

化学の世界 第3回 2023.6.28

# 化学結合と分子

Robert Mulliken  
(1896 - 1986)

梶本 興 亜

## 化学の世界を作る3つの粒子と2つの特徴

### 3つの粒子

電子

●  
陽子

●  
中性子

### 化学の本質を理解するためのヒント

- 自然界では電磁気力(＋と－が引き合う力)のみが大切。
- 電子は核に比べて軽く、とても広がっている。

周期表

元素の周期表(長周期型)

周期	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	(1A)	(2A)	(3A)	(4A)	(5A)	(6A)	(7A)	(8)	(8)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)
1	1H 水素 1.008																	2He ヘリウム 4.003
2	3Li リチウム 6.941*	4Be ベリリウム 9.012											5B ボロン 10.81	6C 炭素 12.01	7N 窒素 14.01	8O 酸素 16.00	9F フッ素 19.00	10Ne ネオン 20.18
3	11Na ナトリウム 22.99	12Mg マグネシウム 24.31											13Al アルミニウム 26.98	14Si ケイ素 28.09	15P リン 30.97	16S 硫黄 32.07	17Cl 塩素 35.45	18Ar アルゴン 39.95
4	19K カリウム 39.10	20Ca カルシウム 40.08	21Sc スカンジウム 44.96	22Ti チタン 47.87	23V バナジウム 50.94	24Cr クロム 52.00	25Mn マンガン 54.94	26Fe 鉄 55.85	27Co コバルト 58.93	28Ni ニッケル 58.69	29Cu 銅 63.55	30Zn 亜鉛 65.39*	31Ga ガリウム 69.72	32Ge ゲルマニウム 72.64	33As アセチン 74.92	34Se セレン 78.96	35Br 臭素 79.90	36Kr クリプトン 83.80
5	37Rb ルビウム 85.47	38Sr ストロンチウム 87.62	39Y イットリウム 88.91	40Zr ジルコニウム 91.22	41Nb ニオブ 92.91	42Mo モリブデン 95.94	43Tc テクネチウム 99	44Ru ルビジウム 101.1	45Rh ロジウム 102.9	46Pd パラジウム 106.4	47Ag 銀 107.9	48Cd カドミウム 112.4	49In インジウム 114.8	50Sn スズ 118.7	51Sb アンチモン 121.8	52Te テルル 127.6	53I ヨウ素 126.9	54Xe キセノン 131.3
6	55Cs セシウム 132.9	56Ba バリウム 137.3	57-71 La-Lu ランタノイド	72Hf ハフニウム 178.5	73Ta タンタル 180.9	74W タングステン 183.8	75Re レニウム 186.2	76Os オスミウム 190.2	77Ir イリジウム 192.2	78Pt 白金 195.1	79Au 金 197.0	80Hg 水銀 200.6	81Tl タリウム 204.4	82Pb 鉛 207.2	83Bi ビスマuth 209.0	84Po ポロニウム (210)	85At アスタチン (210)	86Rn ラドン (222)
7	87Fr フランシウム (223)	88Ra ラジウム (226)	89-103 Ac-Lr アクチノイド	104Rf ルネジウム (261)	105Db ドブニウム (262)	106Sg シグマニウム (263)	107Bh ブヘリウム (264)	108Hs ヘンリウム (265)	109Mt メンテネウム (266)	110Ds ダウジウム (271)	111Rg リグナニウム (272)	112Cn クニウム (285)	113Nh ニホニウム (284)	114Fl フルロニウム (289)	115Mc メンケニウム (288)	116Lv リウベンジウム (293)	117Ts テネシウム (310)	118Og オガネソン (314)
6	ランタノイド																	
7	アクチノイド																	

金属

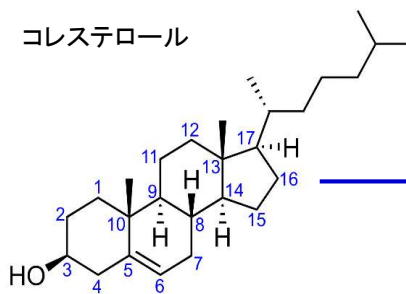
半金属

非金属

(注) 本表の原子番号の付随は、有効数字の4桁目までを1以内であるが、\*を付したものは±2以内、\*を付したものは±3以内である。また、安定同位体がなく、特定の天然同位体組成を定めない元素については、その元素のよく知られた放射線同位体の中から1種を選んでその質量数を( )の中に表示してある(したがってその値を他の元素の原子番号と同等に取り扱うことはできないことに注意していただきたい)。日本化学会 原子番号委員会による。

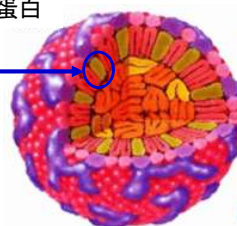


コレステロール

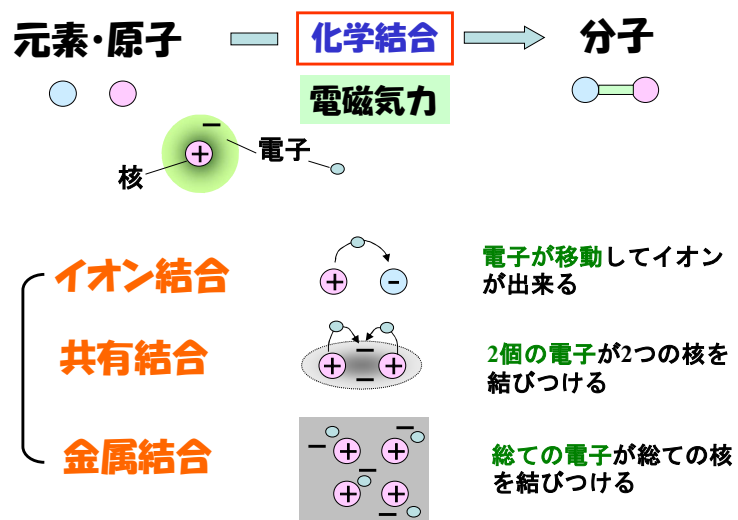


LDL > 140mg/dL 異常  
HDL < 40mg/dL 異常  
lipoprotein

リポ蛋白



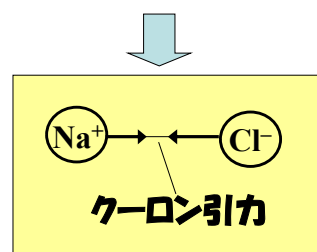
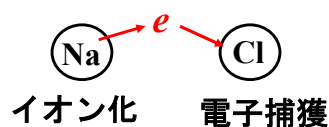
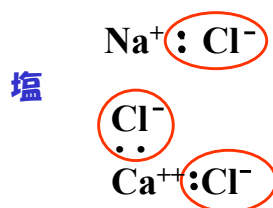
## 原子同士を結びつける



## 原子を結びつけるーイオン結合

+イオンと-イオンが  
クーロン力で引き合う

$$\text{クーロン力 } F = \frac{c}{r^2}$$



**安定**

**周期律表とイオンの生成**

族	1 (1A)	2 (2A)		13 (3B)	14 (4B)	15 (5B)	16 (6B)	17 (7B)	18 (0)
1	1 H 水素 1.008								2 He ヘリウム 4.003
2	3 Li リチウム 6.941*	4 Be ベリリウム 9.012		5 B ホウ素 10.81	6 C 炭素 12.01	7 N 窒素 14.01	8 O 酸素 16.00	9 F フッ素 19.00	10 Ne ネオン 20.18
3	11 Na ナトリウム 22.99	12 Mg マグネシウム 24.31		13 Al アルミニウム 26.98	14 Si ケイ素 28.09	15 P リン 30.97	16 S 硫黄 32.07	17 Cl 塩素 35.45	18 Ar アルゴン 39.95

イオン化エネルギー  
Na<sup>+</sup> 496kJ/mol  
(Mgでは738kJ/mol)

電子親和力  
-349kJ/mol  
(Sでは-200kJ/mol)

Cl<sup>-</sup>

**原子を結びつけるー共有結合**

原子を結びつけるには  
**2個の電子が必要。**

クーロン力  $F = \frac{c}{r^2}$

a. 水素分子 H⊙:H

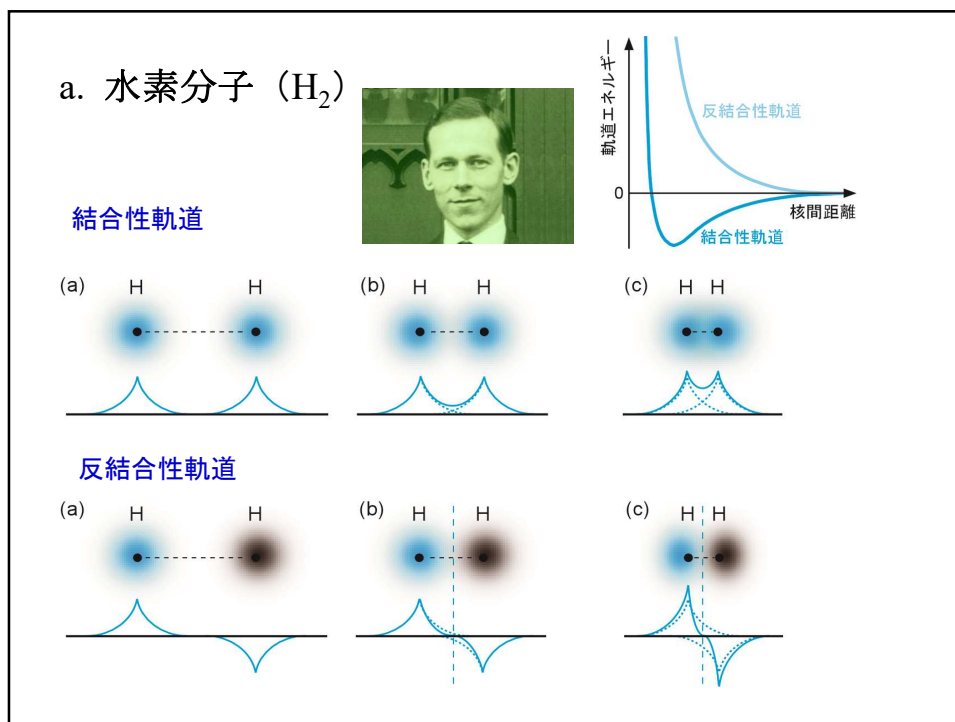
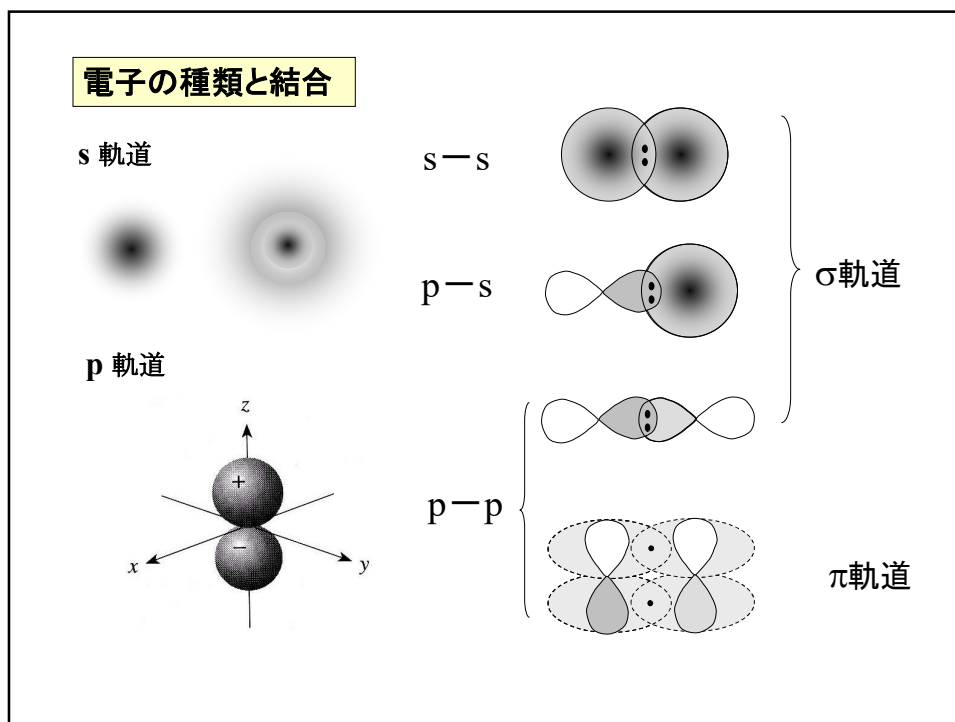
b. C-H結合 C⊙:H

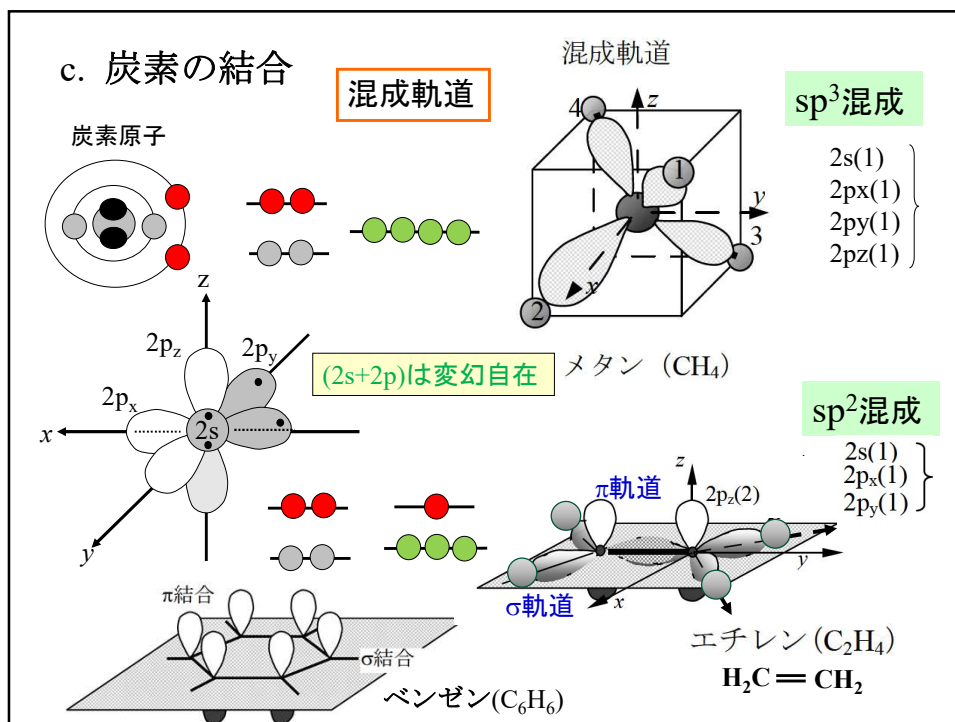
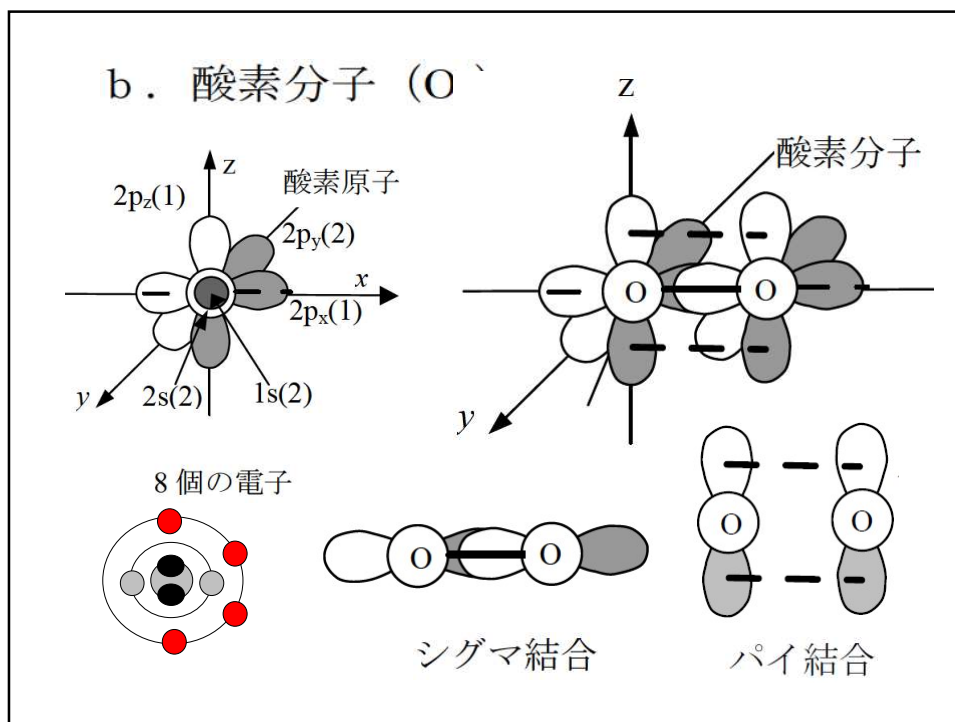
O-H結合 O⊙:H

C-C結合 C⊙:C

クーロン斥力

クーロン引力



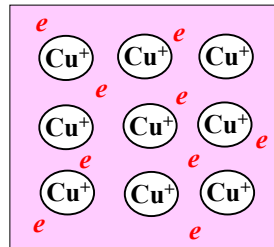
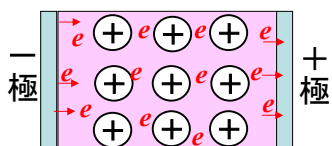


## 原子を結びつける－金属結合

+イオンを結びつける電子は  
全体に拡がって動き回る



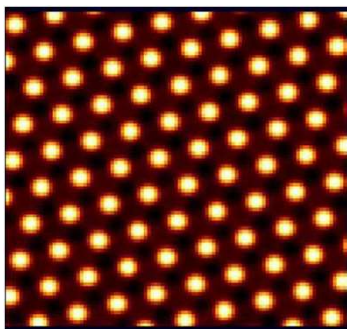
電流が流れる



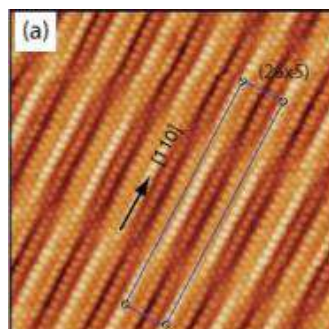
電子はいわば、+イオンを  
結びつける糊の役割をして  
いる。

$$\text{クーロン力 } F = \frac{c}{r^2}$$

## STM (走査トンネル顕微鏡) で見た金属表面の原子の配列



Pt(111面)



Au(001面)

S. Bengio et al., Phys. Rev. B 86, 045426 (2012)

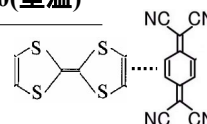
## 電気の通し易さー電気抵抗

抵抗 = 抵抗率 × 長さ / 面積

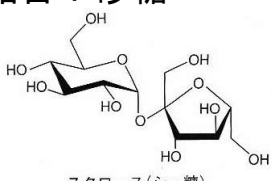
金属	融点 °C	抵抗率 10 <sup>-8</sup> Ωm	クラーク数 %	非金属	抵抗率 10 <sup>-8</sup> Ωm	クラーク数 %
銅 Cu	1083	1.673	0.01	C(石墨)	1375	0.08
亜鉛 Zn	419	5.92	0.004	Si	3-4	25.8
スズ Sn	232	11	0.004	Ge	46 × 10 <sup>6</sup>	6.5 × 10 <sup>-4</sup>
鉄 Fe	1535	9.71	4.70	As	33.3	5 × 10 <sup>-4</sup>
金 Au	1063	2.35	5 × 10 <sup>-7</sup>	Sb	39	5 × 10 <sup>-5</sup>
銀 Ag	961	1.59	1 × 10 <sup>-5</sup>	石英	1 × 10 <sup>21</sup>	
鉛 Pb	327	20.6	0.0015	ナフタレン	1 × 10 <sup>25</sup>	
水銀 Hg	-38	98.4	2 × 10 <sup>-5</sup>	TTF-TCNQ	2200(室温)	

半  
導  
体絶  
縁  
体

有機超伝導体

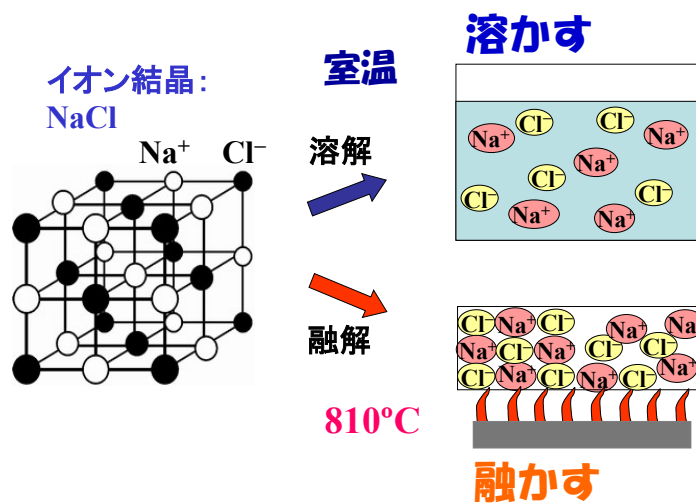


## 化学結合の違いによる分子の性質の差異

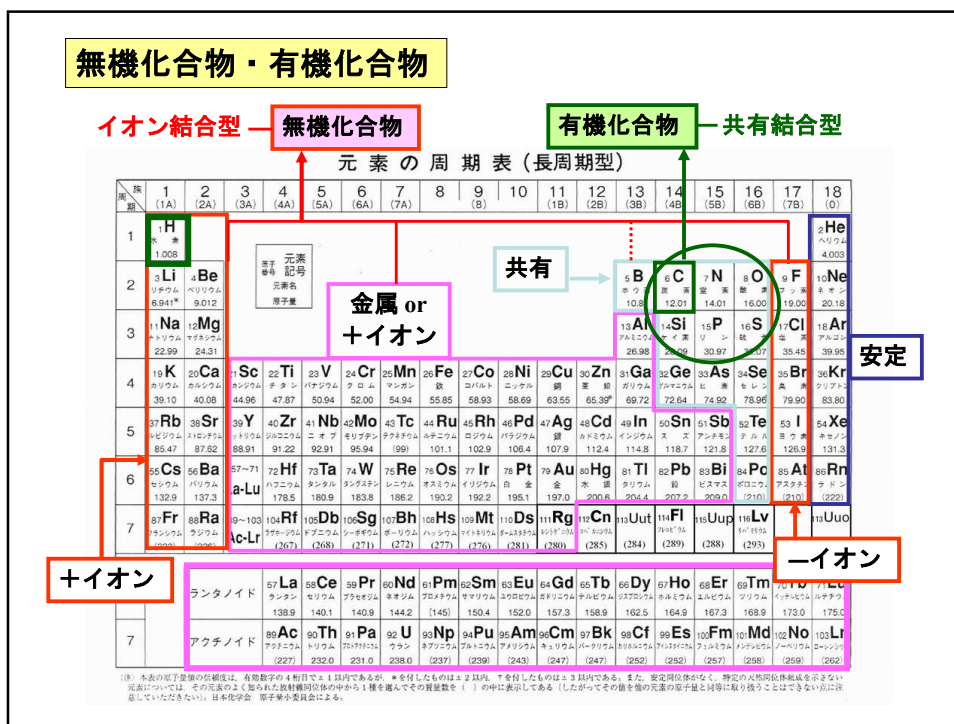
	融点	溶解度	電導度
イオン結合 : Na <sup>+</sup> Cl <sup>-</sup>	高い	良い 0.65g/100g水	小さい
共有結合 : 砂糖  スクロース(ショ糖)	低い 170 °C	中 0.62g/100g水	極小
金属結合 : Fe、Cu	高い 1535/1083 °C	無	大きい 10 × 10 <sup>-9</sup> Ωm



## イオン結晶をとかす



## NaCl融解実験



### 典型的な無機化合物・有機化合物

無機化合物	有機化合物
塩化ナトリウム $\text{Na}^+\text{Cl}^-$	プロパン $\text{C}_3\text{H}_8$
苛性ソーダ $\text{Na}^+\text{OH}^-$	ベンゼン $\text{C}_6\text{H}_6$
石灰石 $\text{Ca}^{2+}(\text{CO}_3)^{2-}$	エタノール $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$
塩酸 $\text{H}^+\text{Cl}^-$	アセトン $(\text{CH}_3)_2\text{CO}$
硫酸 $\text{H}^+_2(\text{SO}_4)^{2-}$	ポリプロピレン $\left[ \text{CH}_2-\text{CH} \begin{array}{l}   \\ \text{CH}_3 \end{array} \right]_n$
酸素 $\text{O}_2$	バッファリン $\text{C}_6\text{H}_4(\text{OCOCH}_3)(\text{COOH})$
亜硫酸ガス $\text{SO}_2$	アミノ酸や蛋白質
鉄 $\text{Fe}$	
金 $\text{Au}$	

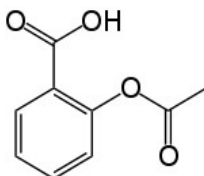


**世界で最も多く使われた解熱剤**

**アスピリン**



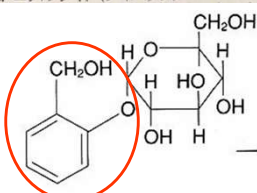
アセチルサリチル酸



**Felix Hoffmann**  
1868-1946

■成分(1錠中) アセチルサリチル酸.....330mg  
合成ヒドロタルサイト(ダイバツファ-HT).....100mg

1897年8月10日  
独Bayer社のホフマン  
純品の合成に成功



サリシン

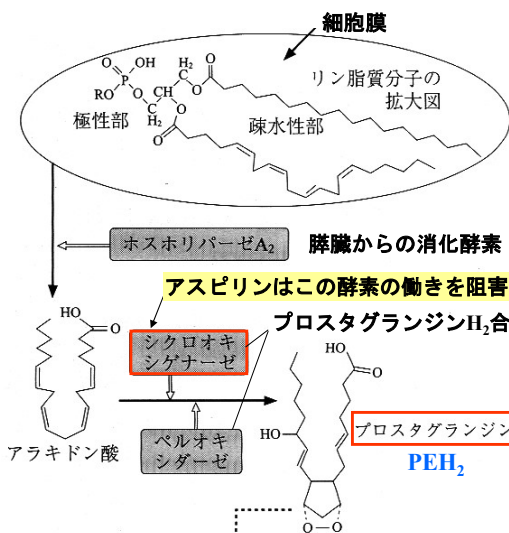
↓  
1899年  
独Bayer社より  
発売



100年以上も  
現役を続ける  
数少ない  
医薬品

・ヒポクラテスはヤナギの樹皮を鎮痛・消炎に用いた。

**なぜアスピリンは効くのか**

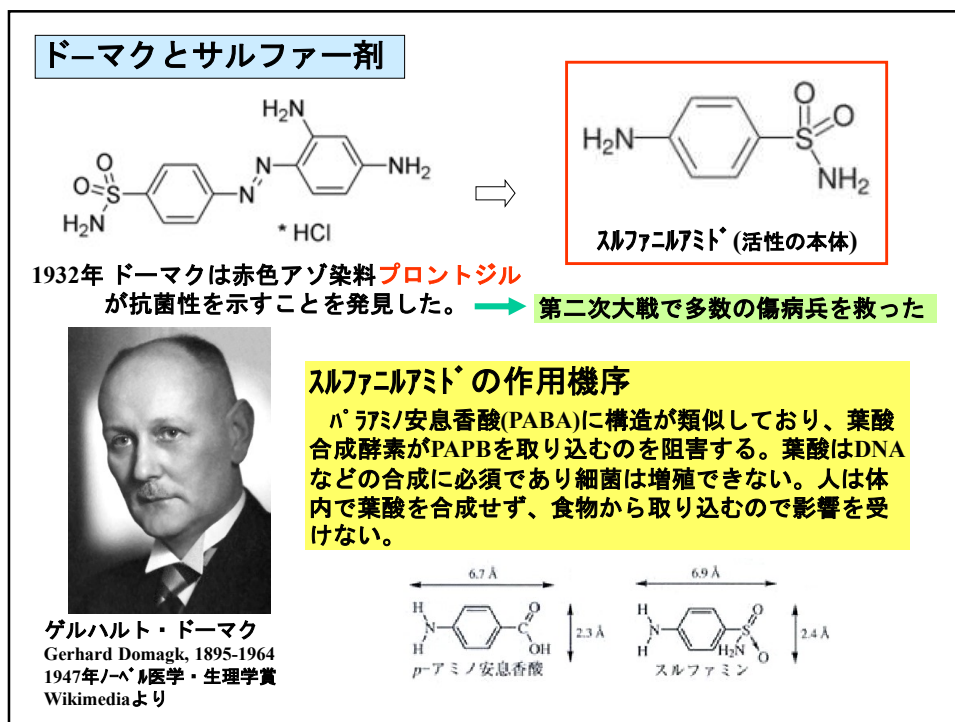
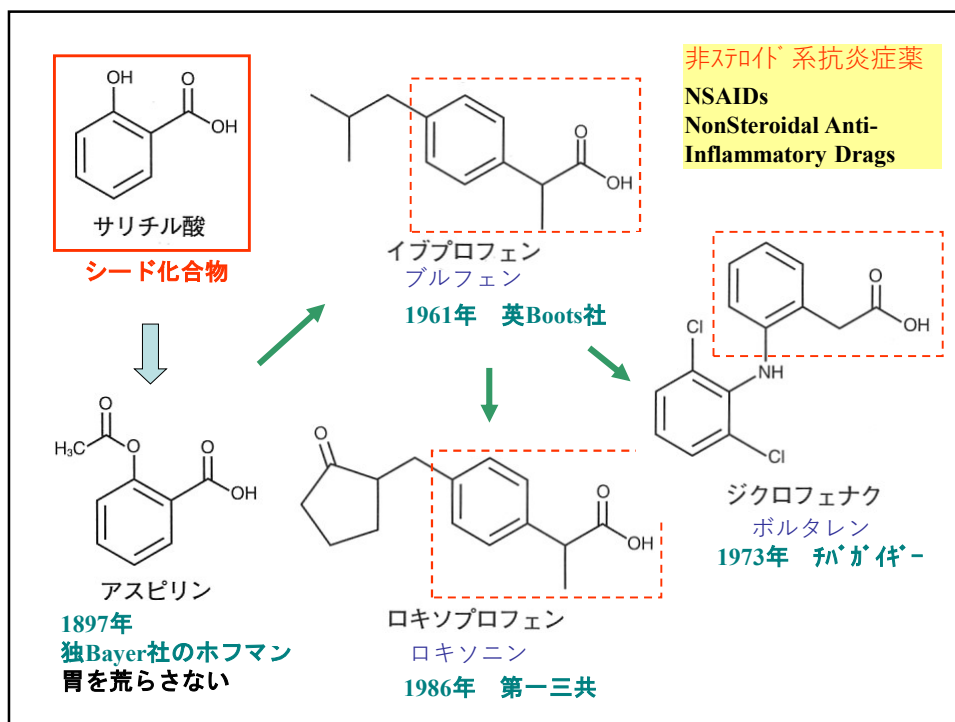


アスピリンはこの部分  
に化学的に結合する  
ことにより、アラキドン  
酸の吸着・反応を妨げる。

1982年のノーベル賞  
ジョン・ベイン(英)、ベンクト・サムエルソン、  
スネ・ベリストロム(スウェーデン)

発熱、疼痛感受性向上、血管拡張、粘液生成、陣痛

平山令明著「分子レベルで見た薬の働き」(講談社)から引用



## ガートルード・エリオン (1918-1999)

## 初めての抗ウイルス薬

- 1933 高校卒業時に祖父がガンで死ぬ → **ガンの治療法研究を目指す**
- 1937 ニューヨーク市立大学卒業 奨学金がなく修士課程に進めなかったアルバイトをして学資を稼ぎ、ニューヨーク大学に入学。
- 1941 ニューヨーク大学から修士号を授与される。  
しかし、**女性であるため博士課程入学させてもらえず**、研究助手や高校教師、分析補助員として働く。
- この頃、恋人を感染性心臓疾患で失う → **再び医薬品開発を志す**



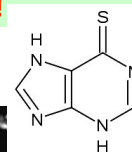
- 1944 ハロース・ウエルカム製薬会社に就職し、ジョージ・ヒッチングスの下で**核酸塩基拮抗薬 (DNA合成阻害) の開発を行う**。  
ブルックリン工科大学に通って博士号取得を目指したが、会社を辞めて専念しないと博士号はやれないと言われる。ヒッチングスの「**博士号など取らなくても価値ある仕事はやれる**」という言葉に励まされて、会社での研究に専念した。
- 1949 遂に**6-メルカプトプリン(6-MP)を合成**。急性小児白血病に効くことが解った。  
それまで死を待つしかなかった**小児白血病が治るようになった!**

ヘルペス治療薬(アシクロビル)  
エイズ治療薬(ジドブジン)  
など合成にも成功した。

1988年

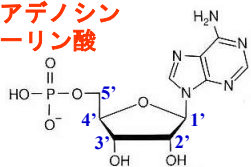
ノーベル生理学医学賞

増殖細菌や細胞のDNAを標的とした新しい治療薬に道を拓く。



遺伝情報は如何に伝えられるか

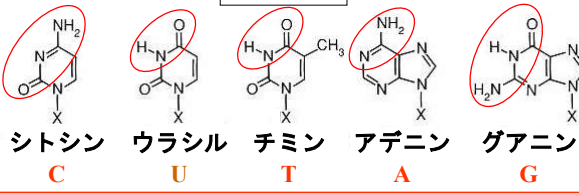
アデノシン  
-リン酸



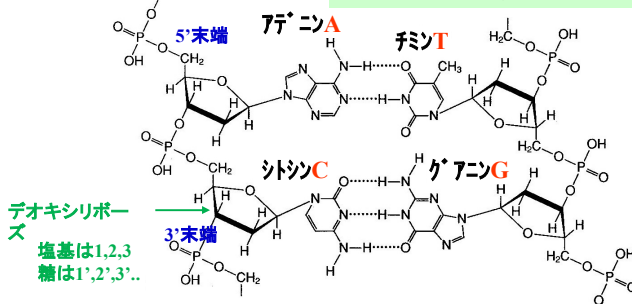
リン酸 糖 核酸塩基

ヌクレオチド  
ヌクレオチド

核酸塩基

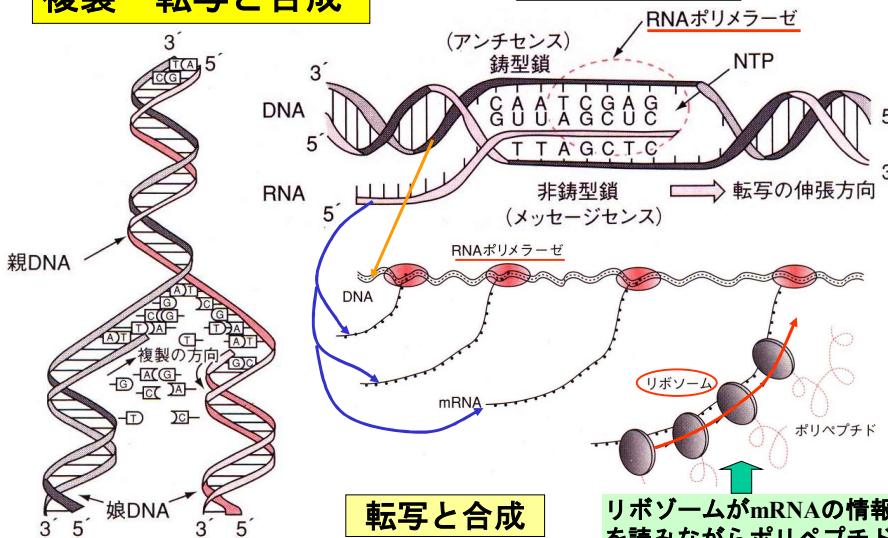


DNAの鎖：二重らせんは  
水素結合で固定されている



複製・転写と合成

RNAへの転写



転写と合成

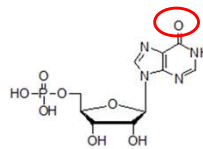
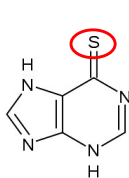
リボソームがmRNAの情報を  
読みながらポリペプチド  
を合成していく。1秒間に  
3アミノ酸程度の速度。

DNAの複製

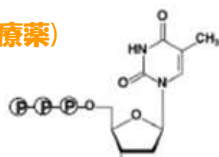
図は、功刀 滋、斉藤正治著「生化学」化学同人（2007）、から引用

レトロウイルスは、人細胞内に侵入した一本鎖RNAを鋳型としてDNAを合成(逆転写)する事により増殖する。この際、核酸塩基が必要になるので、偽の核酸塩基を与えて、DNA合成を阻害する。

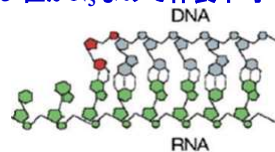
**ロイケリン**  
(白血病治療薬)



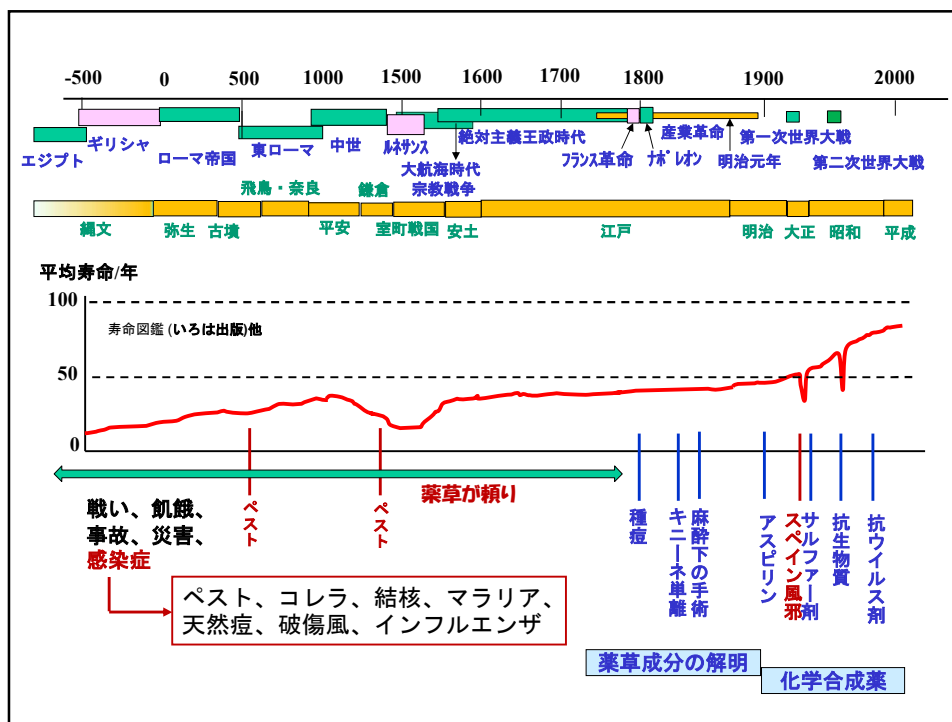
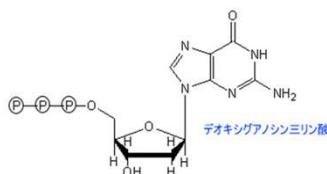
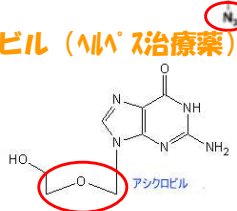
**ジドフシン** (HIV治療薬)



3'位がN<sub>3</sub>なので伸長不可



**アシクロビル** (ヘルペス治療薬)





**ご静聴有り難う。また来週。**