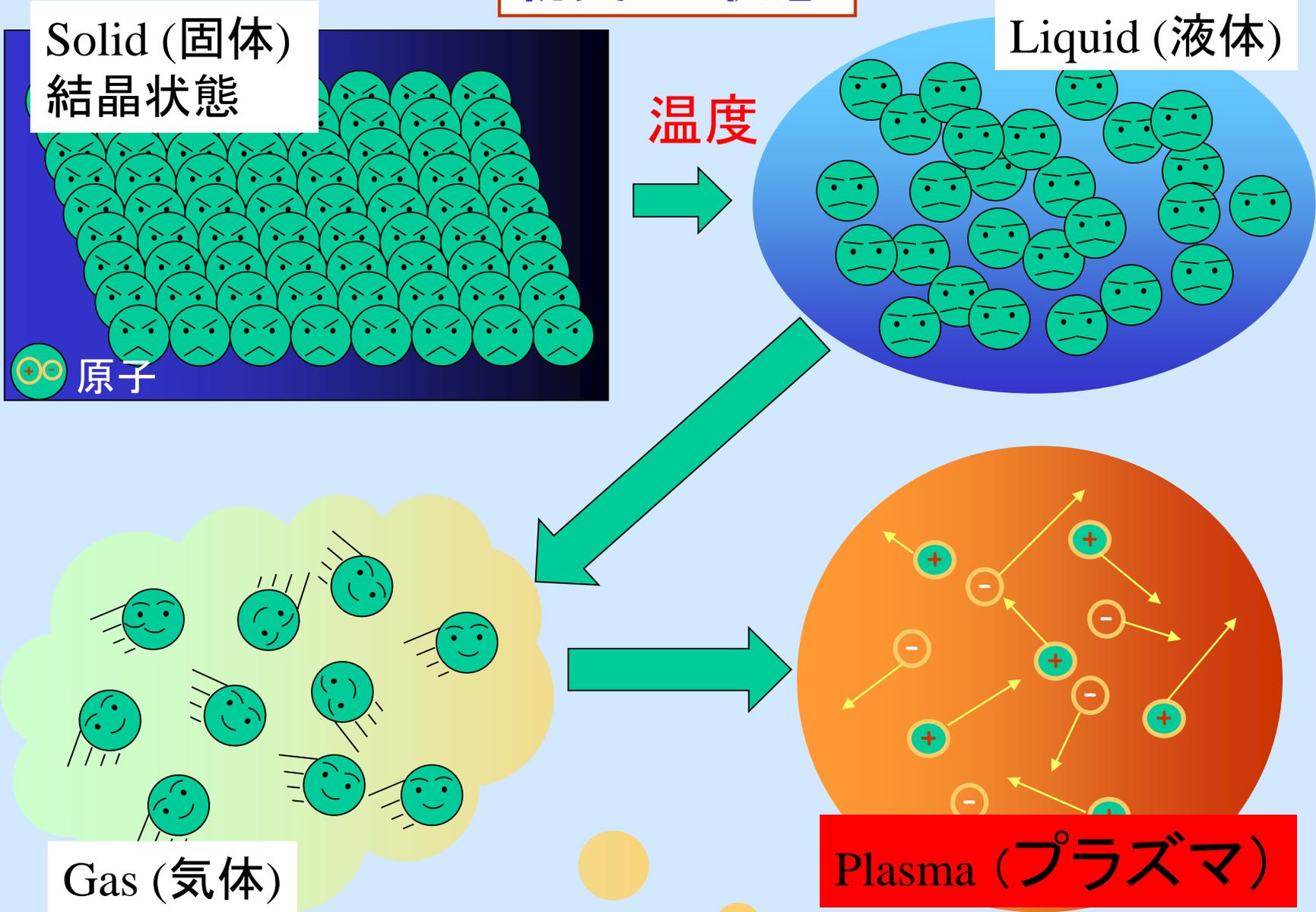
<例>

ドライアイス

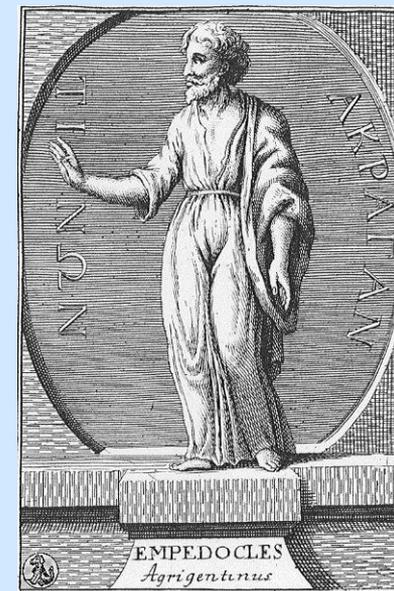
1気圧の下では、固体から気体に代わる。

(昇華)

物質の4状態



ギリシャの哲学者エンペドクレス (B.C.494頃～434頃)



万物のもと

土 水 空気 火

(現代物理学での物質の状態の分類は)

個体 液体 気体 プラズマ

宇宙の99.99999...%は
(ダークマター等は除く)

プラズマ状態

プラズマの例

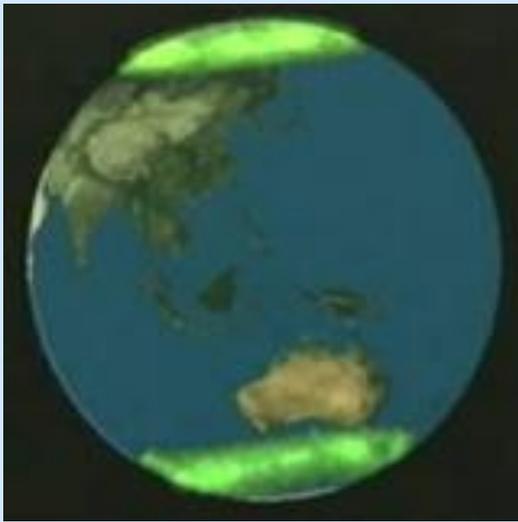
(1) オーロラ [\(a\)](#) [\(b\)](#) [\(c\)](#)

(2) 太陽 [\(a\)](#) [\(b\)](#) [\(c\)](#)

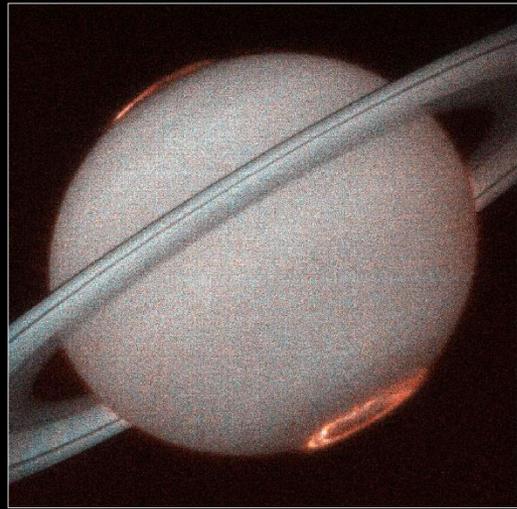
(3) 銀河・星雲 [\(a\)](#) [\(b\)](#)

(4) 実験室プラズマ [\(a\)](#) [\(b\)](#)

(c)

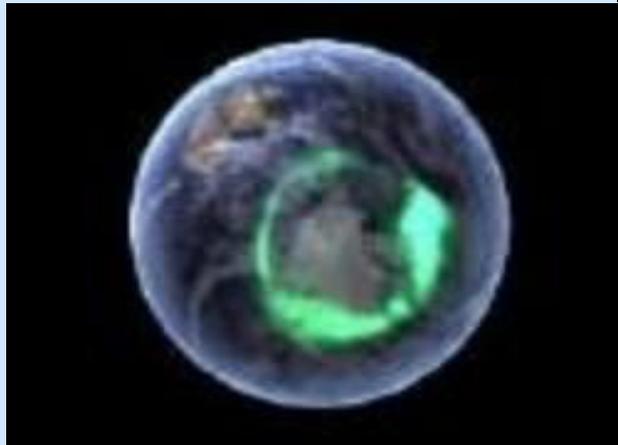
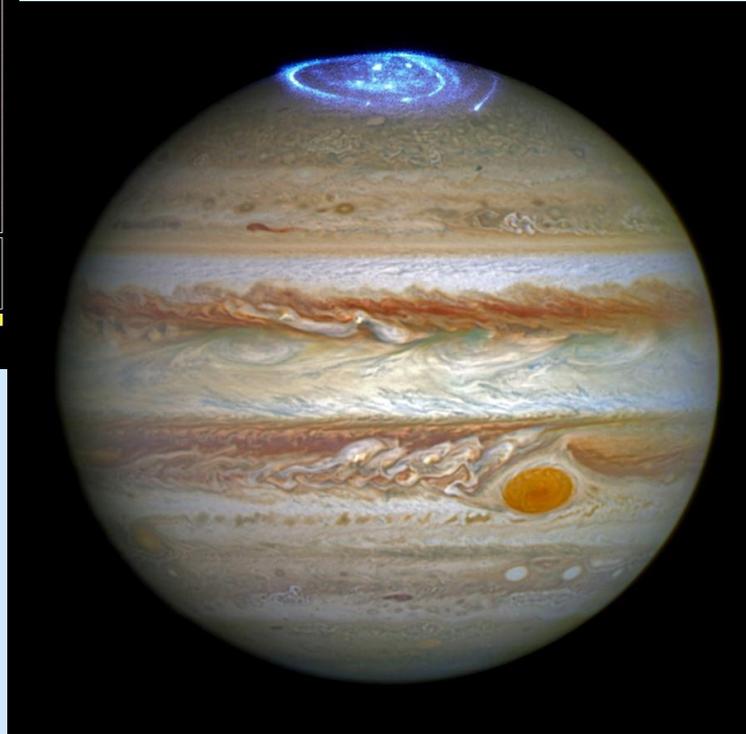


地球のオーロラ



Saturn Aurora
Hubble Space Telescope • STIS

PRC98-05 • ST Sd OPO • January 7, 1998 • J. Trauger (JPL) and NASA



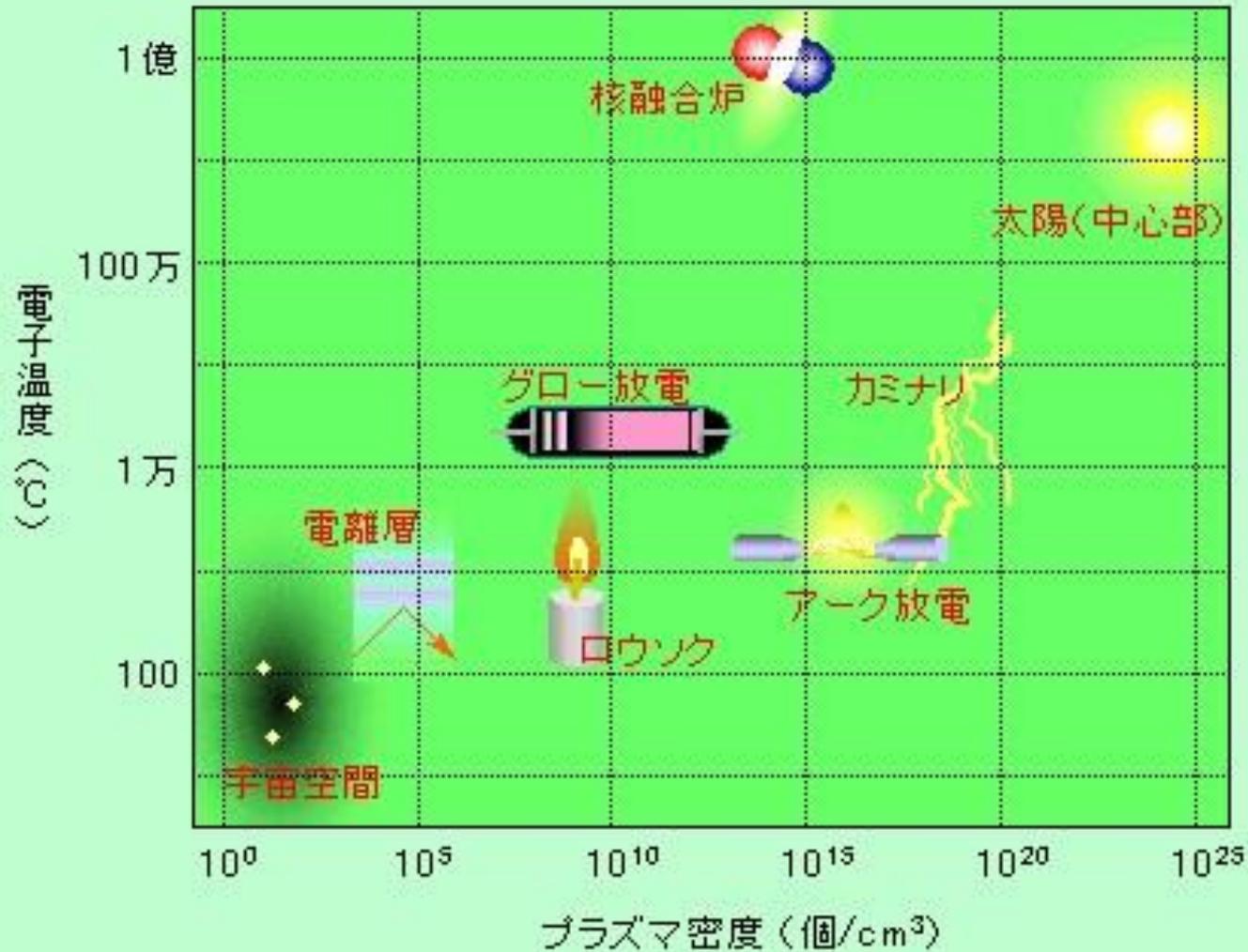
南極のオーロラ

土星のオーロラ

木星のオーロラ

ハッブル望遠鏡で撮影に成功
(H28.7.1)

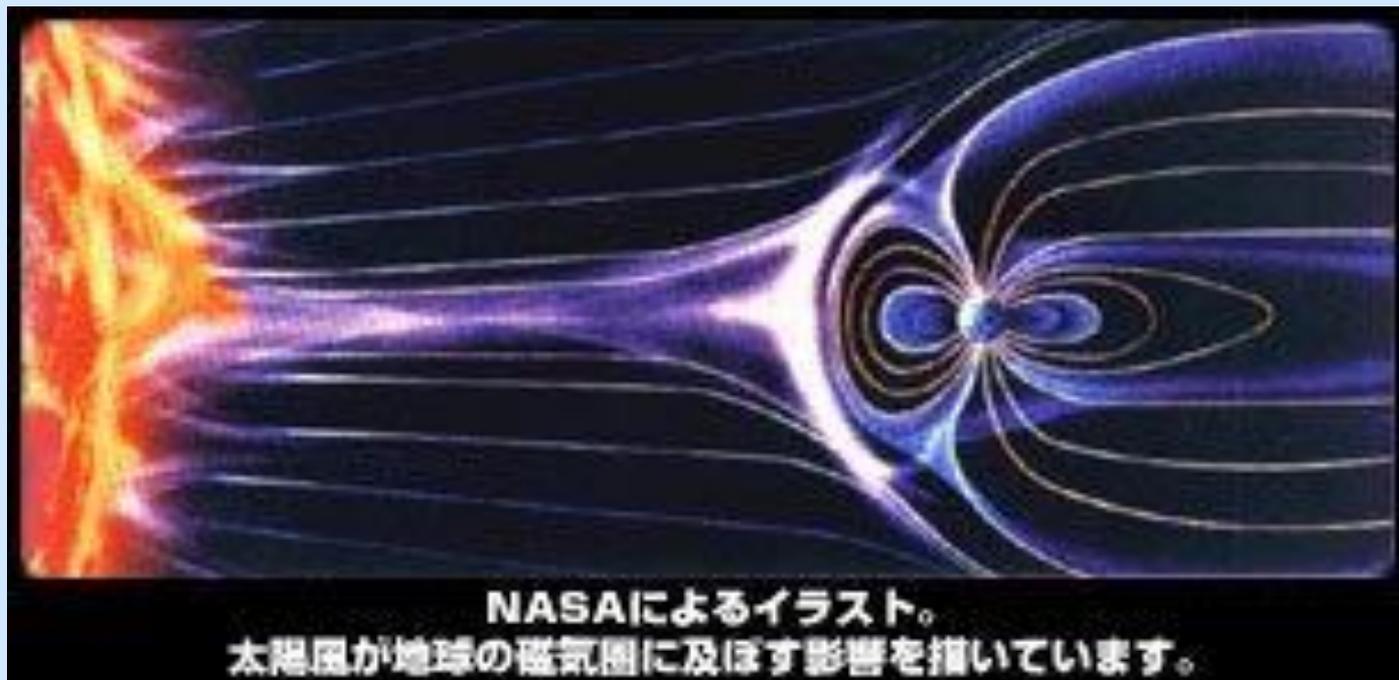
様々なプラズマ



しかし、我々の住んでいる地球は

- ・ 固体、液体、気体でできていて、
プラズマ状態はほとんどない！
- ・ 上空電離層からプラズマ状態が現れ
宇宙空間はプラズマ粒子で満ちている！

太陽表面から噴き出した**太陽風**は宇宙空間に流れ出し、地球磁場はその侵入を防いでいる。



太陽風とは：陽子と電子の流れ＝**水素プラズマ**

アインシュタインの相対性理論 (特殊相対性理論)

- 質量はエネルギーに変換される！

$$E = mc^2$$

(注: エネルギーは質量を持たない)

E : (原子力) エネルギー

c : 光速

m : 質量

エネルギーの発生方法は 二通りある！

化学反応

- ・原子の外殻電子の結合
- ・人間生活のほとんどのエネルギー源は化学反応

核反応

核分裂

核融合

どちらも $E = mc^2$
でエネルギーを発生

これを原子力エネルギーという。

原子力エネルギーは2種類ある！

原理は同じ(アインシュタインの相対性理論)

1) 核分裂反応

原子力発電は、すべてこの反応を利用して、
お湯を沸かし、その蒸気で発電タービンを回している
(しかし、今回は、原発、原爆の詳しいこの話はしない)

2) 核融合反応

我々の太陽は核融合で燃えている！

夜空に輝く星(恒星)は全て天然の核
融合炉の炎！

その二つを核反応式で書くと

1) 核分裂・・・重い元素 ウラン (原爆、原発)



A、B: 核分裂生成物(セシウム、
ストロンチウムなど)

放射性廃棄物、死の灰ともいう

2) 核融合・・・軽い元素 水素(プラズマ状態)



核融合に話を戻すと・・・

2) 核融合・・・軽い元素 水素(プラズマ状態)
(太陽) $4\text{H}^1 \rightarrow \text{He}^4 + m \cdot \text{C}^2$

(4つの陽子=4つの水素原子核)

(ヘリウム原子核)

質量は $4\text{H}^1 > \text{He}^4$ のはず

$4\text{H}^1 > \text{He}^4$ の確認

周期律表

周期律表より

- ・水素原子量 1.00794
- ・ヘリウム原子量 4.00260

$$4 \times 1.00794 = 4.03176 > 4.00260$$

よって発生するエネルギーは、1モルあたり

$$m \cdot C^2 = (4.03176 - 4.00260) \times C^2 > 0$$

(光速: $C=3 \times 10^{10}$ cm/s)

これが、太陽の発する核融合エネルギー

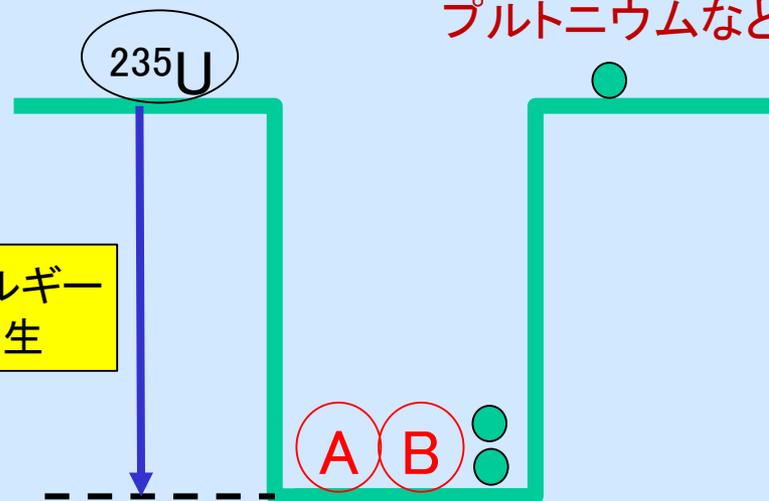
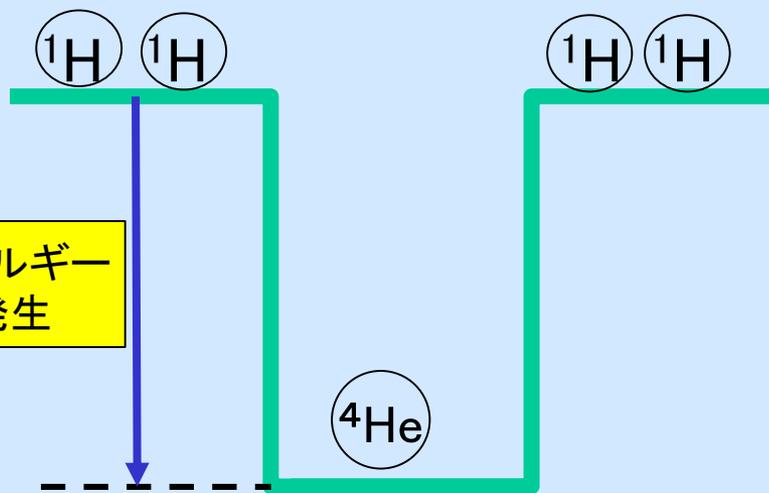
原子力エネルギーの発生方法 (まとめ)

①核融合

(鉄より軽い元素)

②核分裂

(鉄より重い元素、ウラン、
プルトニウムなど)



^1H : 水素原子核

^4He : ヘリウム原子核



^{235}U : ウラン235原子核

A B: 核分裂生成物

(セシウム137、ヨウ素131など
沢山ある)

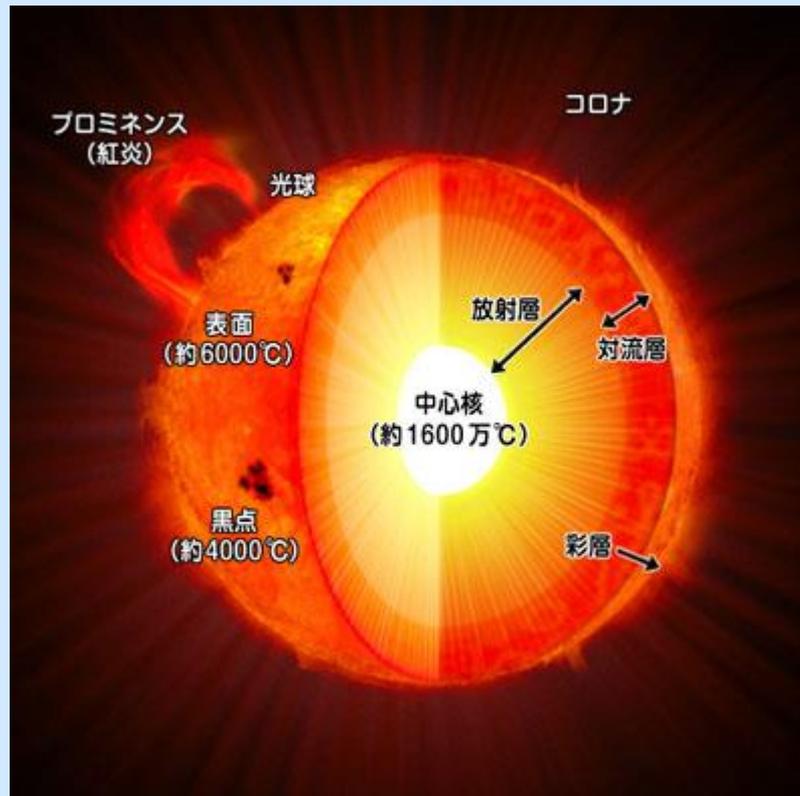
●: 中性子

核融合はプラズマが起こす！

我が太陽は、高温・高圧のプラズマの塊
中心で核融合を起こしている

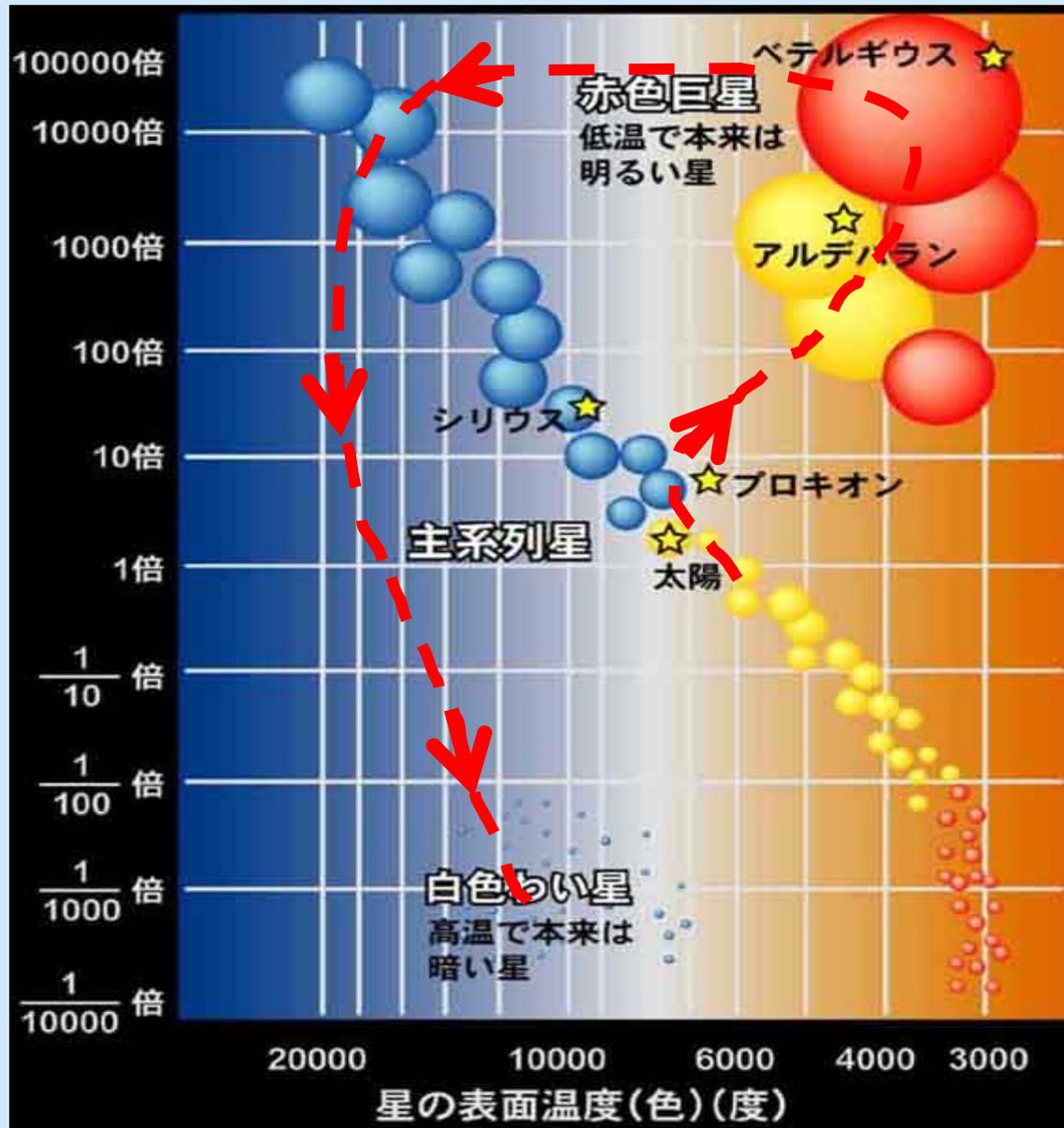
夜空に輝く星(恒星)はすべて核融合を行っ
て光っている

我が太陽の内部



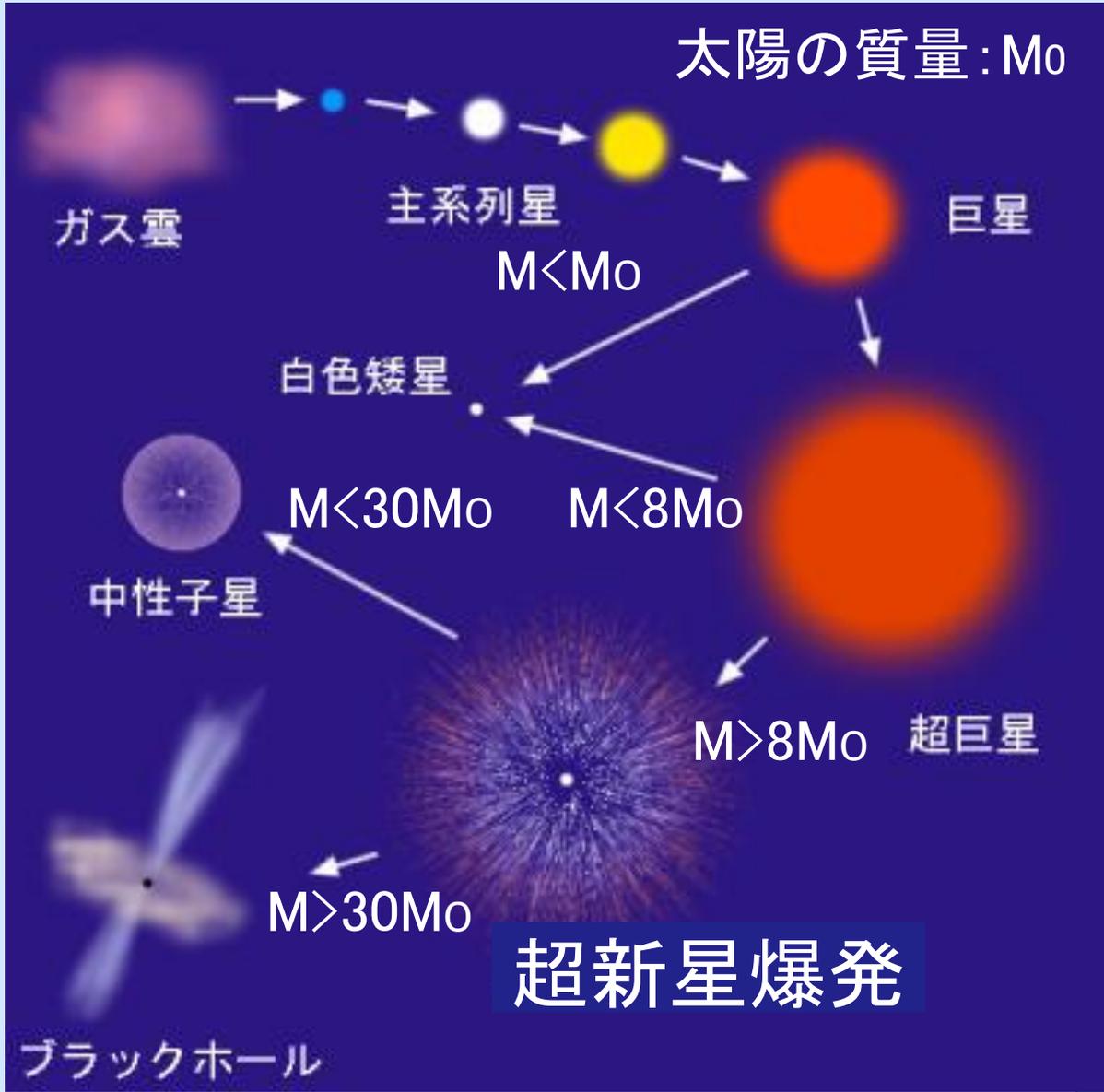
宇宙の星々(恒星)を巧みに
分類すると
(HR図)

絶対等級(明るさ)

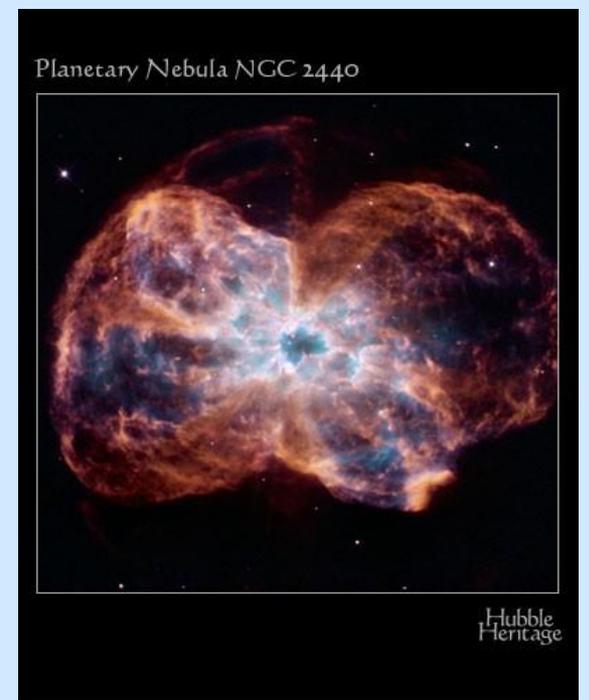


オリオン座 左肩の赤い星が「赤色巨星」のベテルギウスという変光星です。

太陽の一生



超新星爆発



我々の太陽はブラックホールになれない

朝日新聞平成19年2月20日

地球上の元素、宇宙の元素

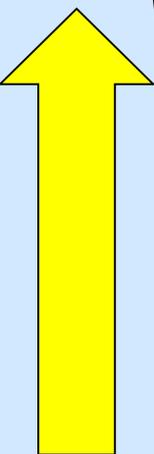
地球だけを見ても、軽い水素だけでなく、様々な金属元素、動物の骨の成分カルシウム、ウラニウムなどの超重量元素が存在している。

宇宙のこういった重い元素の存在は、太陽が行っている核融合反応だけでは説明ができず、長い間謎であった。

そこで、宇宙の重い元素はどうやって生まれたのか、簡単に触れておく。

元素は宇宙のどこで造られるか

温度



水素
ヘリウム
リチウム
(~10億度)



ビッグバン

ベリリウム
ホウ素
(~0度)

宇宙空間

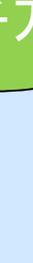
燃料
H

核融合 Heなど

ヘリウム
(~1千万度)

太陽(恒星)

燃料



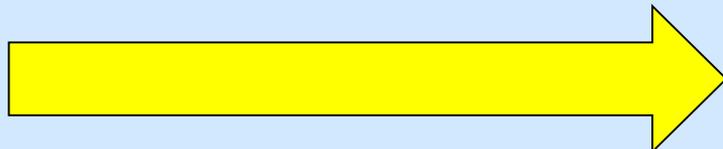
赤色巨星

鉄族
酸素~ビスマス
(数億度)
ベリリウム、炭素
(~1億度)



超新星

ウラン
カリフォニウム
(~10億度)



時間の流れ

(元素のまとめ) 人間や地球を構成している元素はどこから来たのか

- 1) **ビッグバン**によって作られた元素は、軽い**水素、ヘリウム、リチウム**に過ぎない。
- 2) 人間の体を構成している窒素、炭素、酸素、水素の他、カルシウム、マグネシウム、鉄などは、星の中で起きている**核融合反応**の結果できたものである。
- 3) **鉄以上**の重い元素は**超新星爆発**の結果生成されたものである。

再び太陽の話に戻って (これまで分かったこと)

こういった太陽の仲間の星々(恒星)は、すべて
プラズマを燃料に核融合を行いプラズマ粒子
と光エネルギーを宇宙に放出している。

我々は、夜になると肉眼で核融合を見ることが
できる！

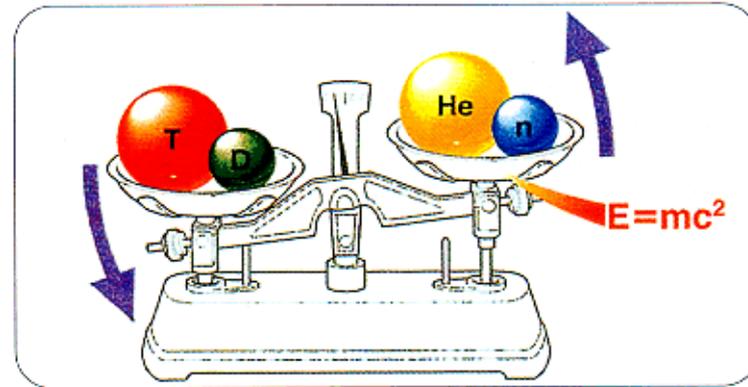
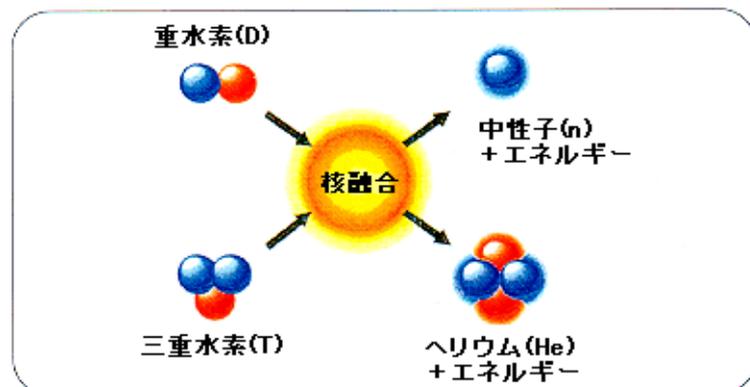
この太陽を、人間は20世紀の半ば
ころから地球上に造ろうとしてい
る(人工太陽)

プラズマを用いた人工太陽のシナリオ

(我が太陽のようにはいかないので、同じ水素でも重水素と三重水素を用いる)



(重水素 D) (三重水素 T)



しかし、人工太陽の話はしませんが、
今だにに成功していません。

(今日の大きな結論)

宇宙は**プラズマ**で満ち満ちている！

- 太陽や夜空に輝く**恒星**は**プラズマ**を用いて**核融合**を行って、宇宙にエネルギーを放出している。
- 地球に降り注がれる「**光**」は、**核融合**の結果である。

プラズマ



太陽・核融合

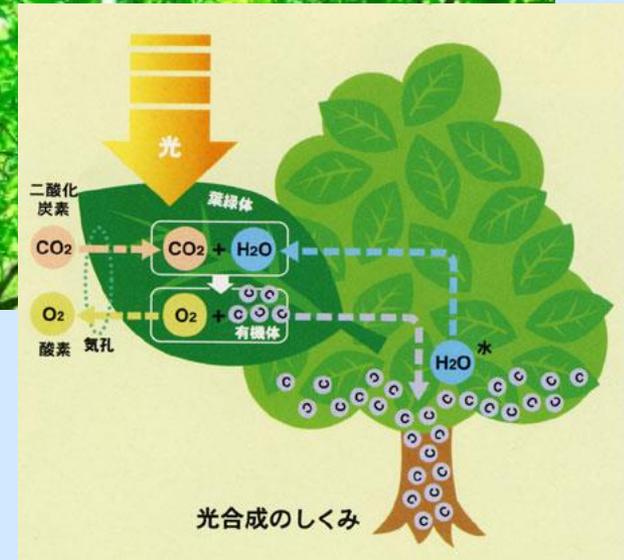
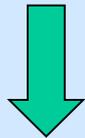


光



草木は「葉」を形成し

炭素を固定し、(水も使い)光合成を行う



「葉」はあらゆる動物のエネルギー源となる炭水化物、
糖類を生産する(動物は直接光エネルギーを吸収できない)

「葉」は
自然界最高の
発明品であり、
芸術作品である

緑や森林を単に環境
問題の観点から注目
するのではなく、我々
の生命を維持する唯一
の「命綱」であると認識
すべきである。

今回のテーマ

このプラズマに満ちた宇宙空間で、どうして人間は(動物は)存在できるのか

①人間は、植物を媒介として、核融合を行って生産している**プラズマの太陽エネルギー**を吸収し、生命を維持している。

母なるプラズマ太陽
—生命の源—

② 太陽風、宇宙線の侵入を防ぐ メカニズムが地球に存在する！

地球磁場が太陽風、宇宙線の侵入を阻止し、
生命を守っていることが、宇宙プラズマ物理学
により明らかになった。

(今回は、その話は詳しくしませんでした・・・)

最後にシラー(1759-1805)の詩をどうぞ

樹々は成育することのない
無数の芽を生み、
根をはり、枝や葉を拡げて
固体と種の保存にはありあまるほどの
養分を吸収する。

植物による
太陽光エネ
ルギーの
吸収

樹々は、この溢れんばかりの過剰を
使うことも、享受することもなく自然に還すが、

動物はこの溢れる養分を、自由に
嬉々とした自らの運動に使用する。

動物は直接
太陽エネルギーを吸収で
きないので
植物から貰う

このように自然は、その初源から生命の
無限の展開にむけての序曲を奏でている。

物質としての束縛を少しずつ断ちきり
やがて自らの姿を自由に変わっていくのである。

(以上がシラーの詩)

(言い換えると、自然界は植物を媒介して、
プラズマで造られた太陽光エネルギーを何にでも
使える自由エネルギーに変えていくということ。)

何というシラーの驚くべき
洞察力だろう！