

1. 自然環境について

宇宙の歴史

地球の誕生－生命の誕生－

人類の誕生－現代社会

古代の地球観

構成元素(元素の発生)

3つのメッセージ

原子・分子・生命・地球・宇宙

- ・ 私達は星のかけら（星の**元素**から生まれた生命）
- ・ 自然も暮らしもすべて**元素**記号で書かれている
- ・ 炭素は生命の**元素**

物理学

古典物理学

ニュートン力学

ニュートンの法則
ケプラーの法則

現代物理学

量子力学
相対論

古典物理学

ニュートンの法則

第1法則

第2法則

第3法則

ケプラーの法則

第1法則

第2法則

第3法則

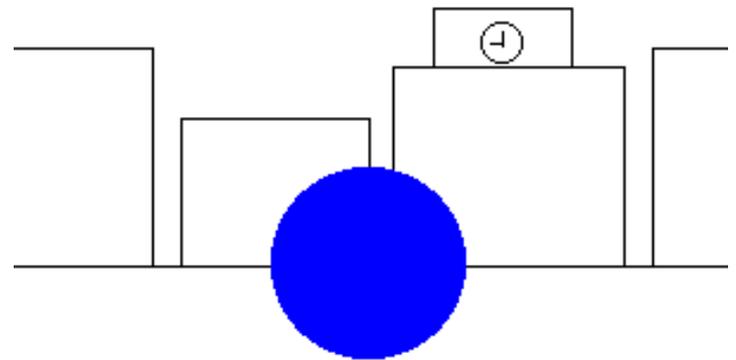
古典物理学

ニュートンの法則

第1法則

物体は力を加えられなければ、等速運動をする、もしくは静止し続ける。

慣性の法則



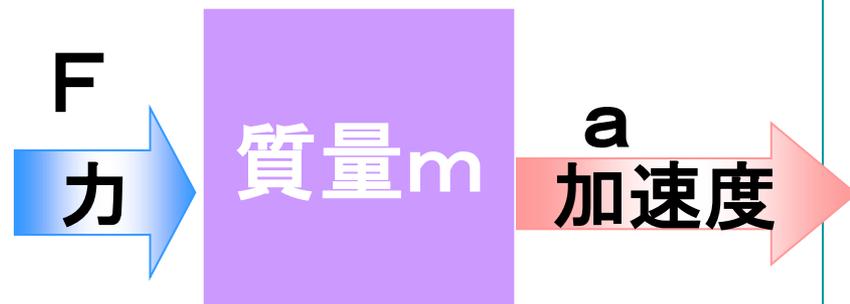
古典物理学

ニュートンの法則

第2法則

物体に力を加えると、
物体は加速度を生じる。

$$F=ma$$



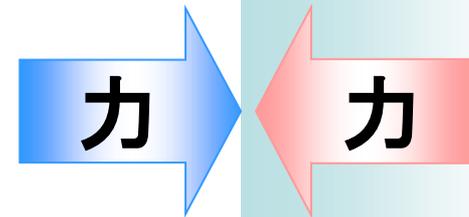
古典物理学

ニュートンの法則

第3法則

物体Aが物体Bに力を及ぼすとき、物体Bからは同じ大きさ、逆方向の力が加わる

作用・反作用



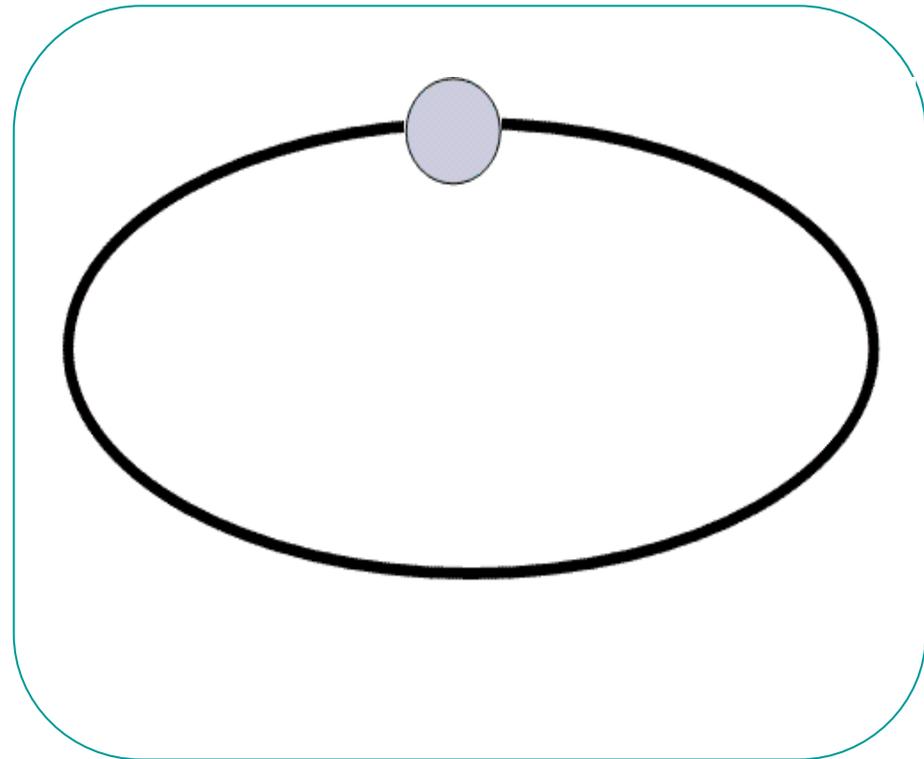
大きさ: 同じ
向き: 反対の方向

古典物理学

ケプラーの法則

第1法則

惑星は太陽を一つの焦点とした楕円軌道を描く。

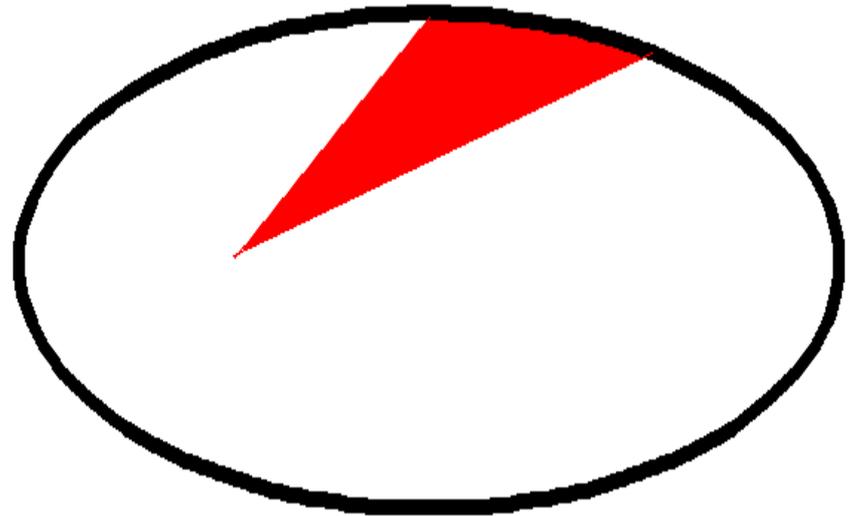


古典物理学

ケプラーの法則

第2法則

惑星と太陽が結ぶ線分が描く面積は単位時間当たり一定である。

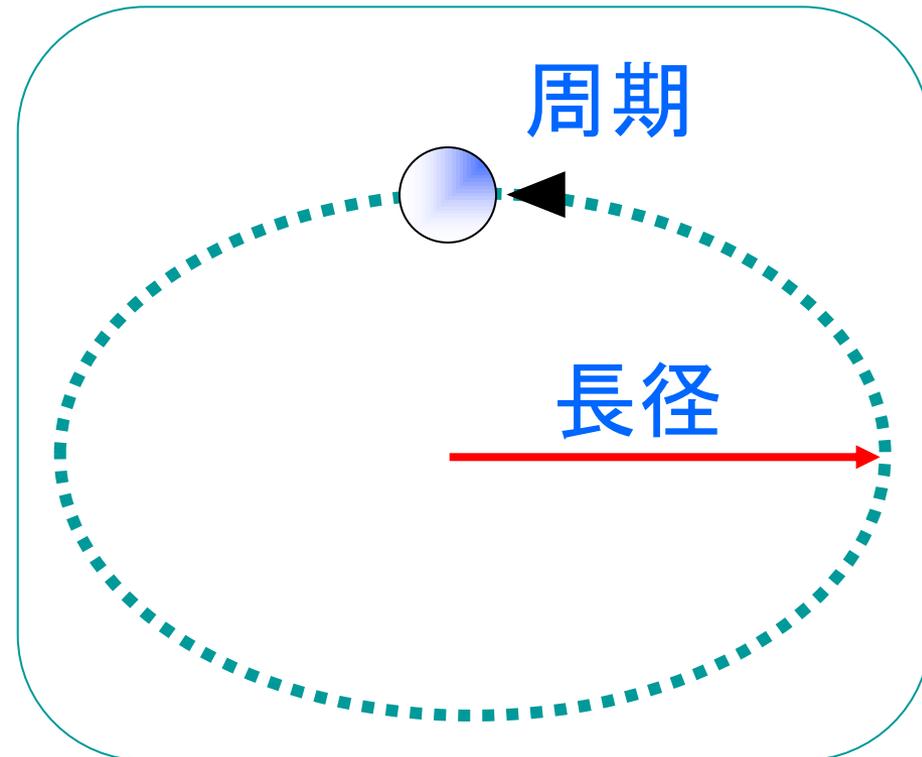


古典物理学

ケプラーの法則

第3法則

惑星の公転周期の2乗は軌道の長径の3乗に比例する



現代物理学

量子力学

コンプトン散乱

輝線スペクトル

相対論

特殊相対性理論

一般相対性理論

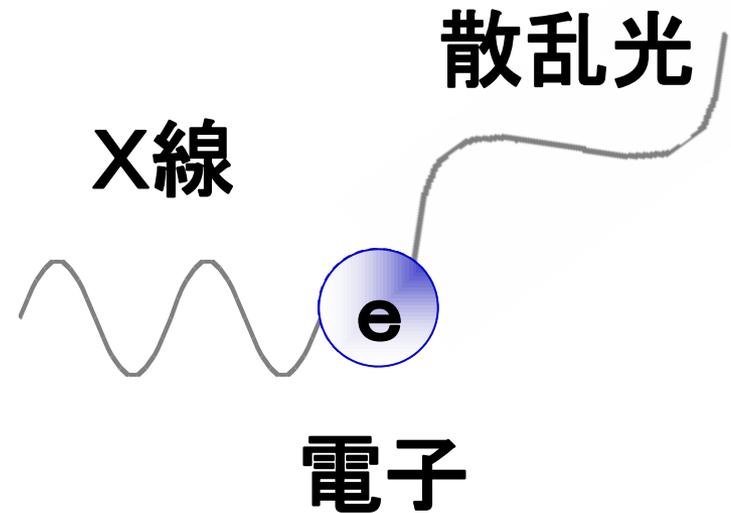
→ アインシュタイン

現代物理学

量子力学

コンプトン散乱

X線(光波)が電子に衝突した際に、電子により散乱される。



現代物理学

量子力学

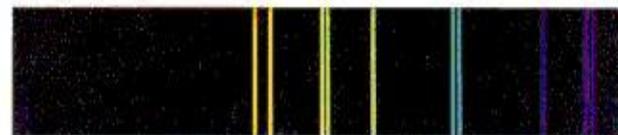
輝線スペクトル

特定の波長だけをもつスペクトル

Na



Hg



Li



H



← Wavelength

現代物理学

相対論

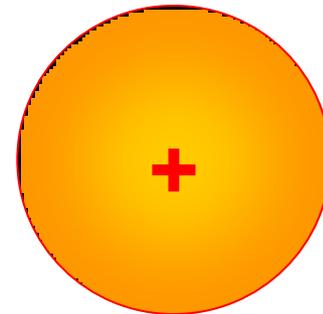
特殊相対性理論

光速不変の原理

$$E=mc^2$$

核分裂

核



核分裂

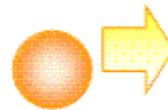
現代物理学

相対論

一般相対性理論

統一場

(電場・磁場・重力場)



重力場(波)

単位と次元

MKS単位系

	単位(記号)	次元
長さ	m	L
重さ	kg	M
時間	s	T

物理量と次元

例(速さ)

$$\text{速さ} \times \text{時間} = \text{距離}$$

$$\frac{L}{T} \times T = L$$

物理の公式は次元が一致している。

物理量と次元

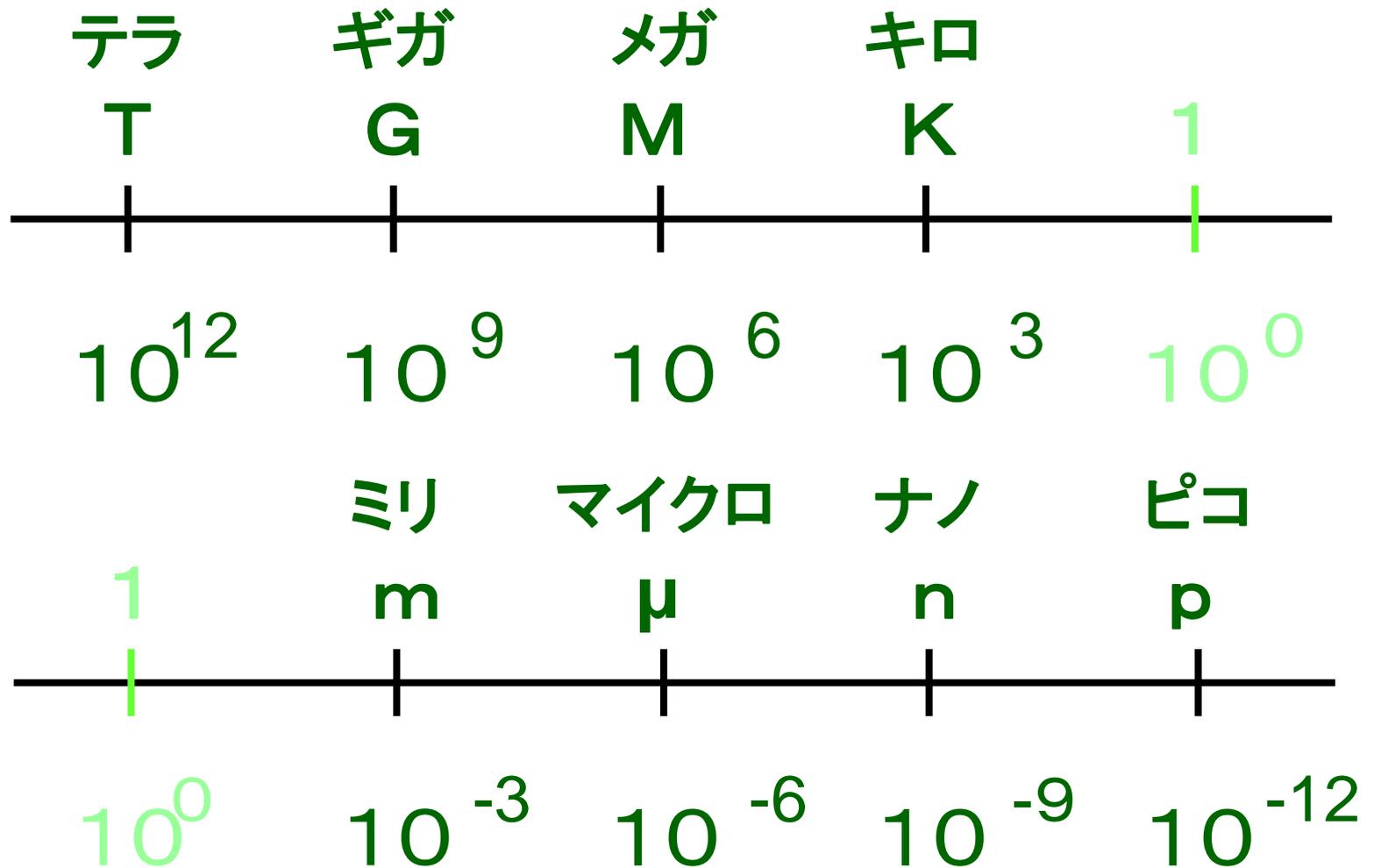
例(力)

$$\text{質量} \times \text{加速度} = \text{力}$$

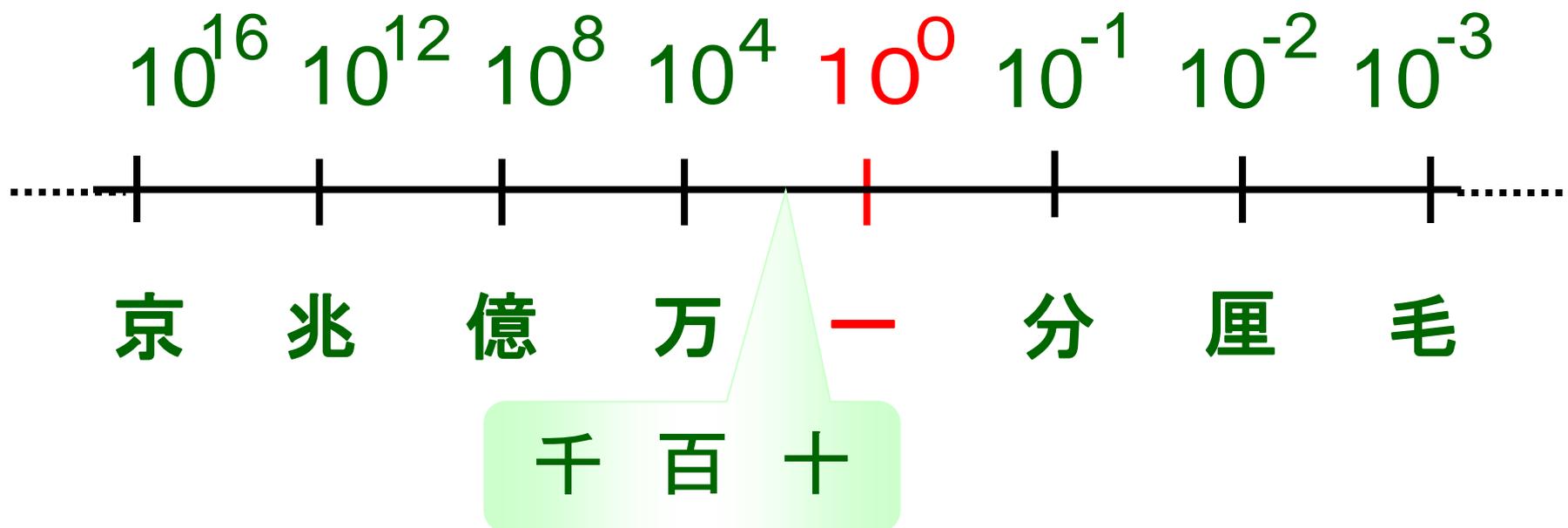
$$M \times \frac{L}{T^2} = M \frac{L}{T^2}$$

物理の公式は次元が一致している。

桁数

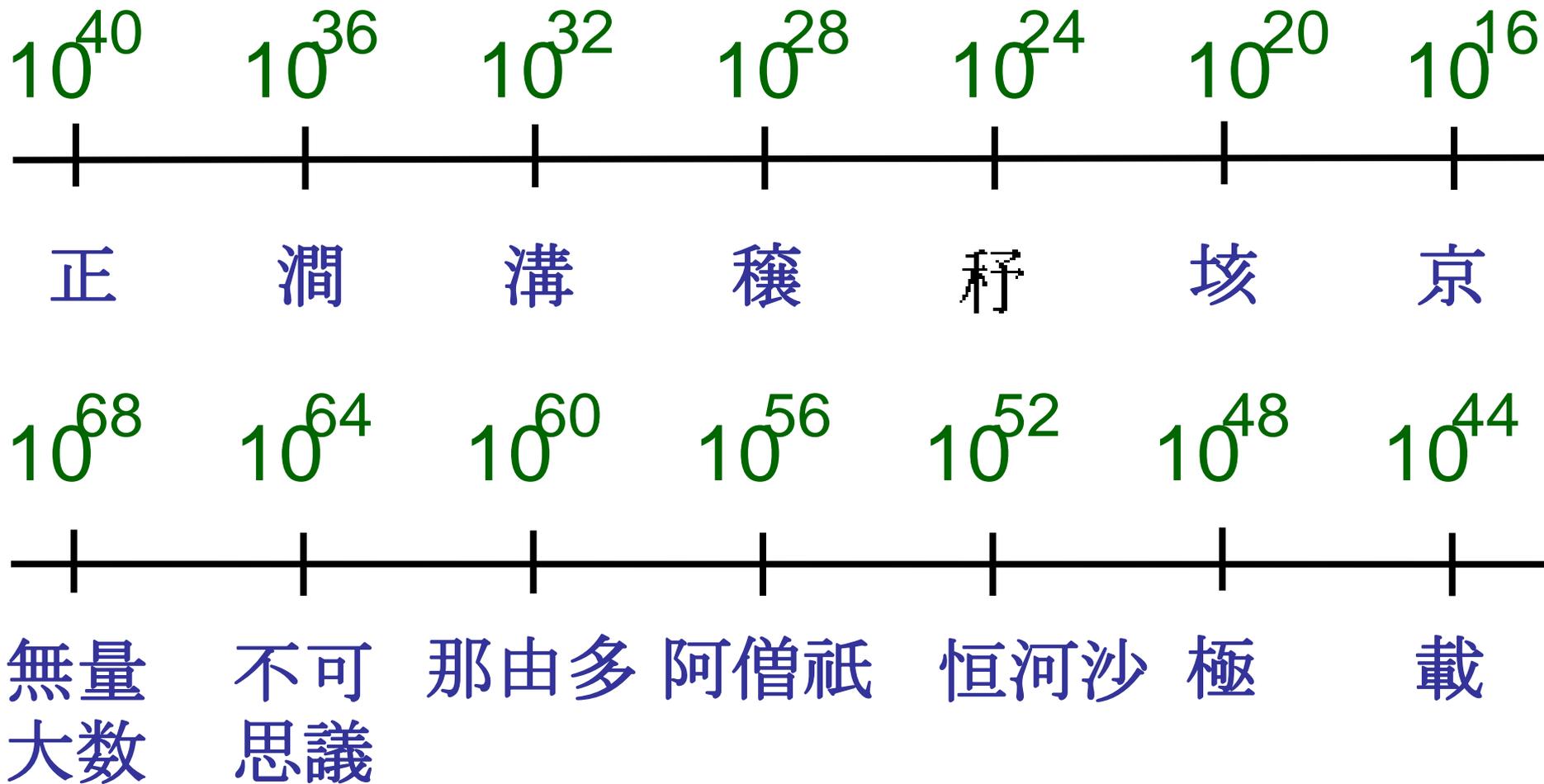


中国(日本)の桁名

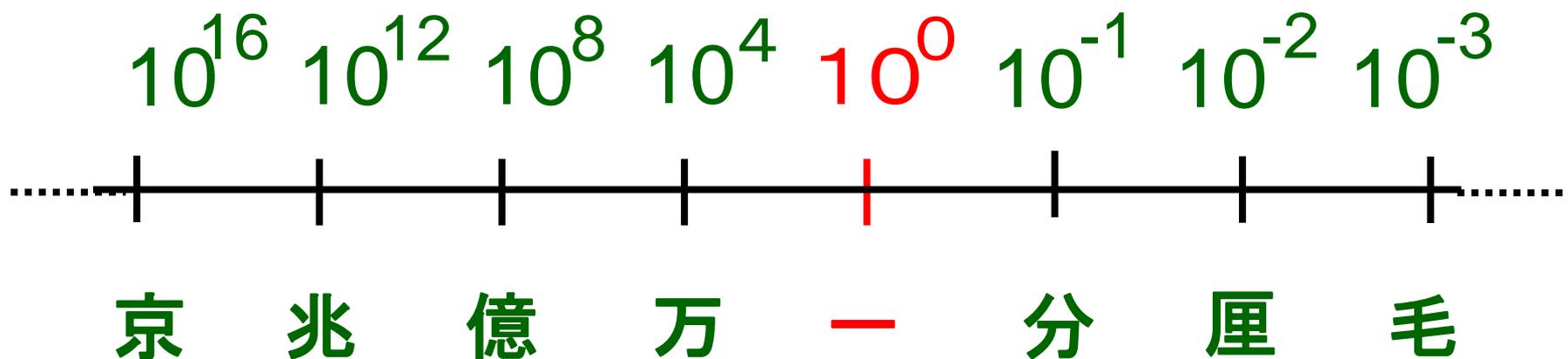


無量大数: 10^{68}

中国(日本)の桁名



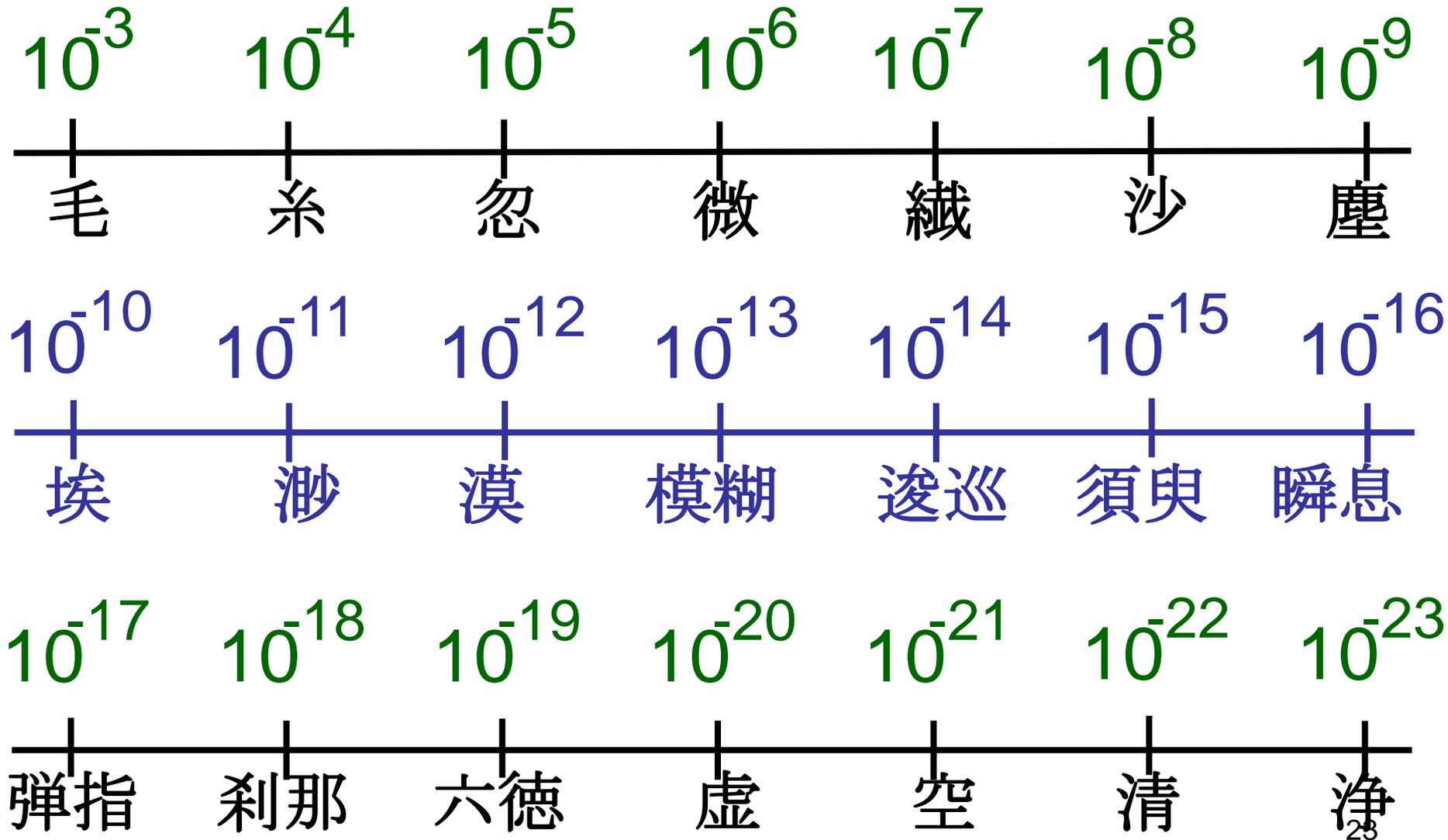
中国(日本)の桁名



無量大数: 10^{68}

浄: 10^{-23}

中国(日本)の桁名

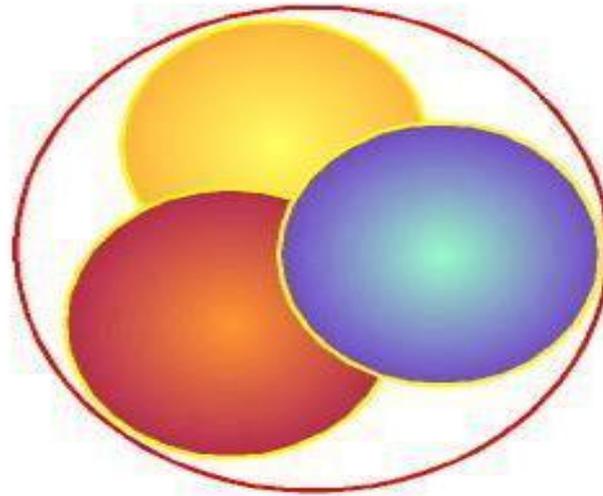


自然物の大きさ



宇宙 10^{26} [m]

自然物の大きさ



クォーク 10^{-18} [m]

宇宙の歴史③

150億年前

ビッグバン

100億年前

銀河系の誕生

46億年前

太陽系の誕生(地球の誕生)

40億年前



生命の誕生
、堅い地殻が

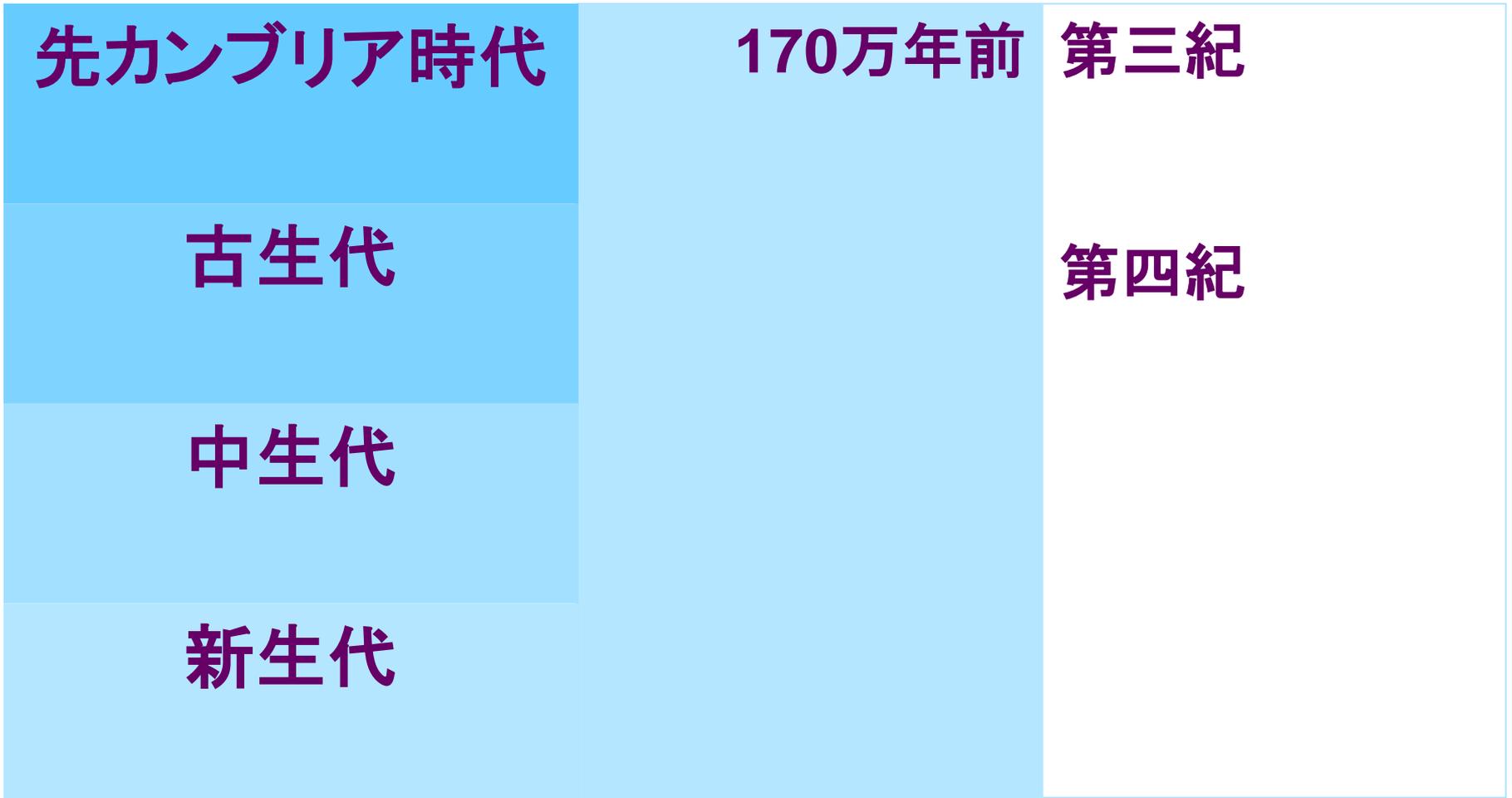
35億年前

28億年前

7.5億年前

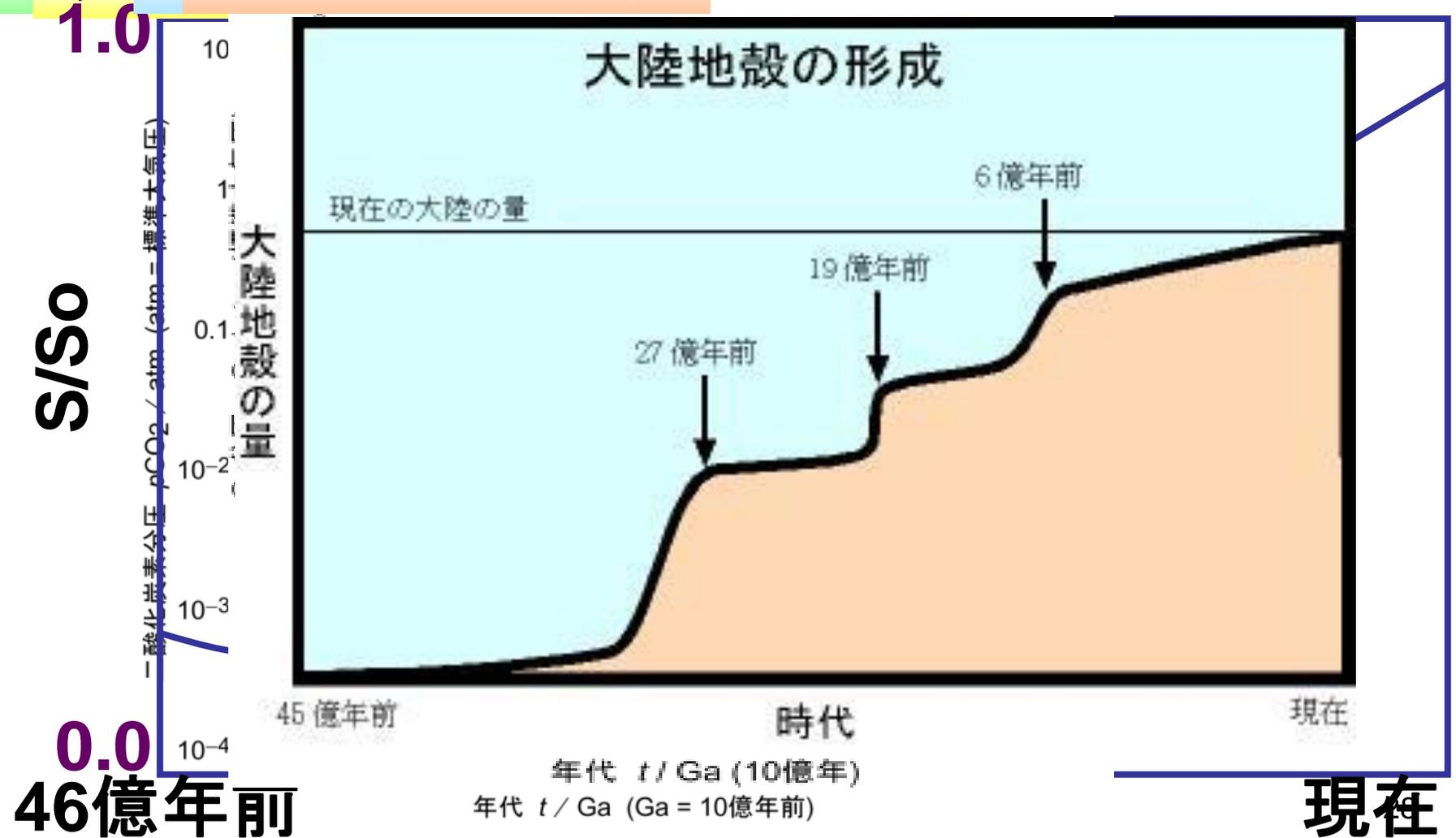
動物の出現物群

地球の歴史④

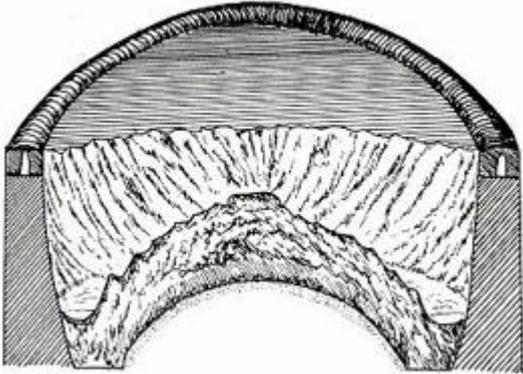


地球環境の変化⑨

大陸地殻の成長



古代の宇宙観⑧



バビロン



エジプト



インド

元素と原子

全ての物質・生命は**原子**（**元素**）から成り立っている

元素：原子の種類

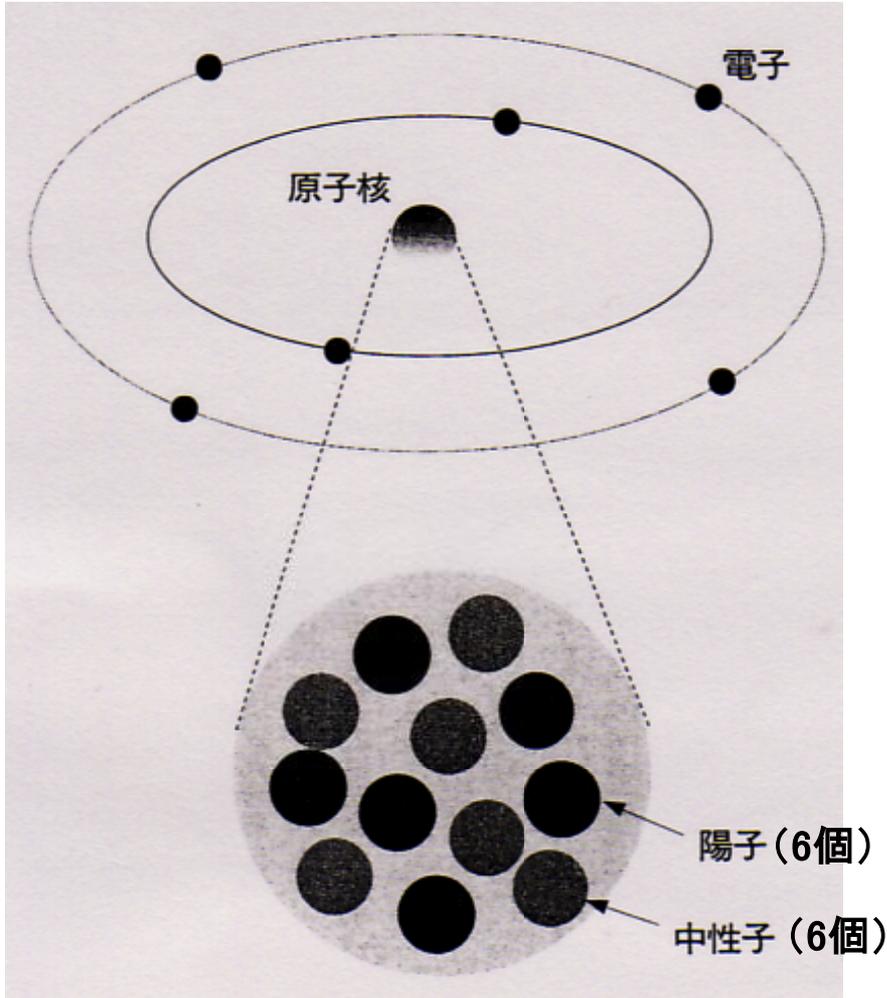
水	H_2O	$H : \begin{smallmatrix} 1 \\ 1 \end{smallmatrix}$	$H : \begin{smallmatrix} 2 \\ 1 \end{smallmatrix}$	H	
二酸化炭素	CO_2	$C : \begin{smallmatrix} 12 \\ 6 \end{smallmatrix}$	$C : \begin{smallmatrix} 13 \\ 6 \end{smallmatrix}$	C	
ブドウ糖	$C_6H_{12}O_6$	$N : \begin{smallmatrix} 14 \\ 7 \end{smallmatrix}$	$N : \begin{smallmatrix} 15 \\ 7 \end{smallmatrix}$	N	
グルタミン酸	$C_5H_9NO_4$	$O : \begin{smallmatrix} 16 \\ 8 \end{smallmatrix}$	$O : \begin{smallmatrix} 17 \\ 8 \end{smallmatrix}$	$O : \begin{smallmatrix} 18 \\ 8 \end{smallmatrix}$	O

宇宙の組成

- バリオン 4 %
(元素の成分である陽子、中性子など)
- 暗黒物質(ダークマター) 23 %
(目には見えないが周囲に重力を及ぼす)
- 暗黒エネルギー(ダークエネルギー) 73 %
(重力とは反対に反発力を及ぼす)

原子と原子核の構成

炭素 $^{12}_6\text{C}$ の模型図



陽子の数 + 中性子の数 (質量数)



陽子の数 (原子番号)

りんごを2つに分ける作業を約
原子に到達する

回繰り返すと

宇宙での元素の誕生（第一段階）

宇宙の誕生ービッグバン（火の玉宇宙）

水素(H)とヘリウム(He)の生成

水素

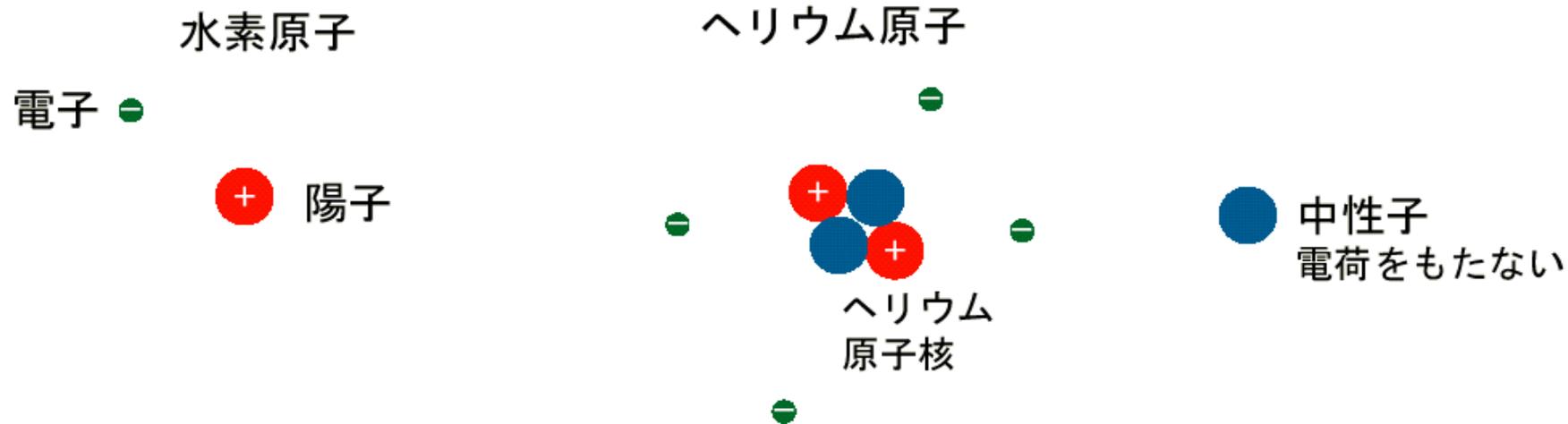
陽子 + 電子 → 水素(H)

ヘリウム

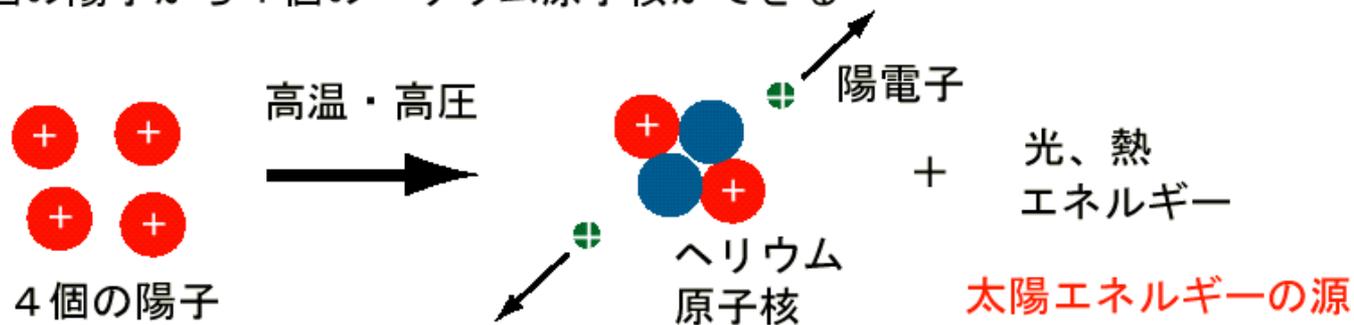
$4 \text{ H} \xrightarrow{\text{核融合}} \begin{matrix} 4 \\ 2 \end{matrix} \text{ He}$ （陽子・陽子チェイン）

（太陽の放つエネルギーの源：寿命100億年）

太陽の中心部における水素原子核の核融合反応



星の中心部で4個の陽子から1個のヘリウム原子核ができる



水素、ヘリウムの誕生

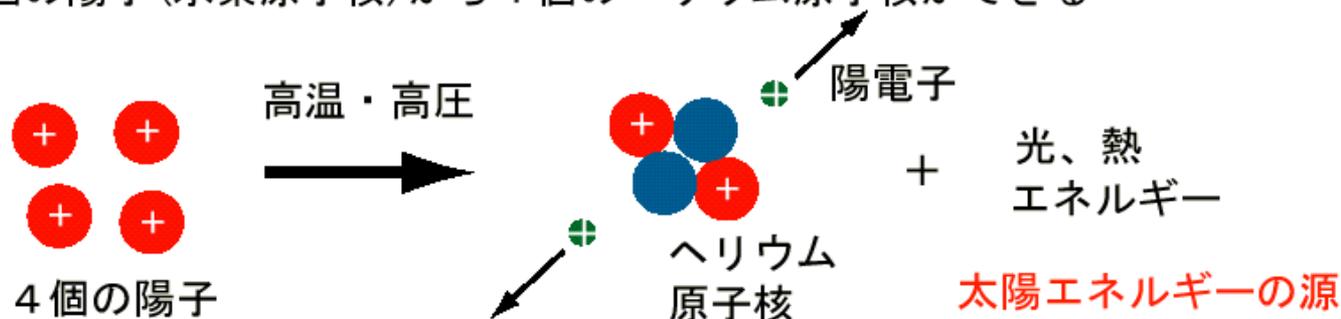
宇宙誕生後	宇宙の温度	誕生する元素
-------	-------	--------

約1秒	100億度	水素
約100秒	10億度	ヘリウム
～3分		リチウム（極少量）

宇宙の暗黒時代

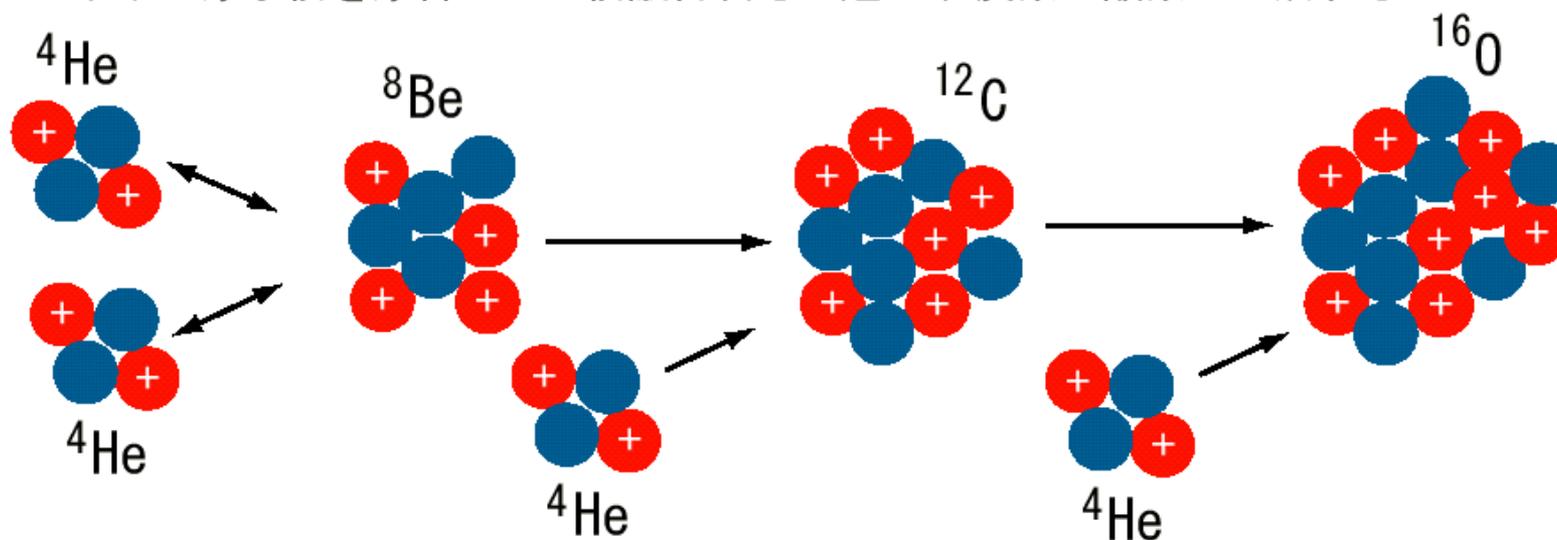
炭素および酸素原子核の核融合による生成

星の中心部で4個の陽子(水素原子核)から1個のヘリウム原子核ができる



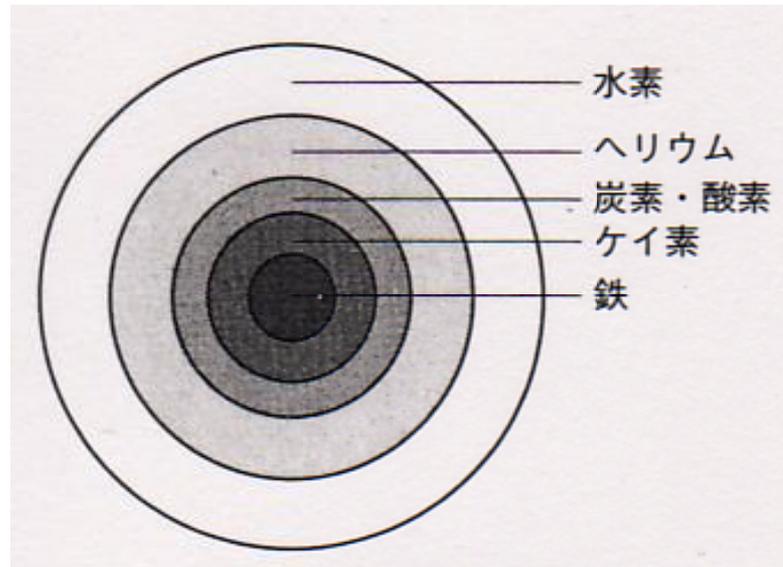
水素原子がすべてヘリウムに変わると、星の一生の終わり

ヘリウム原子核を原料とした核融合反応が起こり炭素と酸素が生成する



鉄までの元素の誕生(第2段階)

- 質量の大きな星（大質量星：太陽の10倍以上）ではヘリウムHeから**炭素C**ができる。炭素はさらに変化して**核融合**を繰り返して、**鉄Fe**までの元素を作る（数百万年かかる）。最後に大爆発（**超新星爆発**：星の一生の終り）して宇宙に大量の元素を放出。

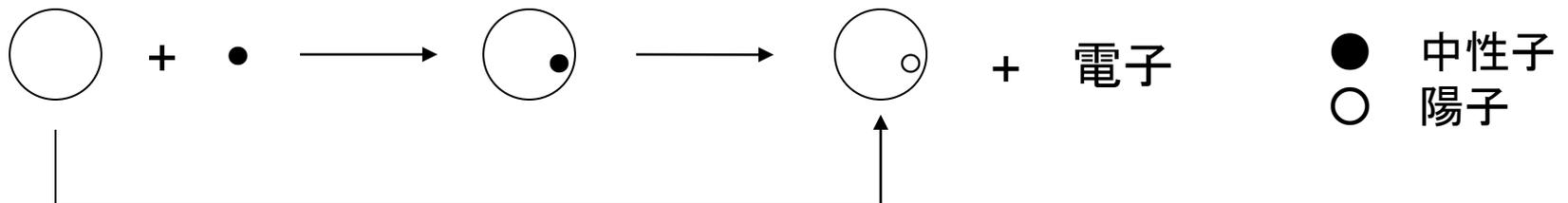


- 質量の小さな星 炭素までを合成し、宇宙に放出。³⁸

鉄より重い元素の誕生（第3段階）

- 大質量星**超新星爆発**の時に起こる**速い過程**
（数10秒で終わる） r-プロセス
- 中質量星（太陽より少し重い量）で起こる
遅い過程 s-プロセス

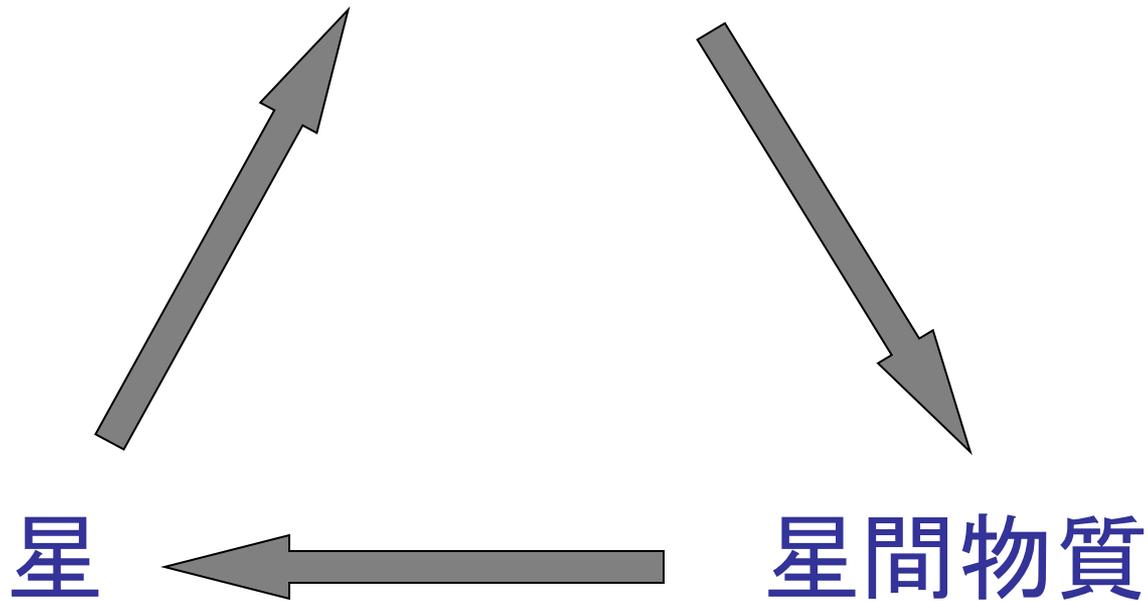
原子核が中性子を次々と捕獲して重い原子核に成長していく（**中性子捕獲**）。**ウラン**（原子番号92）までが誕生する。



原子番号の1つ多い元素の誕生

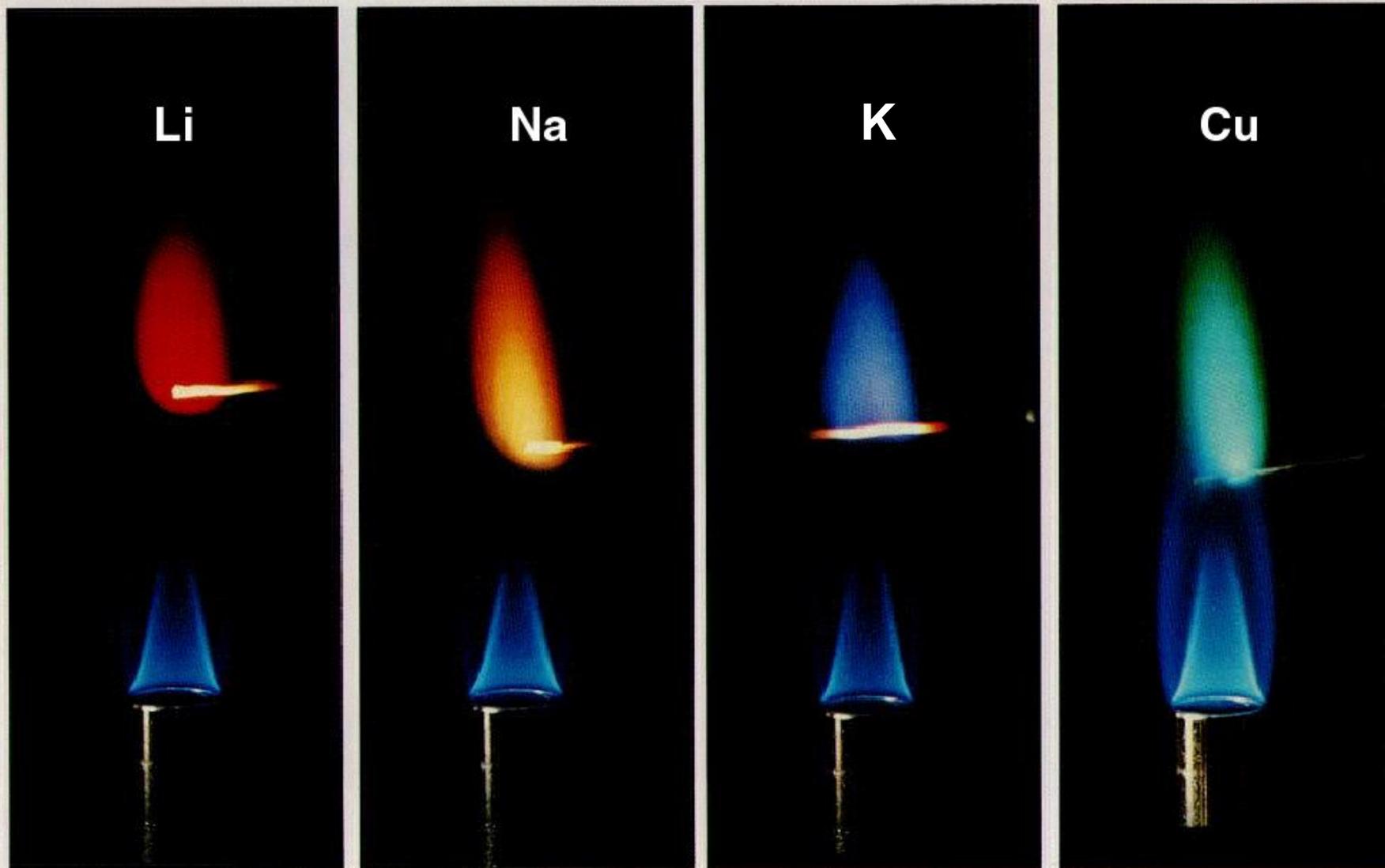
炭素より重い元素ができるサイクル

超新星爆発など



星の成分元素をどのように知るか

- ・元素はそれぞれ特有のエネルギーの光を吸収・放出する(原子スペクトル)。
- ・光学望遠鏡・電波望遠鏡で星の光を分析すると成分元素がわかる。



Li

Na

K

Cu

Li リチウム

Na ナトリウム

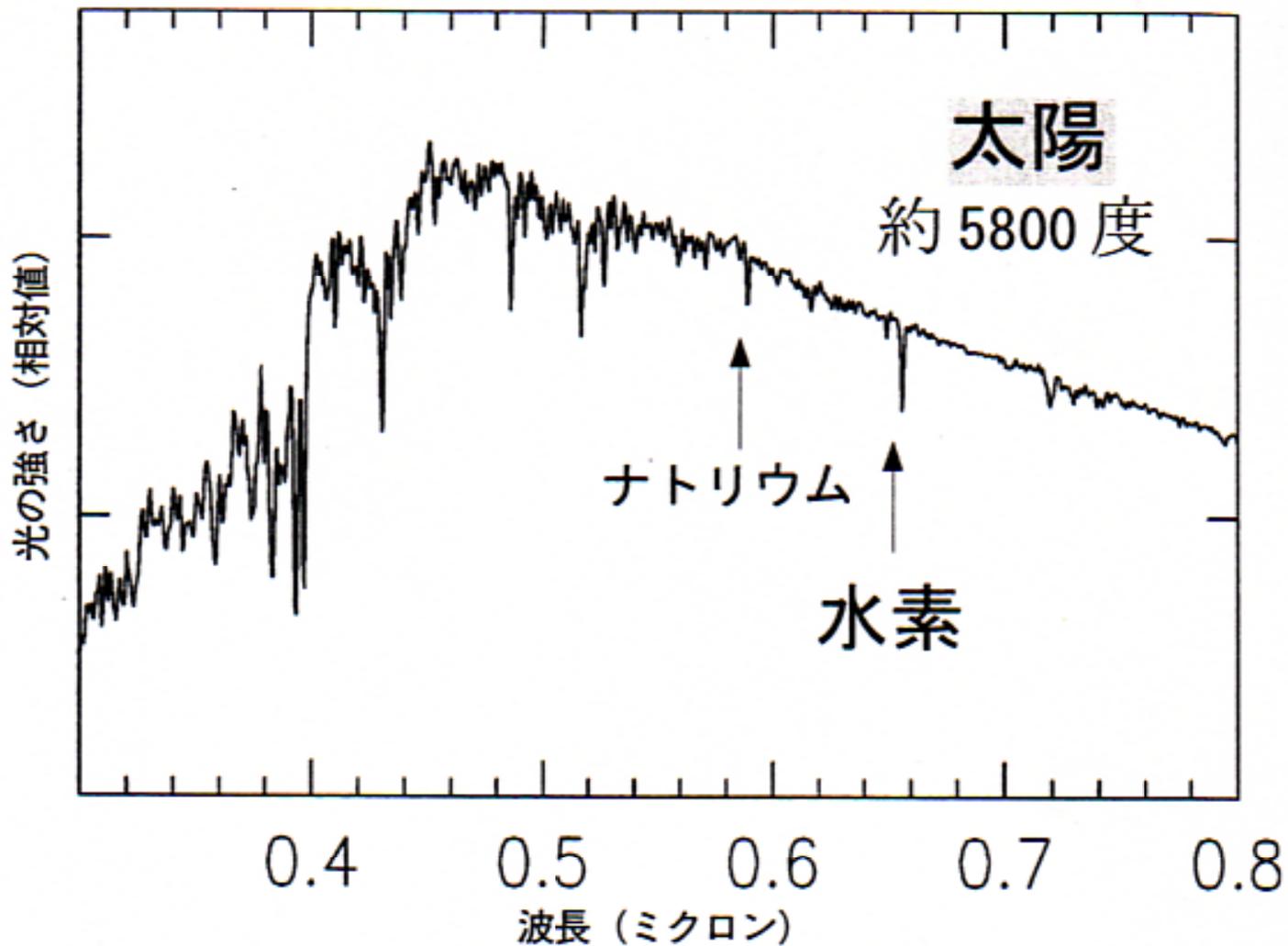
K カリウム

Cu 銅

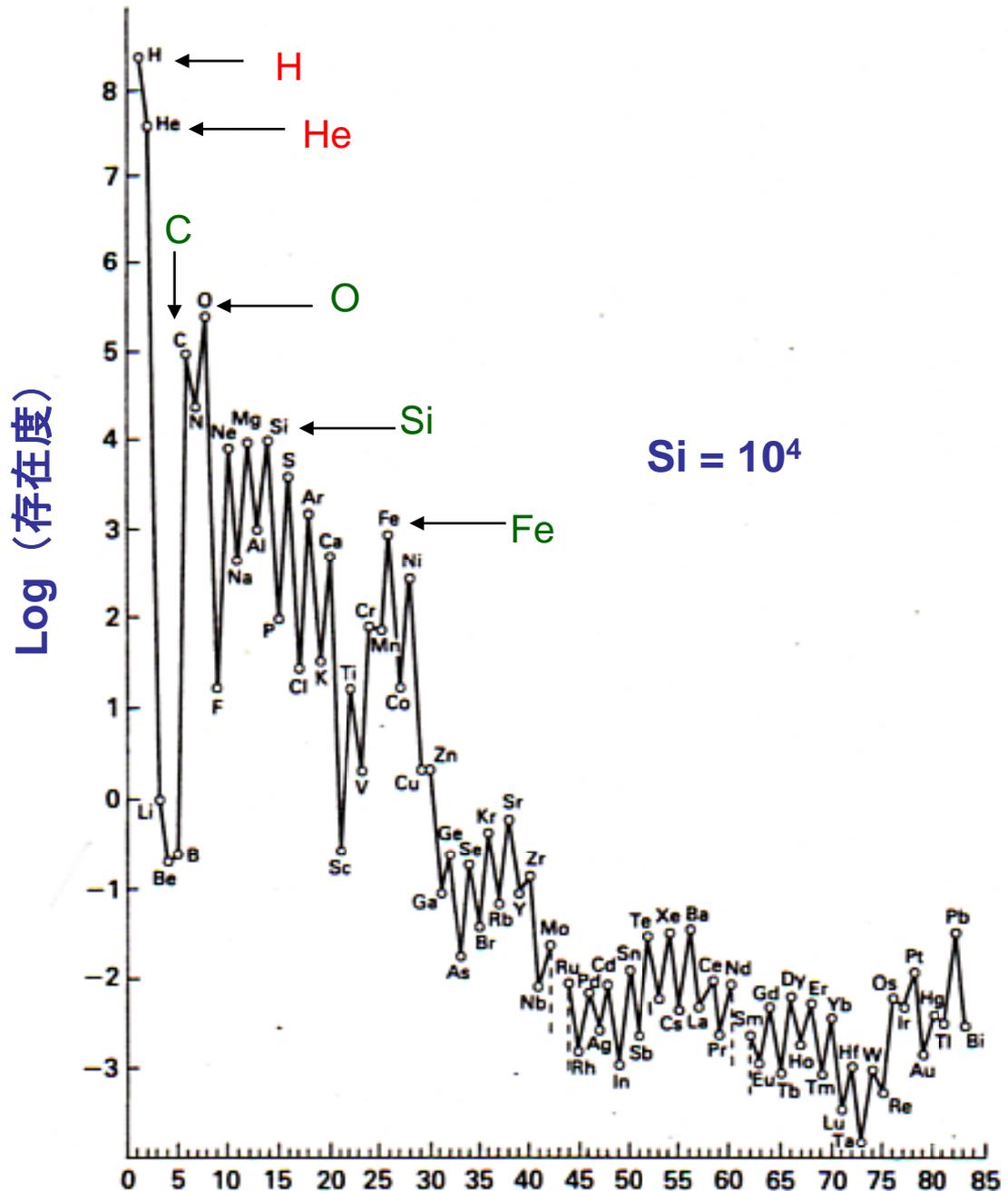
金属の炎色反応

原子が励起され発光している

太陽のスペクトル



宇宙の元素組成



超ウラン元素

- ウランより原子番号の大きい元素
- 全て人工的核反応で合成され、寿命が一般に短い。
- 原子番号が104より大きい元素は超重元素と呼ばれる。
- 原子番号が111の元素までは名前がついている。

元素の周期表

1	2											13	14	15	16	17	18
1 H												5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
2 3 Li	4 Be											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
3 11 Na	12 Mg	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
4 19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
5 37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
6 55 Cs	56 Ba	57-71 ランタノイド	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
7 87 Fr	88 Ra	89-103 アクチノイド	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 (Rg)	112	113 Nh	114 Fl	115 Mc	116 Lv		

→ 超重元素

90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr
----------	----------	---------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	-----------	-----------	-----------	-----------

→ 超ウラン元素

89-103 アクチノイド	89 Ac											
------------------	----------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

57-71 ランタノイド	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
-----------------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

元素の名称

国名に由来する名称

^{32}Ge	ゲルマニウム	Germany
^{87}Fr	フランシウム	France
^{84}Po	ポロニウム	Poland
^{95}Am	アメリシウム	America

人名に由来する名称

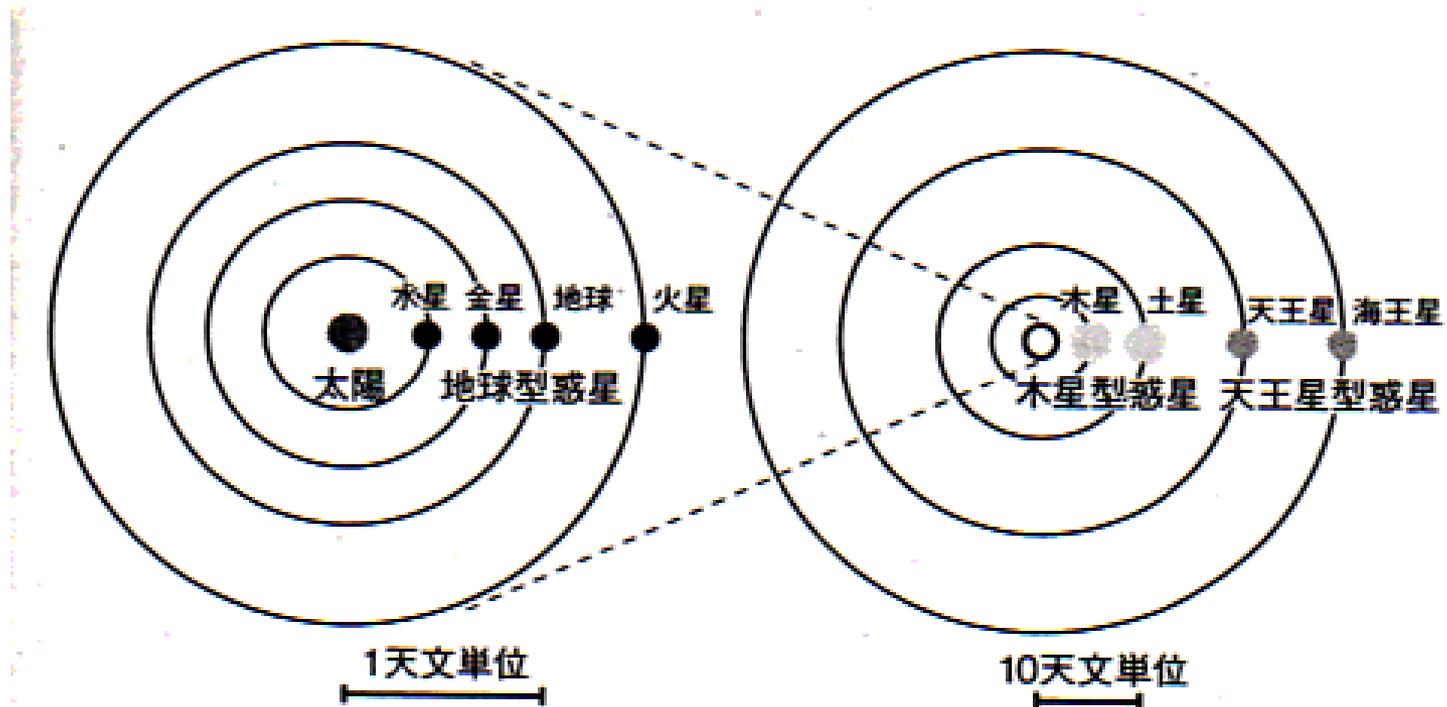
^{96}Cm	キュリウム	Curie
^{99}Es	アインスタイニウム	Einstein
^{100}Fm	フェルミウム	Fermi
^{101}Md	メンデレビウム	Mendeleev
^{102}No	ノーベリウム	Nobel
^{103}Lr	ローレンシウム	Lowrence
^{104}Rf	ラザホージウム	Rutherford
^{106}Sg	シーボーギウム	Seaborg
^{107}Bh	ボーリウム	Bohr
^{108}Mt	マイトネリウム	Meitner
^{111}Rg	レントゲニウム	Roentgen

地球の誕生

約46億年前、宇宙空間に漂う**ガス（気体）**と**ダスト（塵、固体微粒子）**から、太陽系の一つとして誕生。

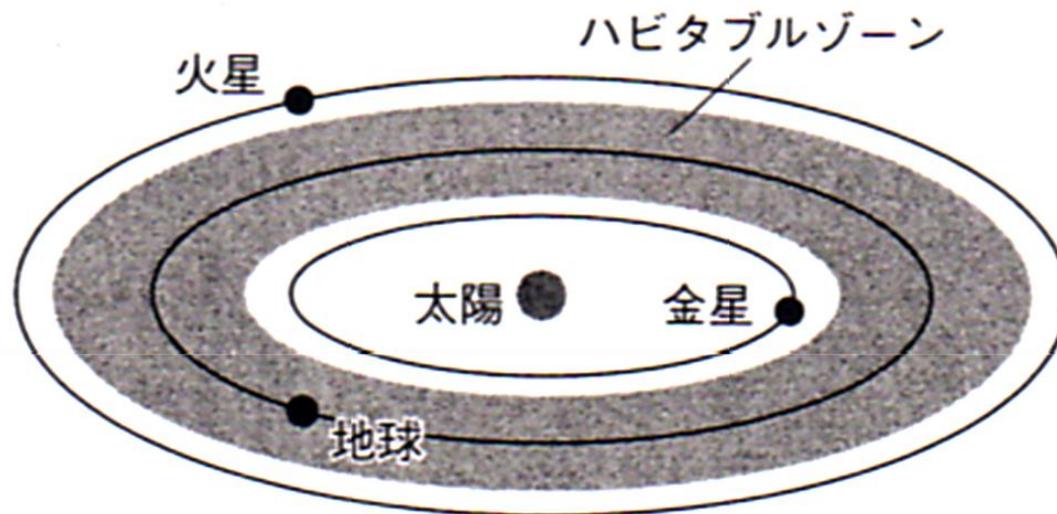
ガス : 水素とヘリウム

ダスト : 岩石、氷（固体の水、アンモニア、メタン）



水惑星としての地球

- 太陽系内で表面に液体の水が存在する惑星は地球のみ。
- 地球表面の温度と圧力が液体の水（海）の存在を可能にした。
- 海が存在可能な領域（=生命が存在可能な領域）
ハビタブルゾーン（**生存可能領域**）



生命の誕生

生命の材料（アミノ酸、核酸塩基、リボース）はどこでできたか

(1) 地球上

- a. 海辺の潮だまり（ CO_2 , CO , N_2 , H_2O と宇宙線）
- b. 海底熱水噴出孔（ H_2 , CH_4 , H_2S と約 300°C の高温）

(2) 地球外

隕石

炭素コンドライト（アミノ酸、核酸塩基）

生命の誕生

- ・ 生命の材料から生命への過程は未解決。
- ・ 地球最初の生命

最古の細菌の化石（原核生物） 約35億年前



真核生物の誕生 約20億年前



多細胞生物の誕生 約5億年前



ヒト科の誕生 約500万年前



ヒト（ホモサピエンス）の誕生 20万年前

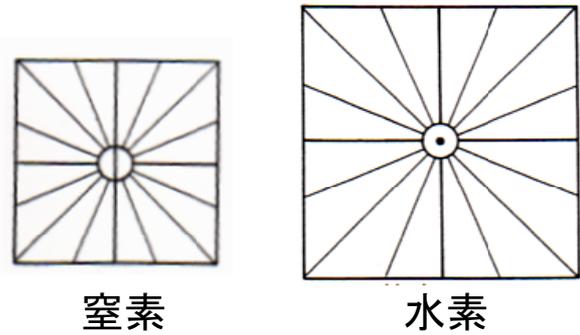
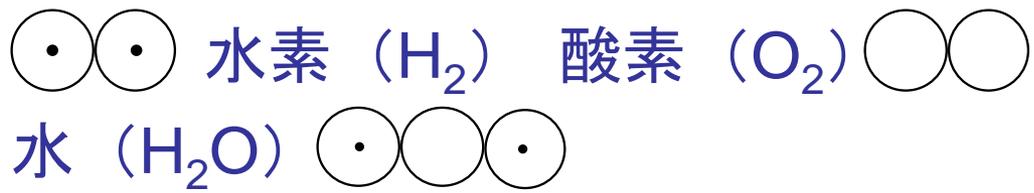
物質の成立ち (原子と分子)

原子説と分子説の確立

- ・ ドルトンによる**原子説** (1803)
物質の最小単位は一定の空間と重さをもつ粒子 (原子) である。



- ・ アボガドロによる**分子説** (1811)



ドルトンの描いた原子の絵

ELEMENTS			
	Hydrogen 1		Strontian 86
	Azote 5		Barytes 68
	Carbon 5		Iron 56
	Oxygen 7		Zinc 66
	Phosphorus 9		Copper 56
	Sulphur 13		Lead 90
	Magnesia 20		Silver 190
	Lime 24		Gold 190
	Soda 28		Platina 190
	Potash 40		Mercury 167

ドルトンの原子量表

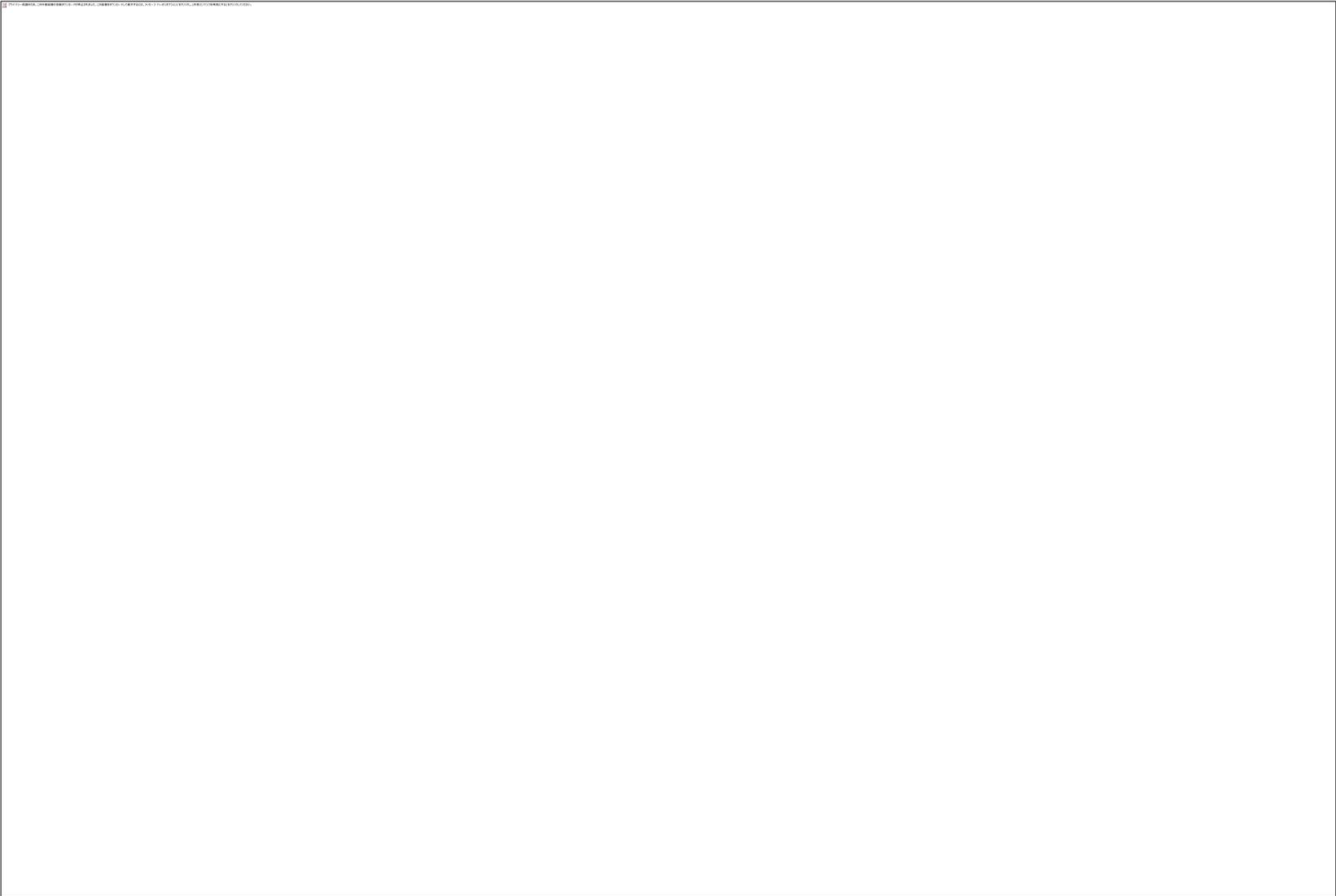
Mendeleevの周期表(1871年)

62種の元素を比較。4つの未知元素を予言。

「元素を原子量の順に配列すると、似た性質が周期的に現れる」

族番号	I 族 — R ₂ O	II 族 — RO	III 族 — R ₂ O ₃	IV 族 RH ₄ RO ₂	V 族 RH ₃ R ₂ O ₅	VI 族 RH ₂ RO ₃	VII 族 RH R ₂ O ₇	VIII 族 — RO ₄
1	H=1							
2	Li=7	Be=9.4	B=11	C=12	N=14	O=16	F=19	
3	Na=23	Mg=24	Al=27.3	Si=24	P=31	S=32	Cl=35.5	
4	K=39	Ca=40	—=44	Ti=48	V=51	Cr=52	Mn=55	Fe=56 Co=59
5	(Cu=63)	Zn=65	—=68	—=72	As=75	Se=75	Br=80	Ni=59 Cu=63
6	Rb=85	Sr=87	?Yt=88	Zr=90	Nb=94	Mo=96	—=100	Ru=104 Rh=104
7	(Ag=108)	Cd=112	In=113	Sn=118	Sb=112	Te=125	I=127	Pd=106 Ag=108
8	Cs=133	Ba=137	?Di=138	?Ce=140				
9								
10			?Er=178	?La=180	Ta=182	W=184		Os=195 Ir=197
11	(Au=199)	Hg=200	Tl=204	Pb=207	Bi=208			Pt=198 Au=199
12			Th=231		U=240			

元素の周期表

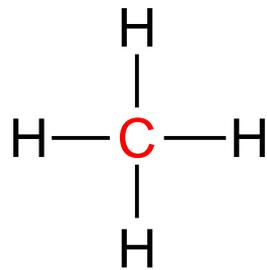


分子の世界

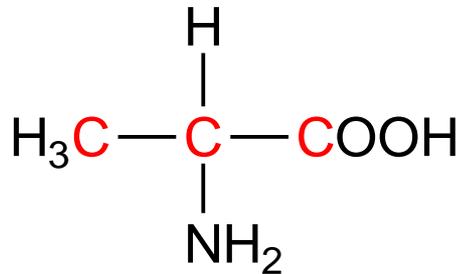
- ・ 原子が互いに結合して**分子**を作る
- ・ **有機化合物**（動植物の主成分）

炭素を含む化合物 「炭素は生命の元素」

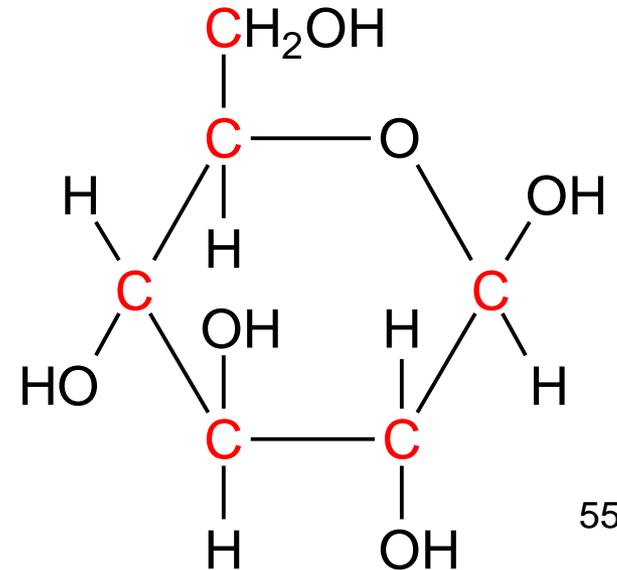
メタン



アラニン (アミノ酸)

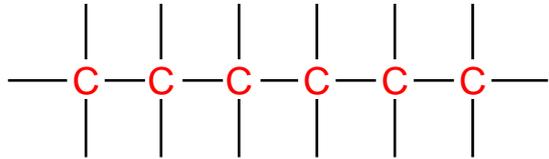


グルコー

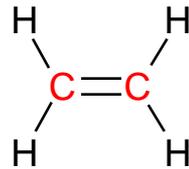
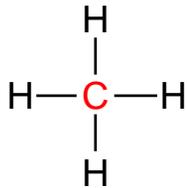


炭素原子の特徴

1. 互いに連続して結合を作れる



2. 結合する原子の数を4, 3, 2 と変化できる

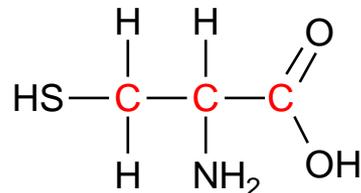


二重結合



三重結合

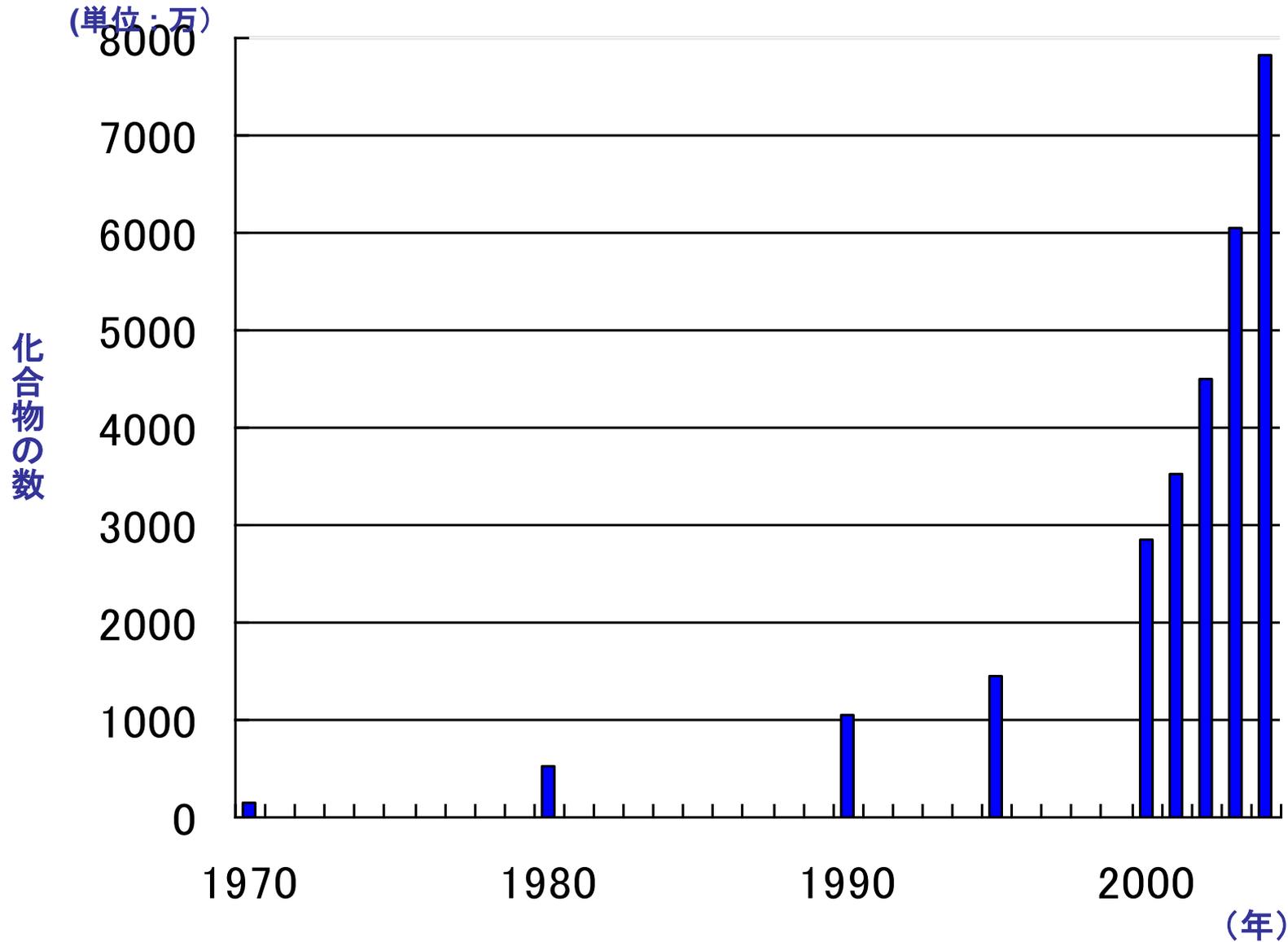
3. 適当な強さの結合を種々の原子と作れる



システイン

構造の知られている化合物の数

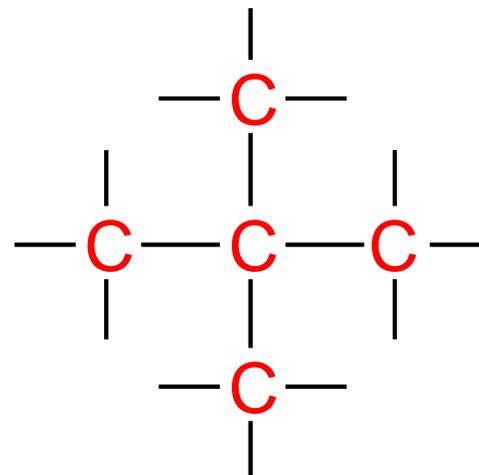
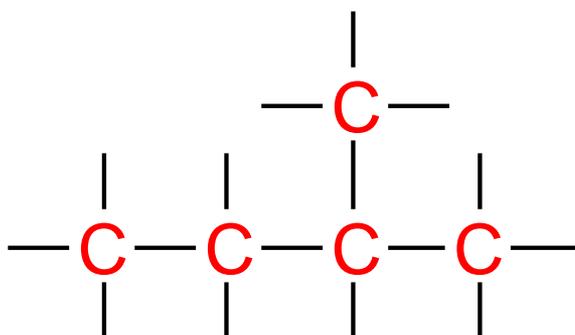
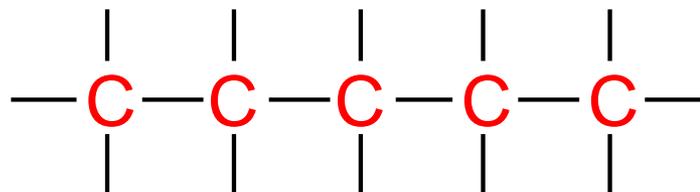
2004年12月31日現在 78,289,324種



炭化水素（アルカン C_nH_{2n+2} ）の異性体の数

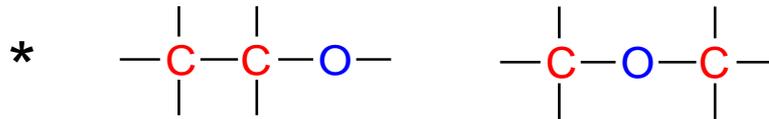
分子式	可能な異性体の数
C_4H_{10}	2
C_5H_{12}	3
C_6H_{14}	5
C_8H_{18}	18
$C_{10}H_{22}$	75
$C_{20}H_{42}$	366, 319
$C_{30}H_{62}$	4, 111, 846, 763
$C_{40}H_{82}$	62, 481, 801, 147, 341

ペンタン(C₅H₁₂)の異性体



合成可能な化合物は無限

	異性体の数		異性体の数
C_2H_6	1	$C_2H_6O^*$	2
C_4H_8	2	C_4H_8O	7
C_6H_{14}	5	$C_6H_{14}O$	32



- 合成可能な化合物の数の予想値 10^{200} 個
宇宙に存在するすべての原子を使っても合成することは不可能

生物の必須元素

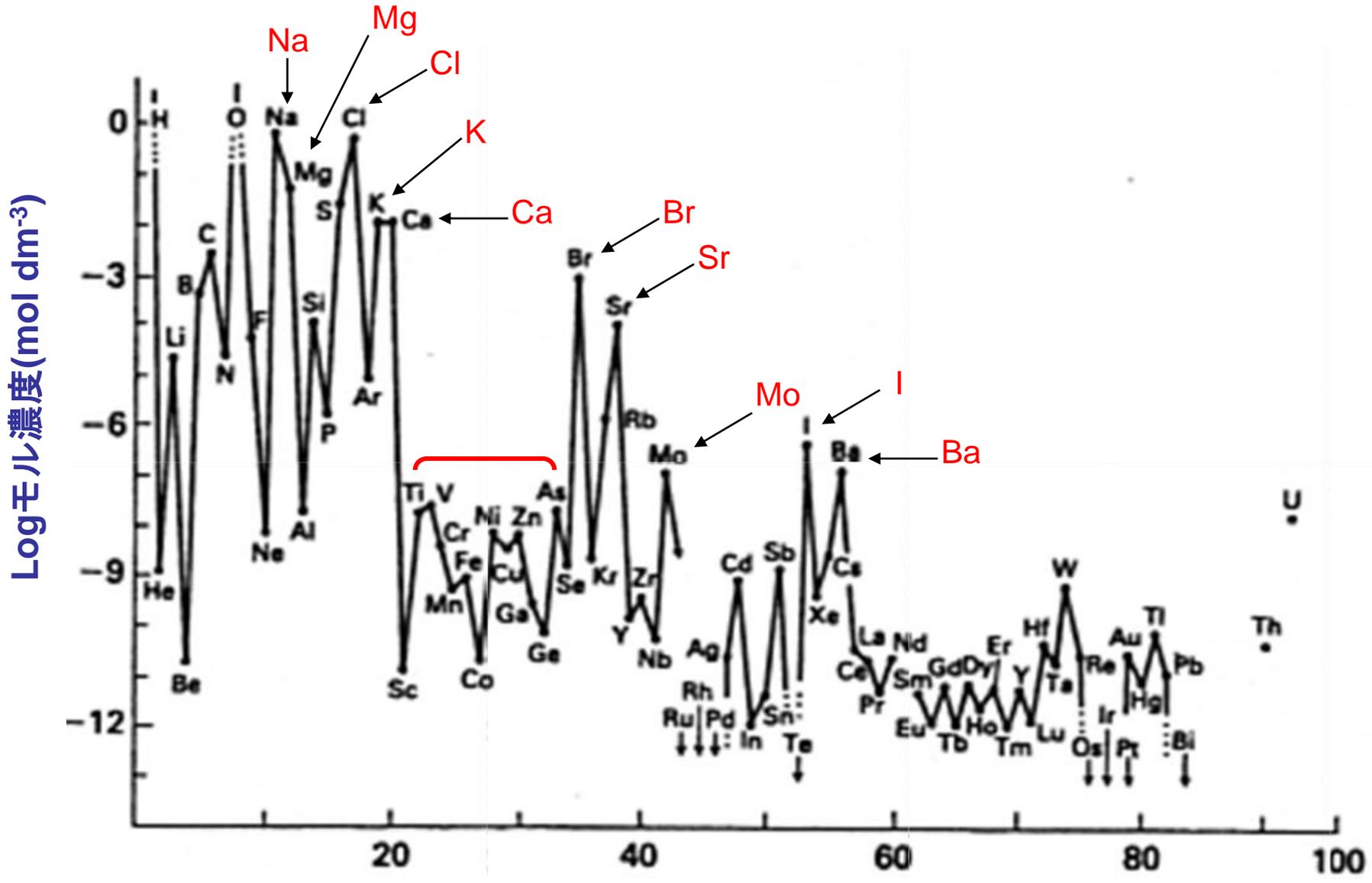
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
(H)																	He
Li	Be											[B]	(C)	(N)	(O)	[F]	Ne
(Na)	(Mg)											Al	[Si]	(P)	(S)	(Cl)	Ar
(K)	(Ca)	Sc	Ti	[V]	[Cr]	[Mn]	[Fe]	[Co]	[Ni]	[Cu]	[Zn]	Ga	Ge	[As]	[Se]	[Br]	Kr
Rb	[Sr]	Y	Zr	Nb	[Mo]	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	[Cd]	In	[Sn]	Sb	Te	[I]	Xe
Cs	[Ba]	Ln	Hf	Ta	[W]	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U												

○ 多量必要

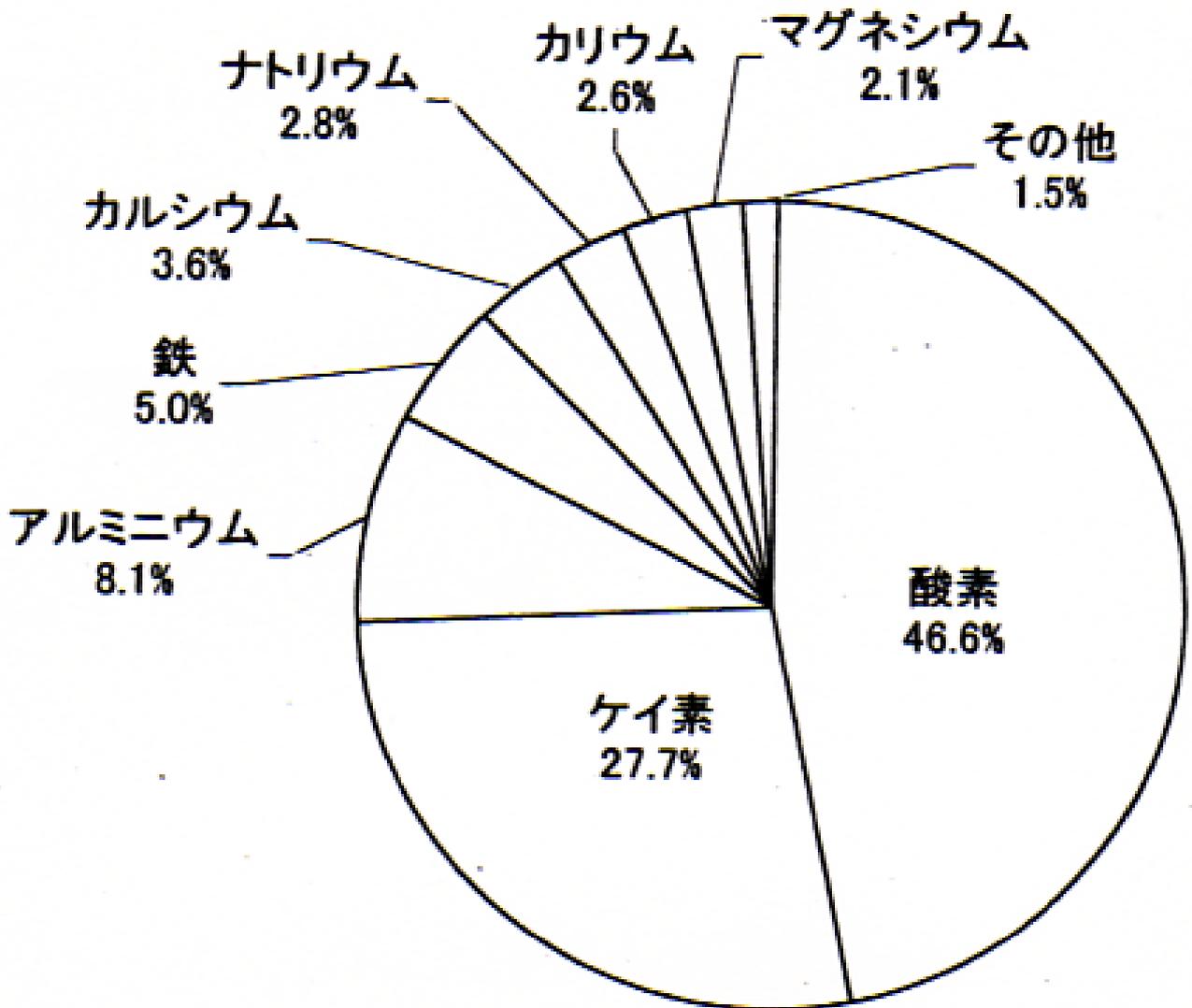
□ 微量必要

⋯ がある種の生物には微量必要の可能性あり

海水中の元素の濃度



地殻を構成する元素

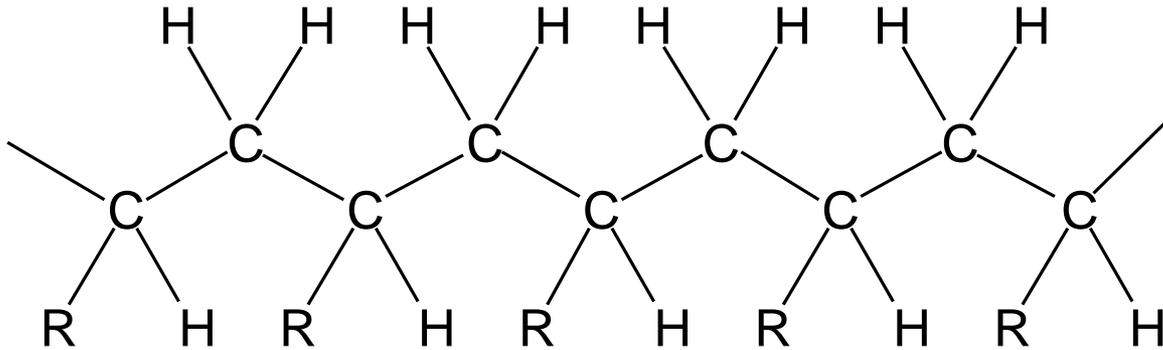


順位

17 炭素
0.02%

33 窒素 0.002%

高分子化合物(ポリマー)



R

H

CH₃

C₆H₅

ポリエチレン

ポリプロピレン

ポリスチレン

R

CN

OCOCH₃

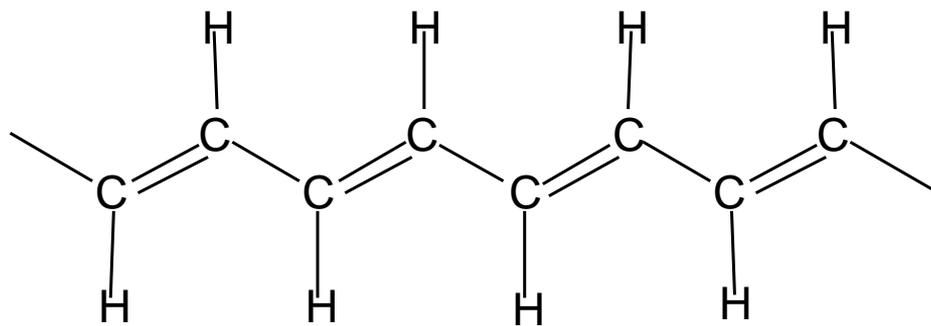
Cl

ポリアクリロニトリル

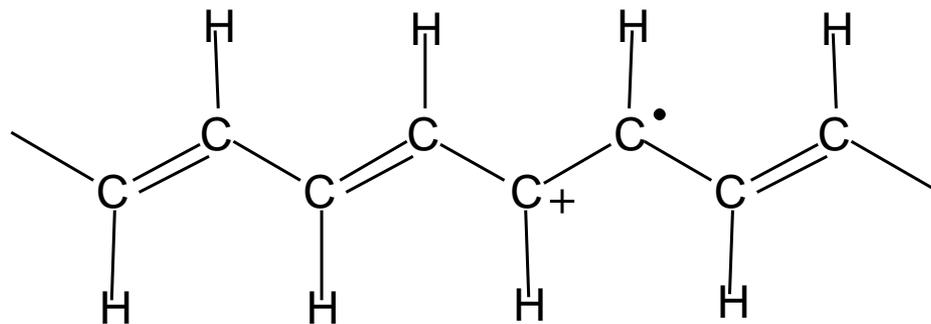
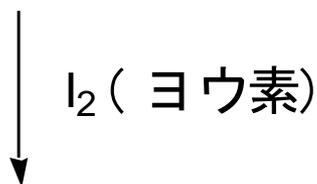
ポリ酢酸ビニル

ポリ塩化ビニル

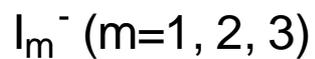
ポリアセチレン



導電性なし



導電性高分子

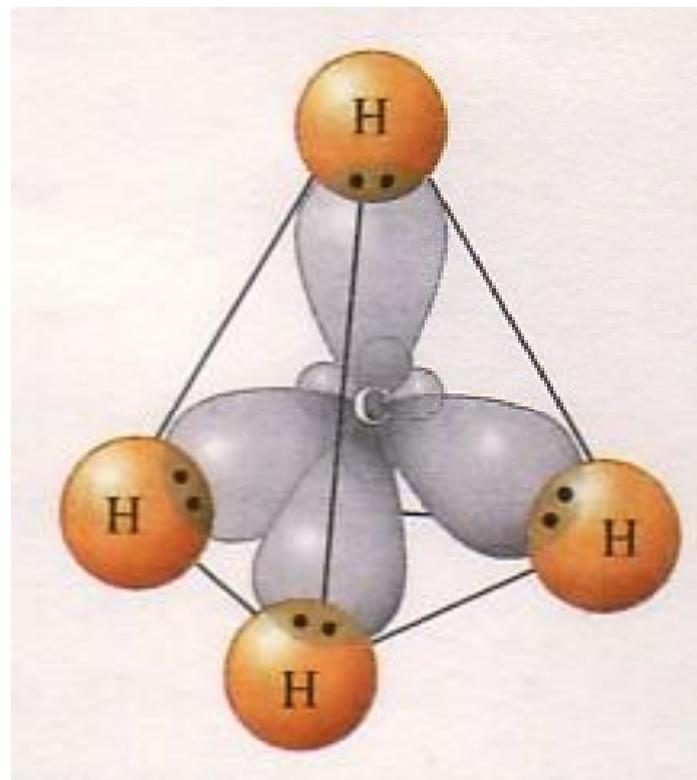
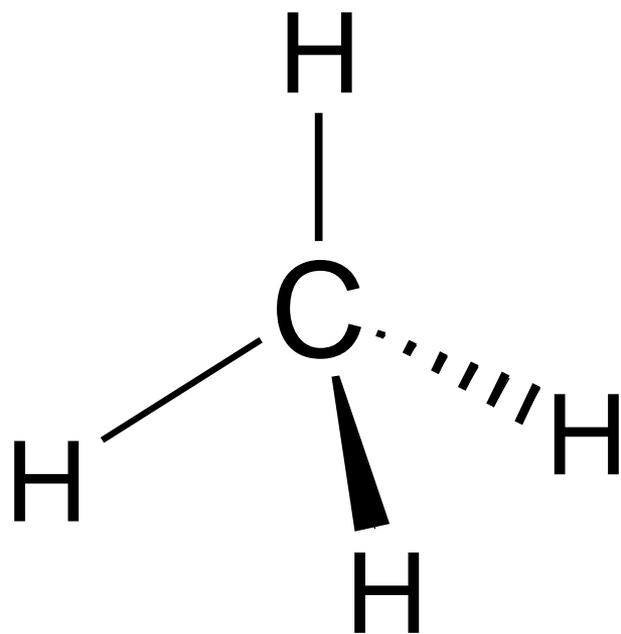


人体における構成原子の重量パーセント

元素	原子の重量%
水素	62.8
酸素	25.4
炭素	9.4
窒素	1.4
その他	1.0

有機化合物の形

メタン CH_4 の構造



正四面体構造

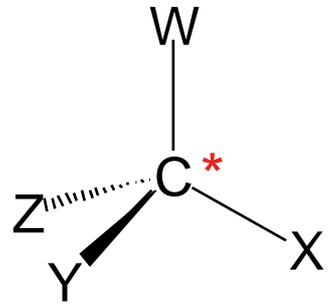
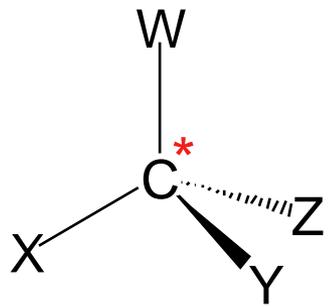
炭素原子のキラリティー（対掌性）と鏡像異性体

炭素の正四面体構造



4つの異なる原子または原子団をもつとき
鏡像異性体が存在

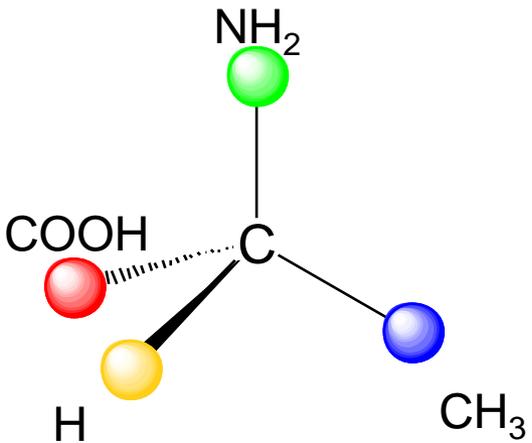
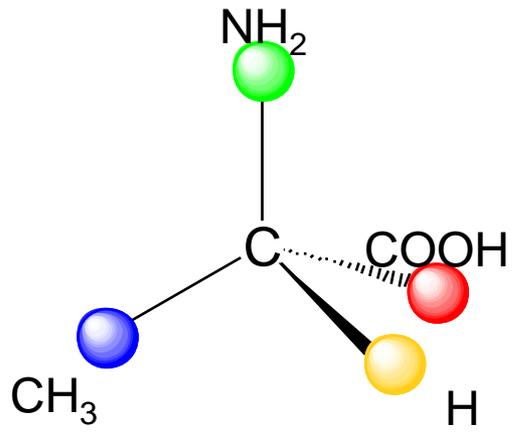
鏡



キラル
鏡像関係にあるもの

アキラル
鏡像関係にないもの

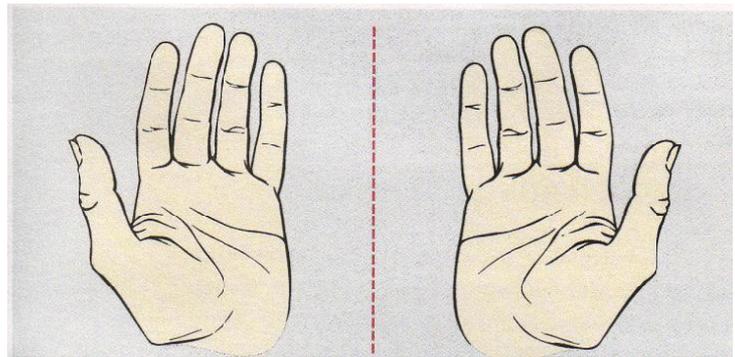
具体例



* **不斉炭素** : 4つの異なる原子または
原子団をもつ炭素

L-アラニン（左手形）
（天然に存在）

D-アラニン（右手形）



左手 鏡 右手 68

キラリティーと生理作用

名称	右手形の性質	左手形の性質
グルタミン酸ナトリウム	味なし	うま味の成分
リモネン	レモンの香り	オレンジの香り
シトロネロール	油くさい刺激臭	バラの花の香り
メントール	消毒薬臭い	ハッカの香り
キクイムシの集合フェロモン	効果なし	効果あり
マメコガネの性フェロモン	効果あり	効果なし
サリドマイド	鎮静剤	催奇性
アスパルテーム	苦い*1	ショ糖の約180倍の甘さ*2
糖類	(すべて右手形)	(ない)
アミノ酸	(ない)	(すべて左手形)

*1 : アスパラギン酸 (左) + フェニルアラニン (右)

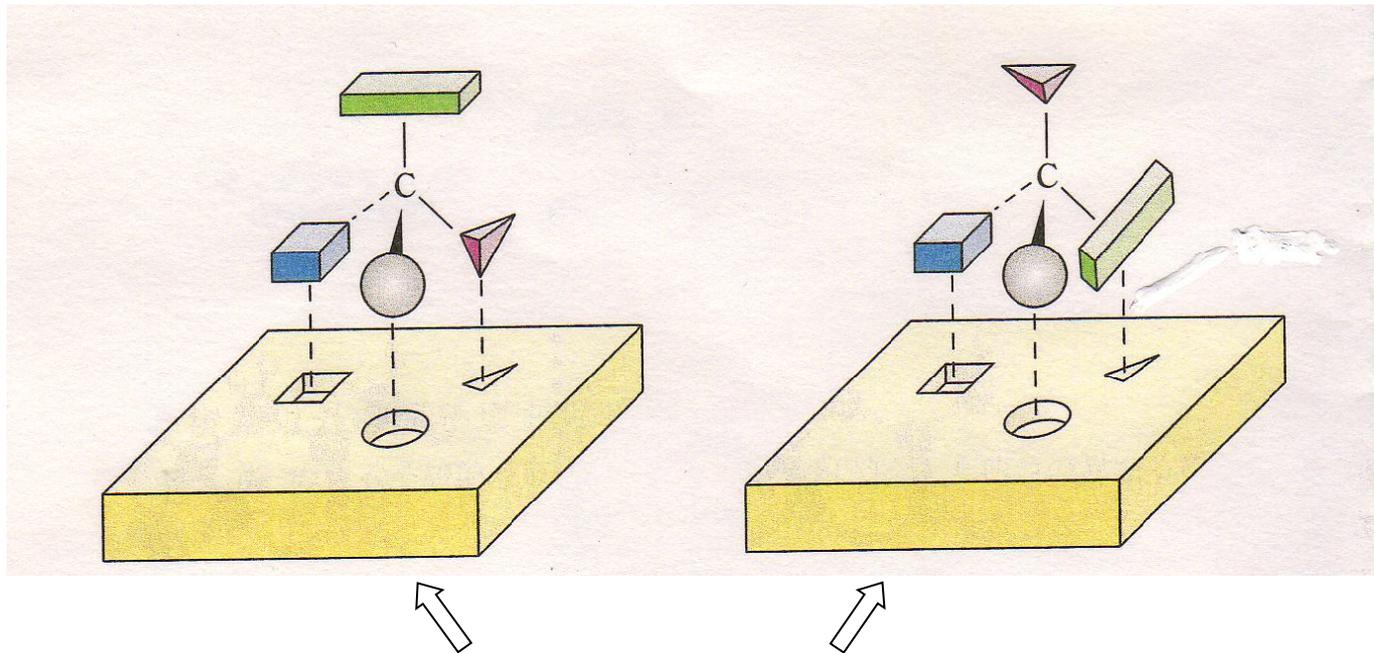
*2 : アスパラギン酸 (左) + フェニルアラニン (左)

鏡像体はなぜ異なる生理作用をもつのか

一方の鏡像体は酵素の受容体に

うまくはまりこむ

うまくあわない



酵素あるいは細胞表面などの受容体
(これらはキラルなアミノ酸や糖から構成されている)

不斉合成（キラルな分子の合成）

- ・ 不斉合成を実験室で行うことの難しさ
 - 1) 右手形と左手形は沸点、融点、溶解度などの物理的性質が全く同じ
 - 2) 通常の下条件下での化学反応では、右手形と左手形は同量ずつ生成する

（キラルな分子はキラルな試剤の存在下またはキラルな反応条件でのみ合成できる）

触媒による不斉合成反応の開発

2001年度ノーベル化学賞

不斉還元 野依良治、W. ノーレス

不斉酸化 B. シャープレス

触媒的不斉還元反応の開発

- ・ 触媒（キラルな触媒）を用いて還元反応（ H_2 との反応）を行い、右手形あるいは左手形の一方のみを高効率で合成する方法を開発
- ・ 抗生物質、メントール、アルカロイド（窒素を含む生理活性物質）、アミノ酸、ビタミンなどの合成に応用

ノーベル賞のメダルと賞状

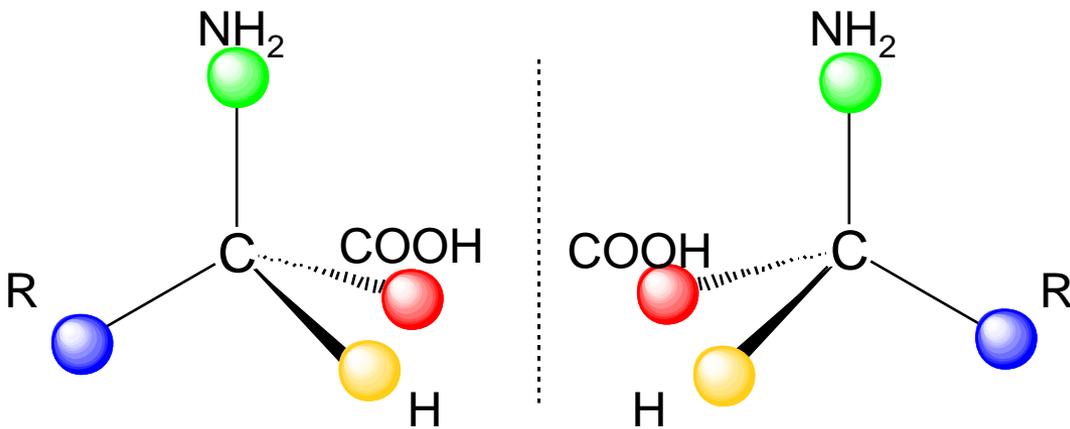


メダル



賞状

天然のアミノ酸は左手形

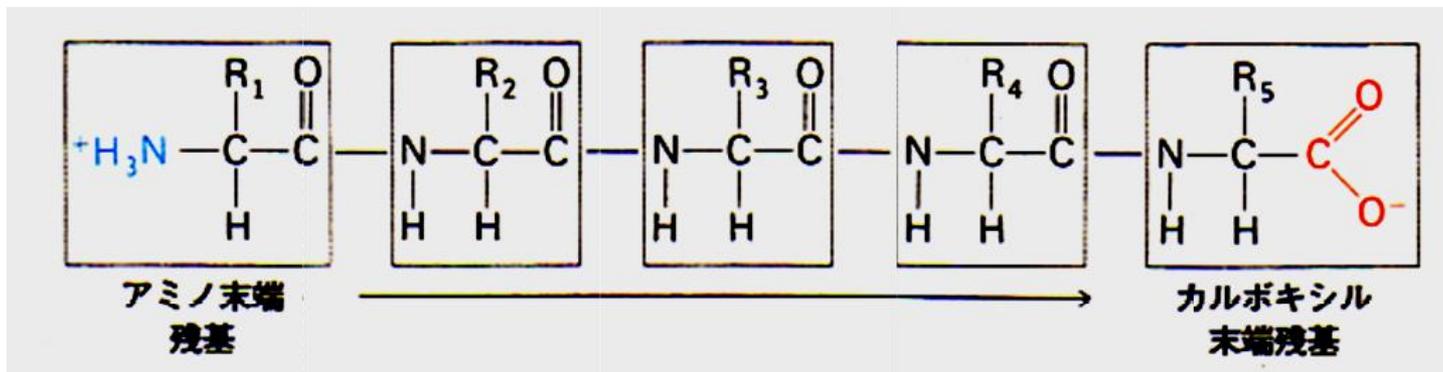


左手形

右手形

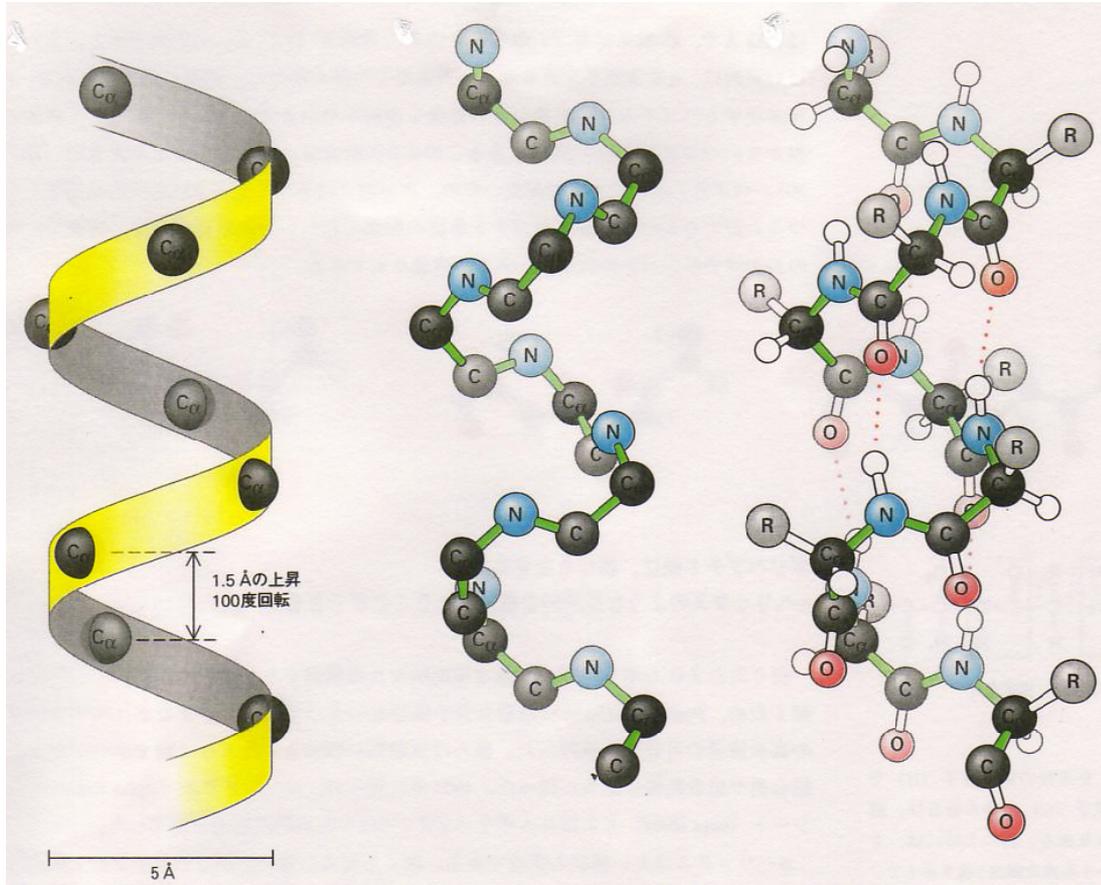
天然に存在するアミノ酸は必ず左手形

天然には20種の異なるRをもつL-アミノ酸（左手形）が存在し、互いにつながっていろいろなタンパク質を作る

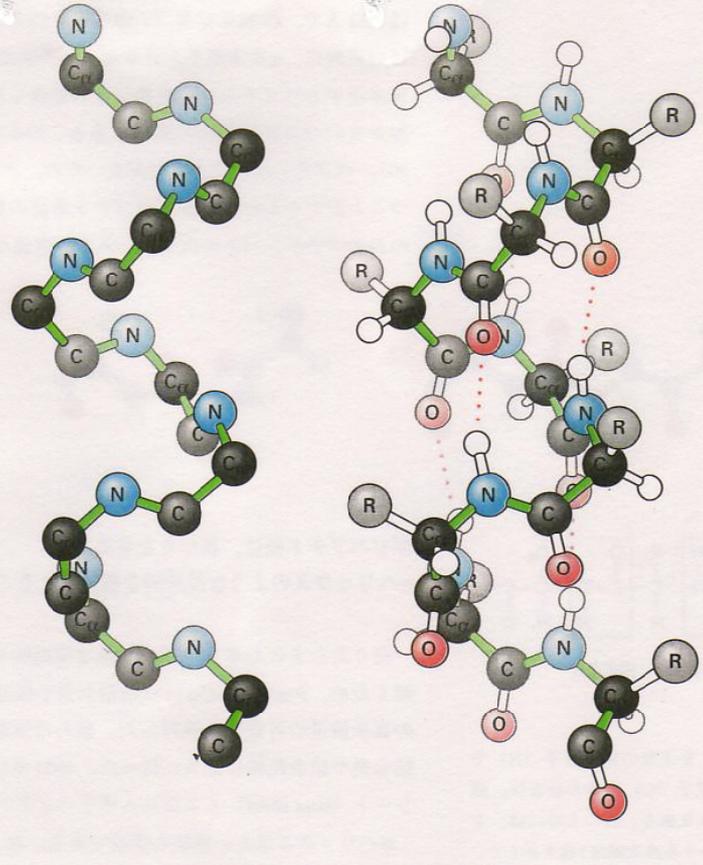


タンパク質は右まきらせん

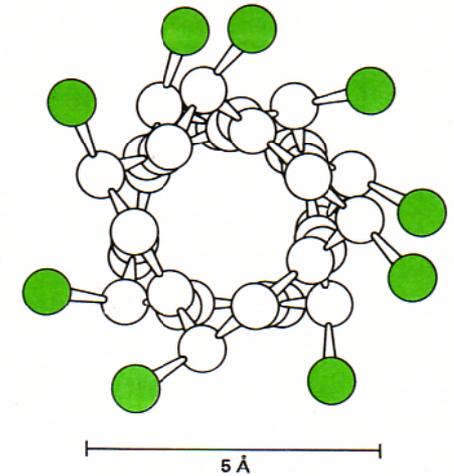
L-アミノ酸からは右まきのらせん構造のタンパク質がで



A



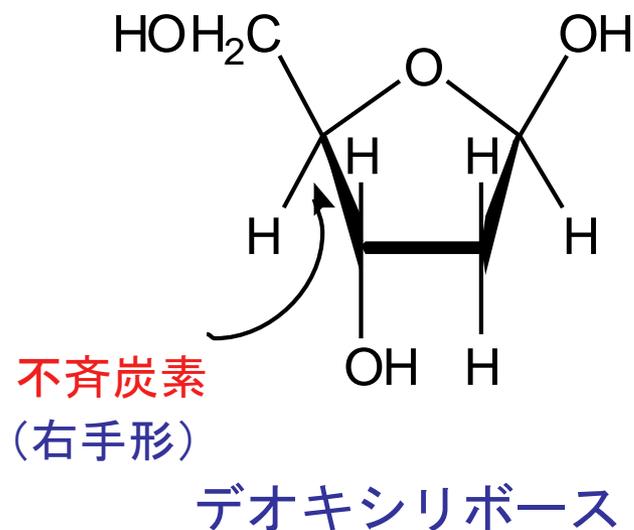
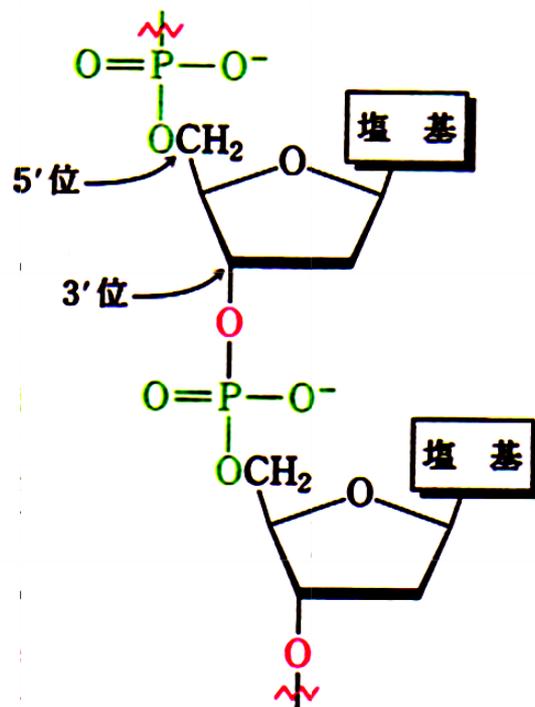
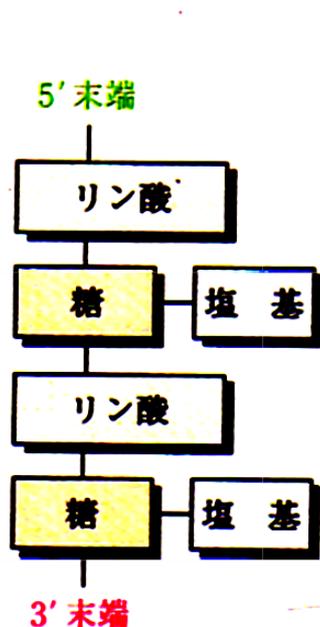
B



C

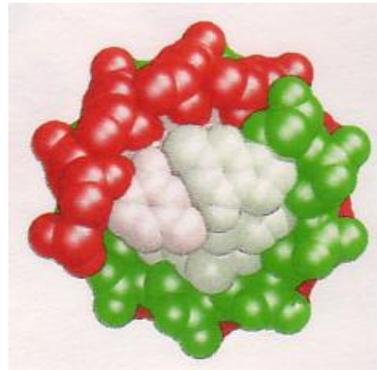
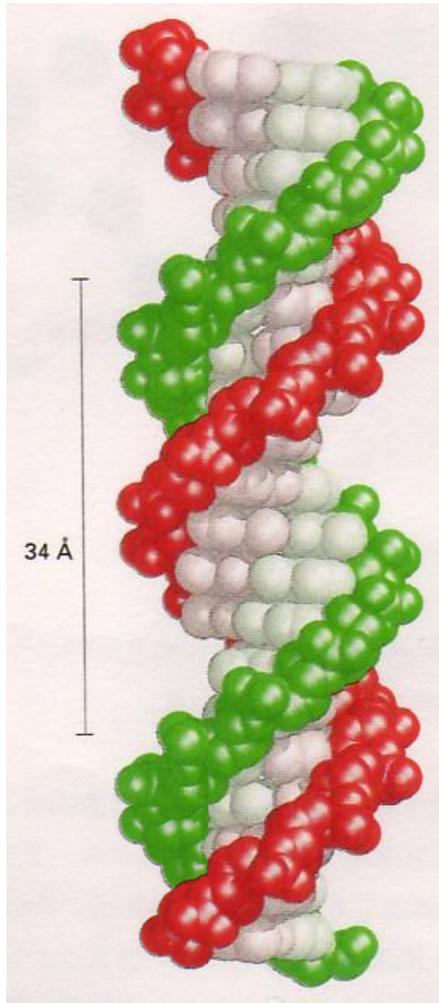
遺伝子の本体は右まきらせん

DNAの化学構造



塩基は4種類 : A(アデニン)、G(グアニン)
T(チミン)、C(シトシン)

二重らせん構造（ワトソン-クリックモデル）



右手形構造をもつ糖
（デオキシリボース）
を骨格としてできる
DNAのらせんは
右まきである

T(チミン)はA(アデニン)
C(シトシン)はG(グアニン)
と対を作る

ノーベル生理学・医学賞（1962年）
クリック、ワトソン、ウィルキンス

元素の周期表

1 H																	2 He
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba	L	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra	A															
L	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu		
A	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr		

- 典型金属元素
- 半金属元素
- 非金属元素
- 遷移金属元素
- 希ガス

ケイ素はなぜ生命の元素となれないか

ケイ素と炭素の比較

- ・炭素よりはるかに多量に存在

ケイ素 27.7%，炭素 0.02%

- ・炭素と同じ族（化学的性質類似）

炭素と同様に、互いに連続して結合が可能

ケイ素と炭素

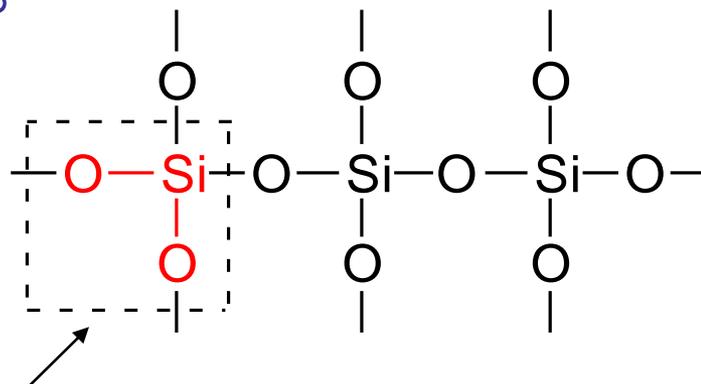
- ・ケイ素の化合物の結合は、炭素の化合物の結合より強く、反応を起こしにくい。
- ・ケイ素を含む二重結合をもつ化合物かつ非常に不安定で存在しにくい。



二酸化炭素

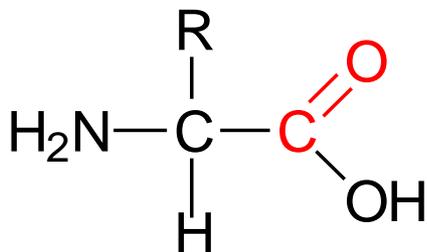


存在しない

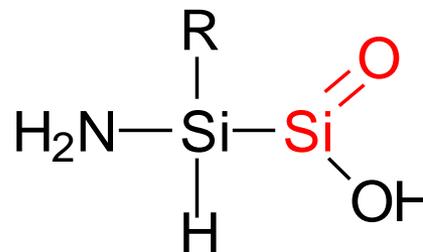


SiO₂単位

石英・水晶・けい砂)



アミノ酸



存在できない