

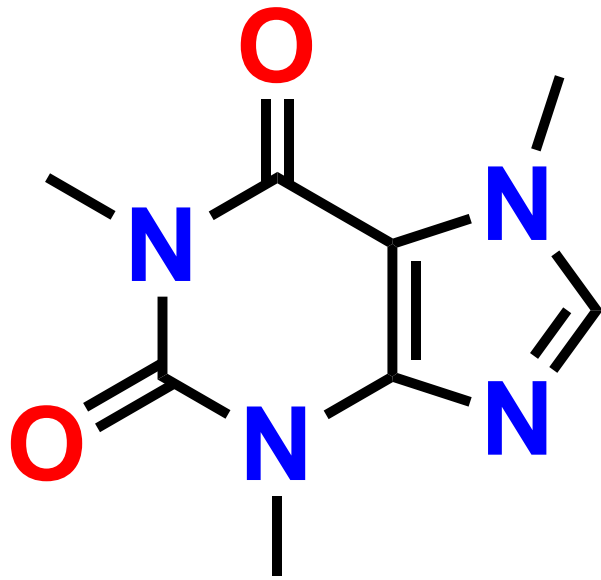
2026.05.28 サイエンスカフェin静岡 第194話

ミクロの世界のものづくり ～ 重い典型元素で有機化学の常識を破る ～

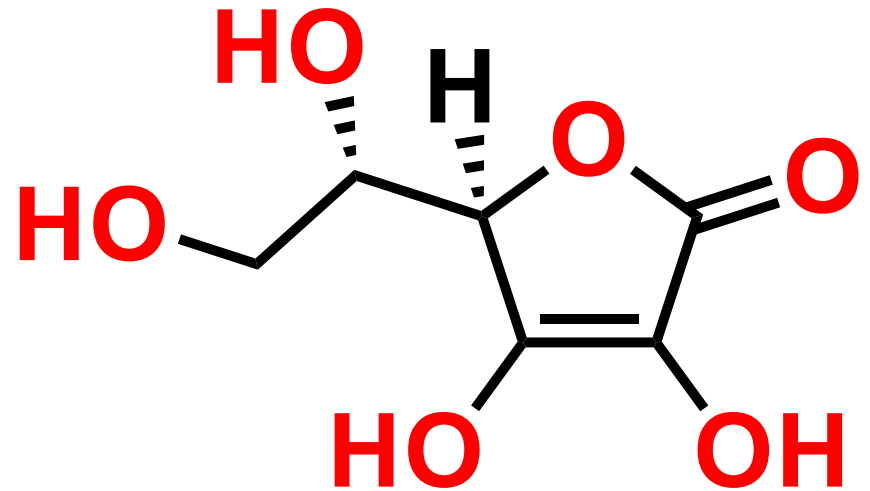
静岡大学 教育学部
理科教育専修 化学教室
助教 坂部 将仁

 Faculty of Education
Shizuoka University
ANNIVERSARY

- ✓ 分子の構造式のルールを知る
- ✓ 身の回りが有機分子にあふれていることを知る



カフェイン



ビタミンC

⇒ 世界の解像度がちょっとだけ上がる

1. 「有機化学」って？：分子の世界へのいざない
2. 有機分子の表記のルール：骨格構造式
3. 身近な有機分子の例
4. 有機化学の研究：ミクロの世界のものづくり
5. 私の研究：「重い元素で常識を破る」

有機化学

有機野菜, オーガニック食品, ...

「体に良さそう」

「自然のもの」

「安心できそう」 ...

化学薬品, 公害, 毒 , ...

「危険なもの」

「よくわからない」

「なんとなく怖い」 ...

実際は, 自然科学における (ただの) 分類上のことば

有機化学

有機 (Organic)

有機物, すなわち炭素(C)を中心とした物質に関わること
植物, 紙, ガス, 食物, 生命, etc...

⇒身の回りは有機物だらけ!

化学 (Chemistry)

世界を構成する物質の**なぜ?**を
ミクロのレベルで理解する
自然科学の一学問

⇒全ての物質は化学の研究対象

有機化学 : 有機物を扱う化学の一部門

⇒そもそも物質はどうやってできているか?

✓ **元素**：物質を構成している基本的な成分の種類

族 周期	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	H																	He
2	Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
3	Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
6	Cs	Ba	*	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
7	Fr	Ra	**	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Nh	Fl	Mc	Lv	Ts	Og

この世のすべての物質は

118種類の元素の組み合わせ

原子は太古の昔に星たちが作った！

*	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
**	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

✓ **原子**：ミクロの世界の実際の粒子

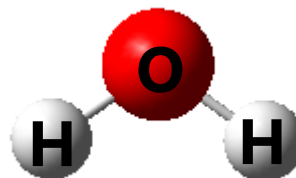
例



水100 mL
(約100 g)

酸素原子1個と水素原子2個からなる

の中に



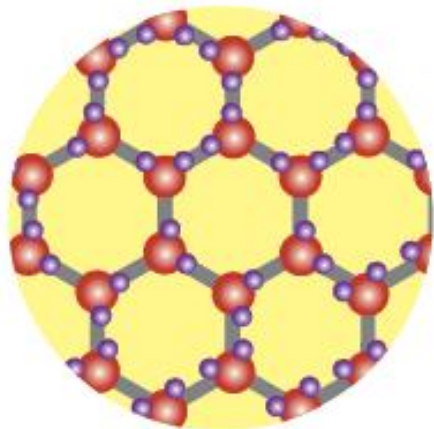
は何個？

水分子

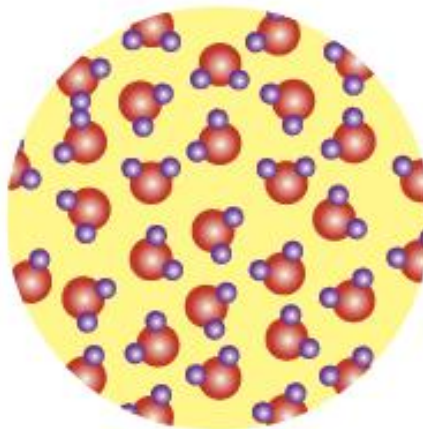
約33,000,000,000,000,000,000,000,000 個

約 3.3×10^{25} 個 (330 杼 個)

固体状態の水分子



液体状態の水分子



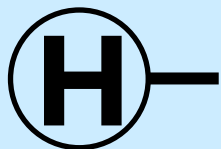
気体状態の水分子



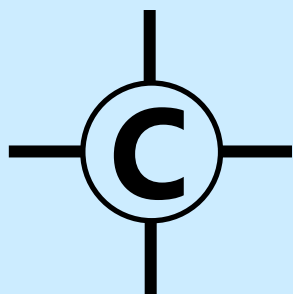
<https://media.aqua-sphere.net/wp-content/uploads/2018/09/47a80a0b7edbd8af2086e1d3be5cf0f5.png>

✓ 見えない原子・分子にいつも思いを馳せているのが化学者です。

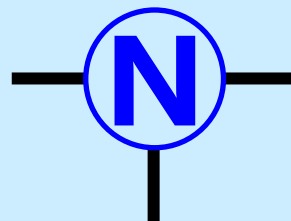
- ✓ 原子は寂しがりや。手をつなぐことで**分子**になる（結合）
- ✓ それぞれの元素（種類）によって、手の本数が決まっている



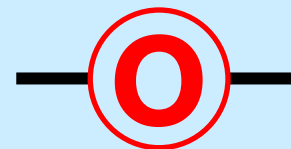
水素原子
1本



炭素原子
4本


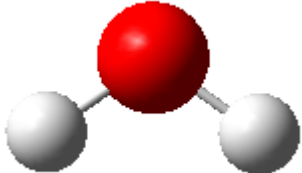

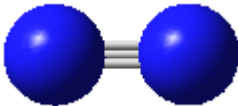


窒素原子
3本



酸素原子
2本

- ✓ 炭素(C)…4本の手を自在につなげることで、様々な形を作れる
⇒ 数千万種類とも言われる有機化学の多様性を生み出す！

分子	分子式	構造式	分子模型
水素	H_2	$\text{H}-\text{H}$	
水	H_2O	$\text{H}-\text{O}-\text{H}$	
二酸化炭素	CO_2	$\text{O}=\text{C}=\text{O}$	
窒素	N_2	$\text{N}\equiv\text{N}$	

✓ **有機分子**：ほぼH, C, N, O (たまにP, S, Cl, 金属など)

族 周期	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
1	H																		He
2	Li	Be											B	C	N	O	F		Ne
3	Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl		Ar

たったこれだけの元素で...

医薬品 食品 エネルギー プラスチック

化粧品 香料 洗剤 色素 生命 etc...

身の回りの至るところに有機分子が存在する

分子

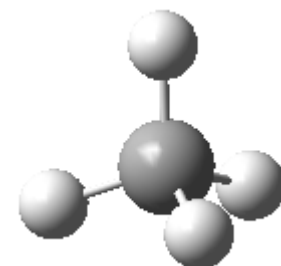
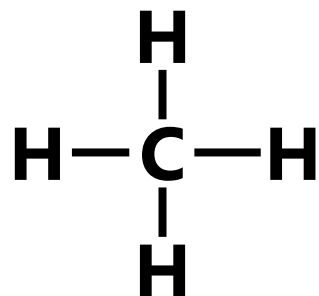
構造式

分子模型

メタン

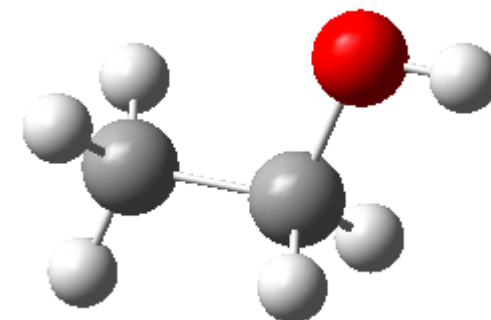
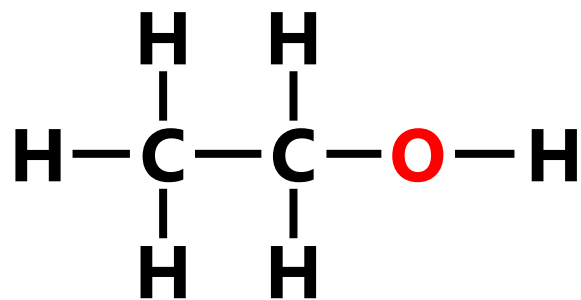
天然ガス

(先月のSC 木村先生)



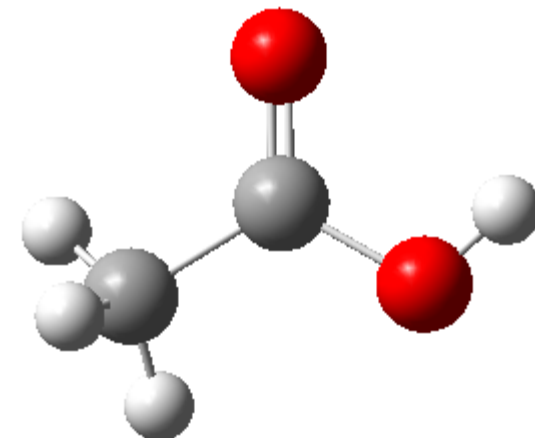
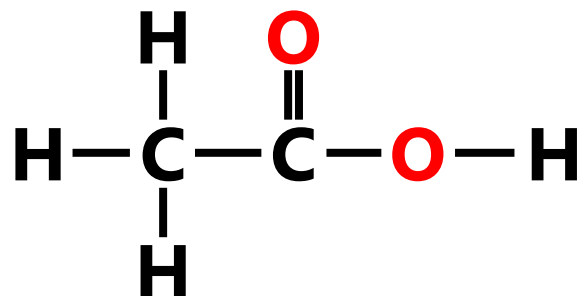
エタノール

お酒・消毒



酢酸

お酢の主成分

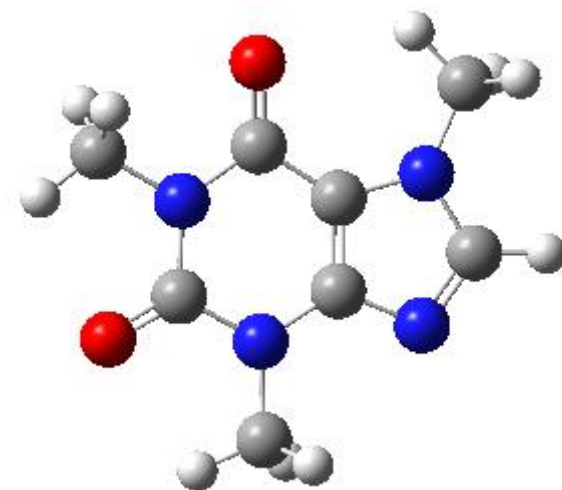
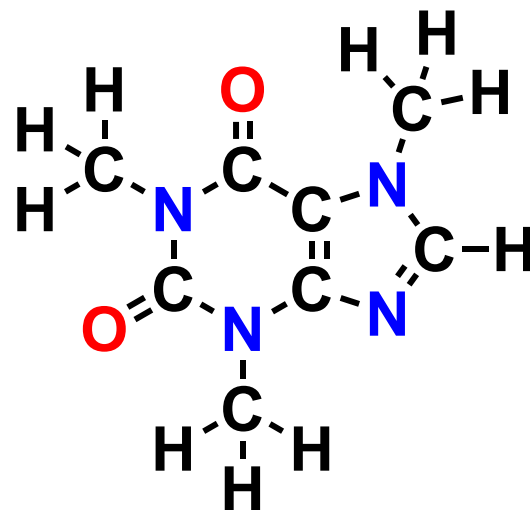


分子

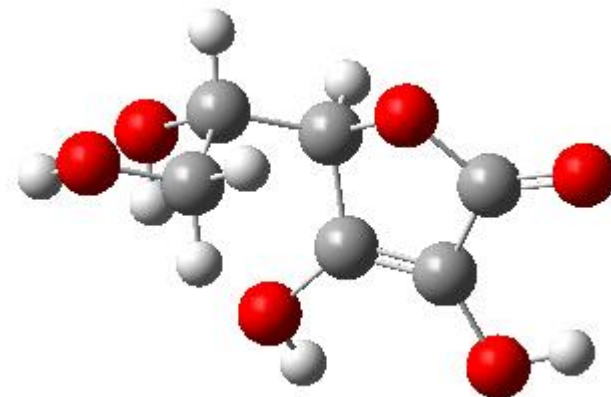
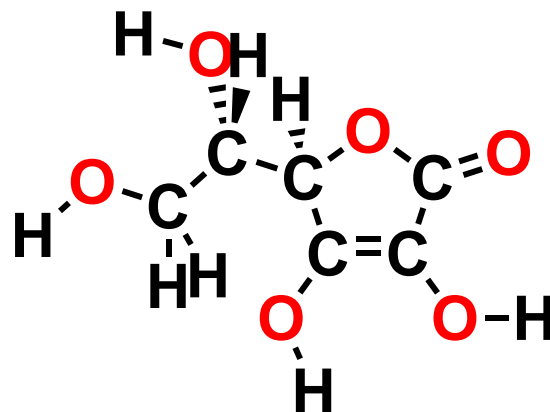
構造式

分子模型

カフェイン



ビタミンC



✓ C：骨格を決める N, O：水となじむ, 反応点となる, 個性を生む
 H：それ以外の表面を覆う ⇒ 簡便な表記法がほしい！

1. 「有機化学」って？ : 分子の世界へのいざない
- 2. 有機分子の表記のルール : 骨格構造式**
3. 身近な有機分子の例
4. 有機化学の研究 : ミクロの世界のものづくり
5. 私の研究 : 「重い元素で常識を破る」

✓ 炭素(C)はいつでも, 4本の結合を作り, 骨格を形作る

✓ 水素(H)はいつでも, 1本の結合で, 表面を覆う

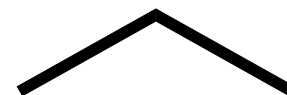
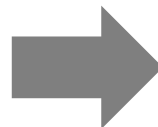
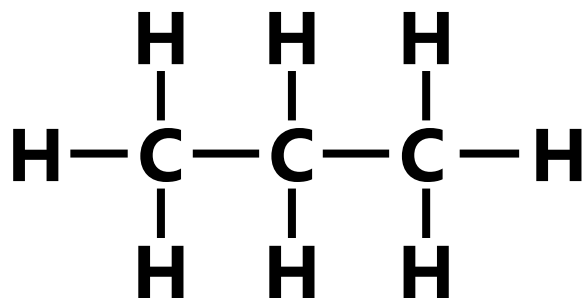
⇒炭素と水素を省略して「線分」で表す：骨格構造式

分子

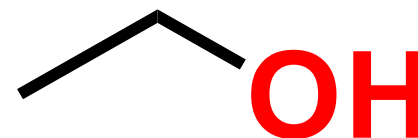
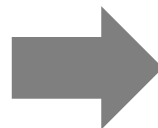
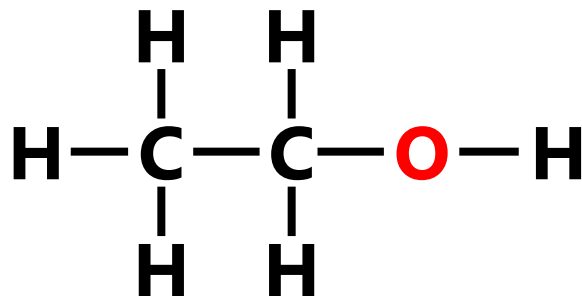
構造式

骨格構造式

プロパン
天然ガス



エタノール



✓ **骨格構造式：世界標準のルール（これだけ理解！）**

✓ C-C結合は**線分**で表し, **線分の末端**や**折れ曲がり**には**C原子**

✓ C原子に結合した**H原子のみ**を省略

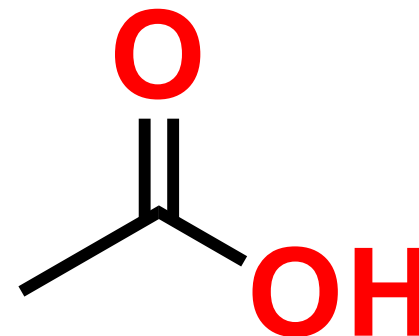
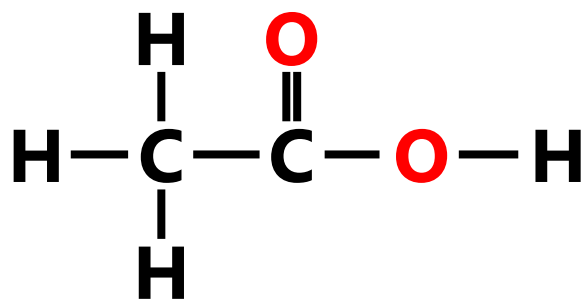
✓ C以外の原子・それに結合したH原子は**大事**：**すべて**表記

分子

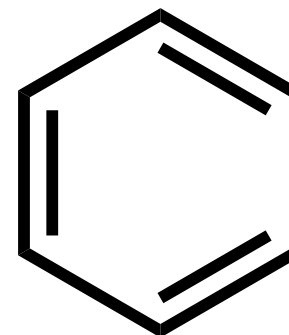
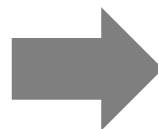
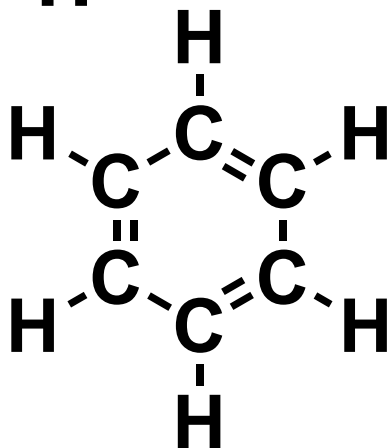
構造式

骨格構造式

酢酸



ベンゼン
石油製品原料

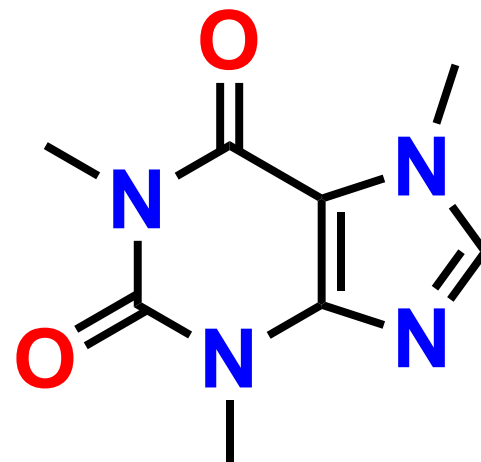
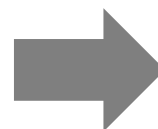
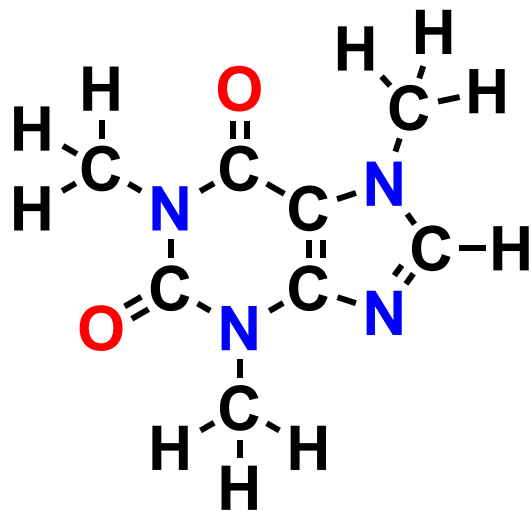


分子

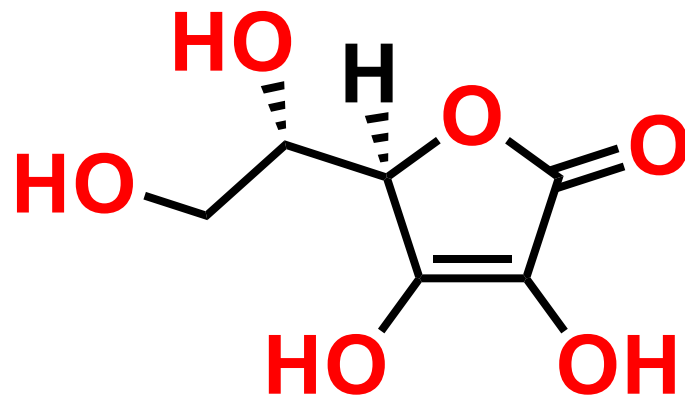
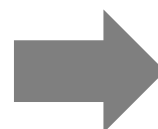
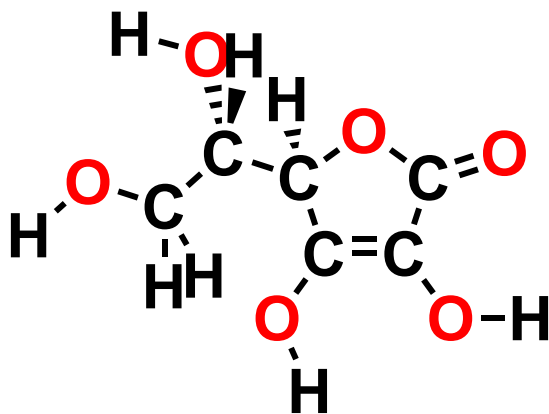
構造式

骨格構造式

カフェイン



ビタミンC



★分子の性質は構造で決まる！身近な分子の構造を見ていきます

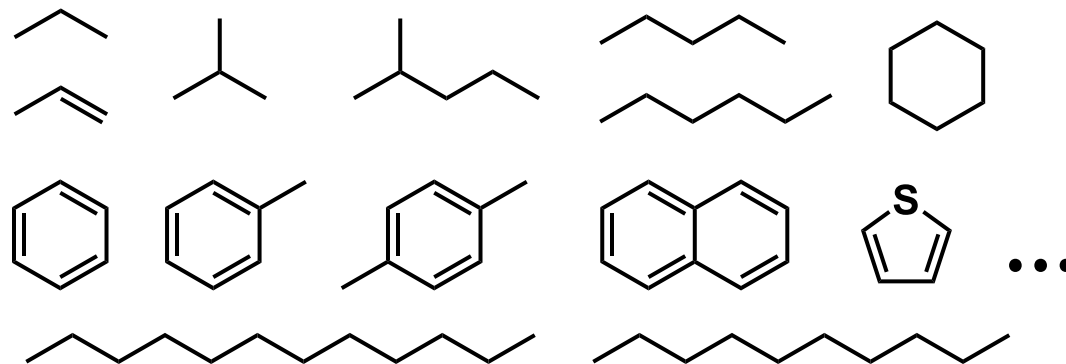
1. 「有機化学」って？ : 分子の世界へのいざない
2. 有機分子の表記のルール : 骨格構造式
- 3. 身近な有機分子の例**
4. 有機化学の研究 : ミクロの世界のものづくり
5. 私の研究 : 「重い元素で常識を破る」

エネルギー

原油 = 数十万種類の有機分子の混合物



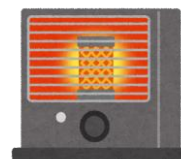
石油プラント



炭素の数（重さ）によって
ざっくりと分ける



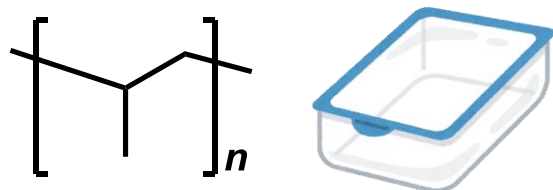
<p>LPガス 約C1~C4</p>	<p>ガソリン 約C5~C12</p>	<p>ナフサ 約C5~C12の 石油製品原料</p>	<p>灯油 約C9~C18</p>	<p>軽油 約C14~C23</p>
-------------------------------	--------------------------------	-------------------------------------------	------------------------------	-------------------------------



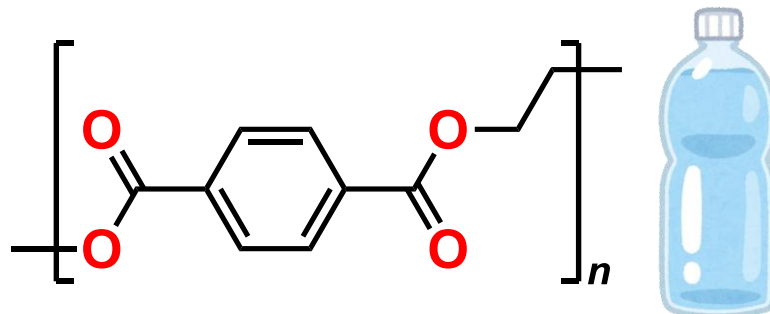
現代社会は石油で成り立っている（有機化学の研究も…）

プラスチック

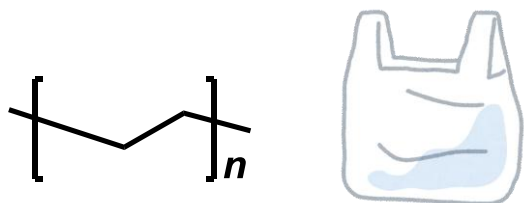
主にナフサを原料として作られる, 繰り返し分子
ポリ=たくさんの という意味



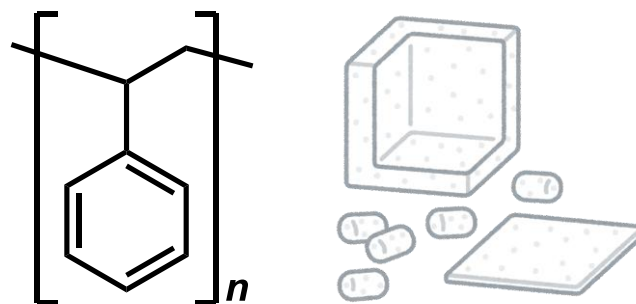
ポリプロピレン
 (食品容器など)



ポリエチレンテレフタレート
 (PETボトル)

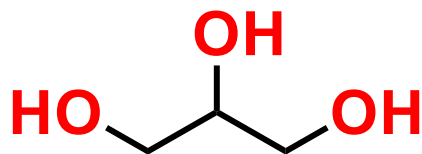


ポリエチレン
 (レジ袋など)



ポリスチレン
 (発泡スチロール)

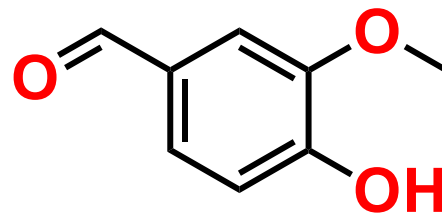
化粧品



グリセリン
(保湿剤, 甘い)



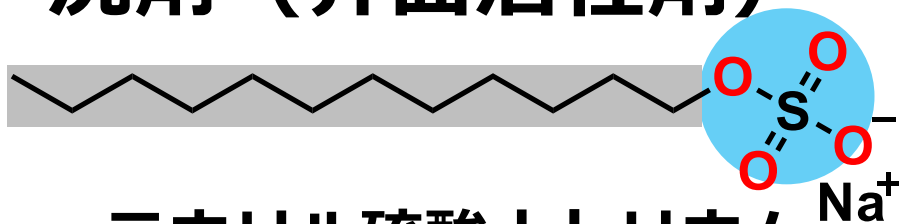
香料



バニリン
(バニラの香り)



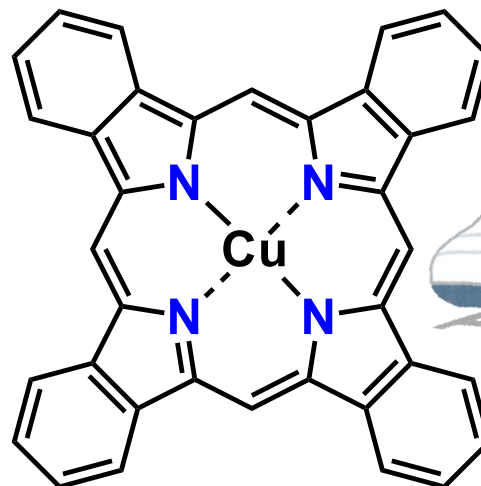
洗剤 (界面活性剤)



ラウリル硫酸ナトリウム
(洗剤, シャンプー, 歯磨き粉など)



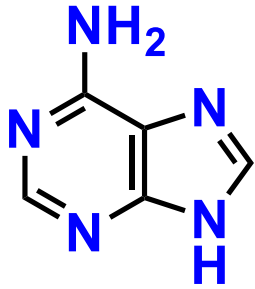
色素



フタロシアニンブルー
(標識や新幹線の青色)

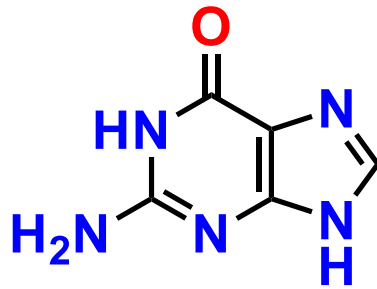


生命



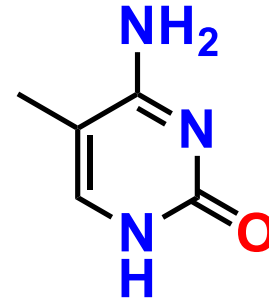
アデニン

(DNAの塩基 A)



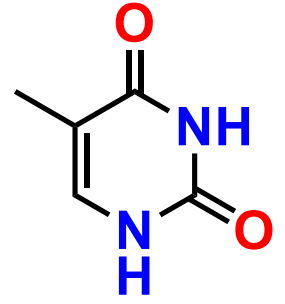
グアニン

(DNAの塩基 G)



シトシン

(DNAの塩基 C)

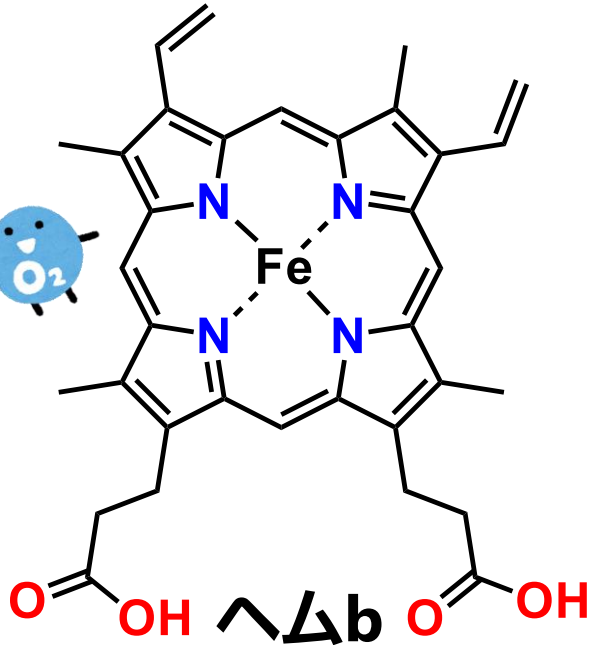


チミン

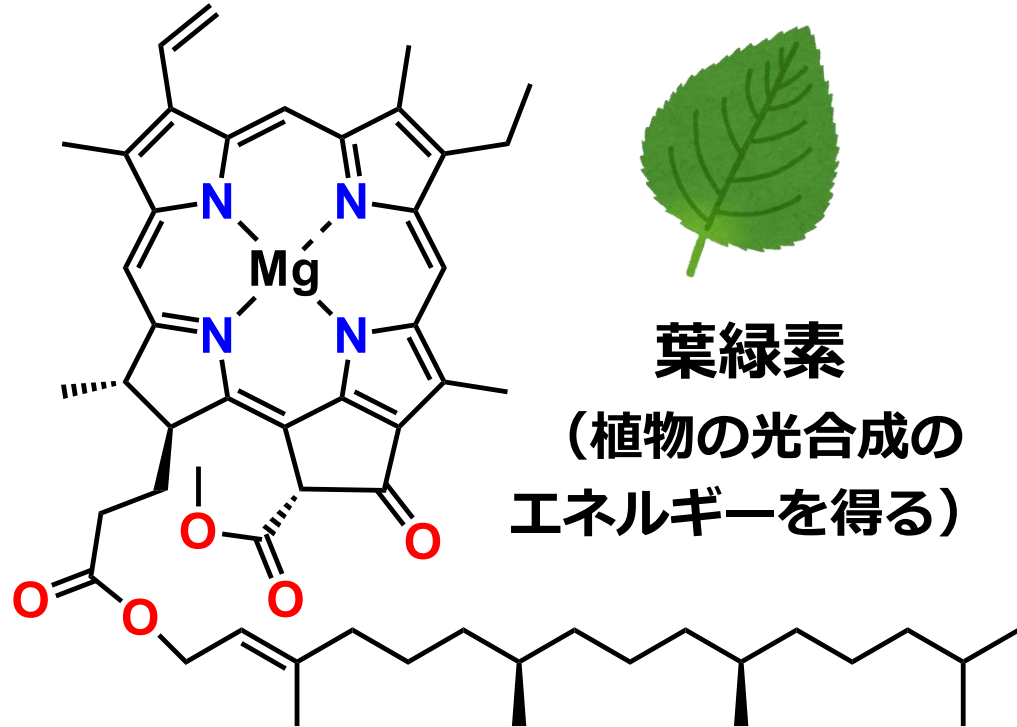


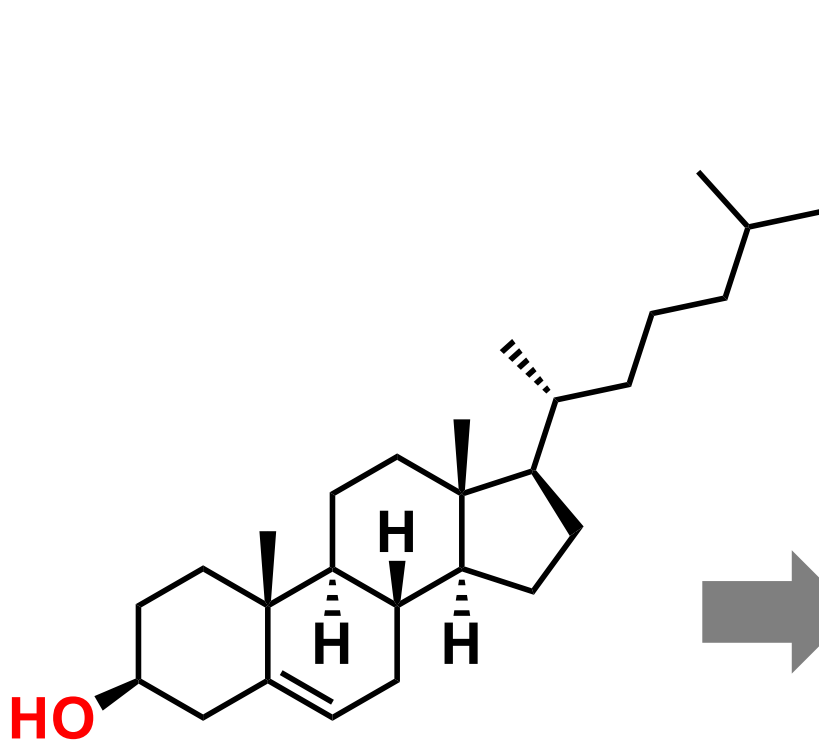
葉緑素

(植物の光合成の
エネルギーを得る)

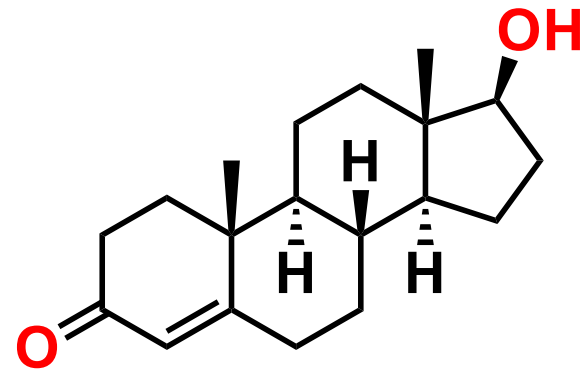


(赤血球中で酸素を運ぶ)

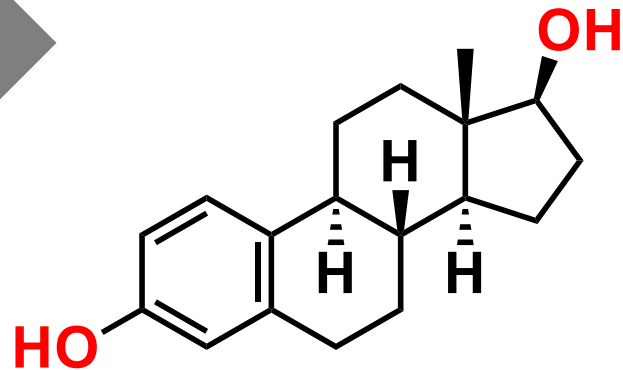




コレステロール
(細胞膜やホルモンの材料)



テストステロン
(男性ホルモン)



エストロゲン
(女性ホルモン)

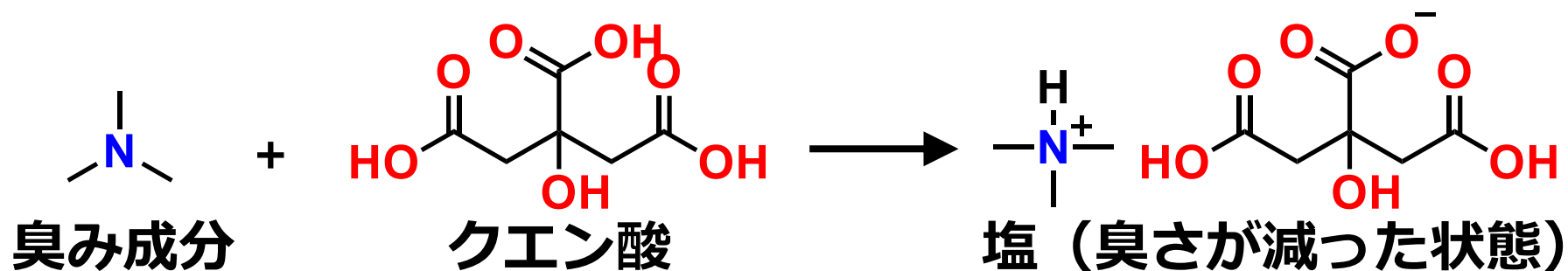
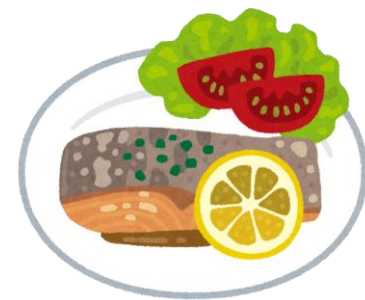


無数の分子反応の積み重ね⇒生命が命をつなぎ、進化してきた

例①料理は有機化学

魚料理の臭み消しにレモンを添える

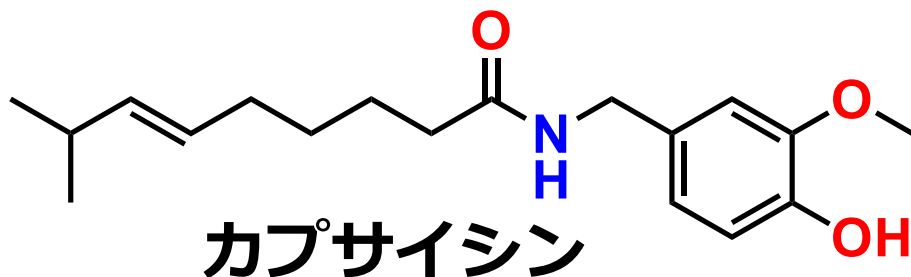
⇒臭み成分（塩基性）をクエン酸（酸性）で中和



例②味覚は有機化学

唐辛子の辛味を和らげるとき、水より牛乳の方が効く

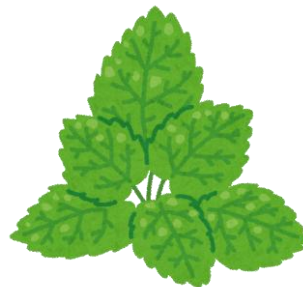
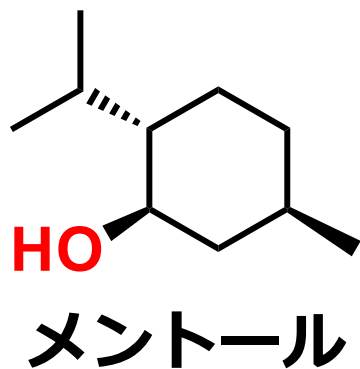
⇒辛味成分カプサイシンは水となじまないが、脂肪となじむ



例③ 感覚は有機化学

ハッカやミント, 湿布の「スースー」感は実際に冷えてはいない

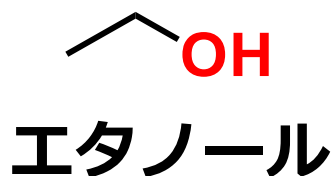
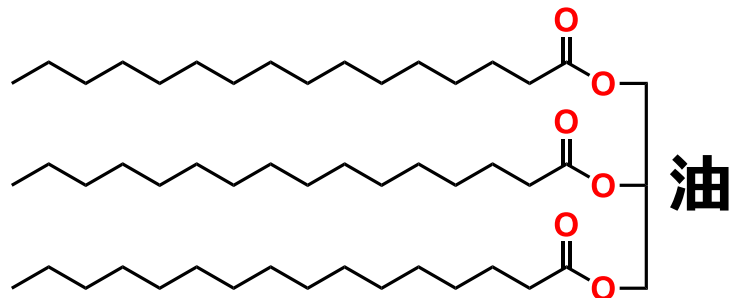
⇒メントールが冷感の受容部分にフィット⇒脳に勘違いさせる



例④ 掃除は有機化学

シンクの油汚れは水拭きだと落ちづらい

⇒エタノールを含むシートで拭くと綺麗に落ちる



水にも油にもなじむ

拭いた後に蒸発する

✓ 紫キャベツの抽出液を酸性・中性・アルカリ性に

抽出のようす



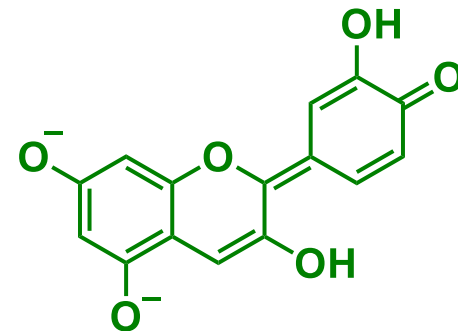
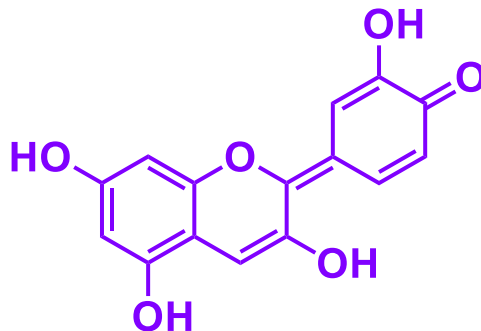
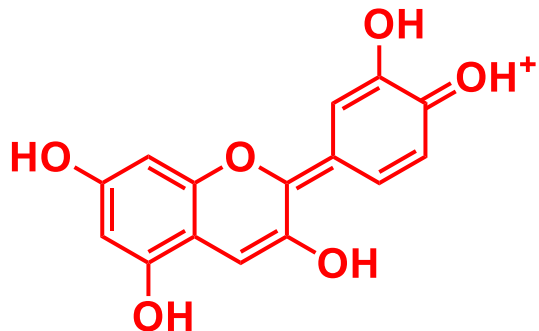
酸性

中性

アルカリ性



✓ アントシアニン分子のそれぞれのpHでの構造



⇒ 分子の構造が変わると、吸収する色が変わる！

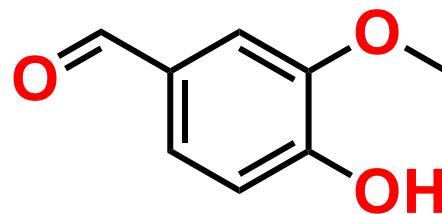
1. 「有機化学」って？ : 分子の世界へのいざない
2. 有機分子の表記のルール : 骨格構造式
3. 身近な有機分子の例
- 4. 有機化学の研究 : ミクロの世界のものづくり**
5. 私の研究 : 「重い元素で常識を破る」

<https://www.sbfoods.co.jp/products/detail/09138.html>

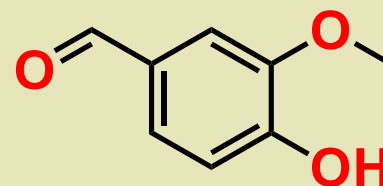
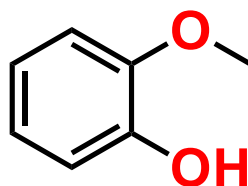
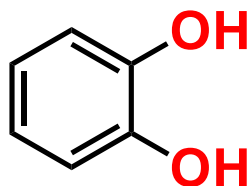
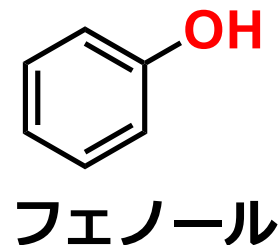
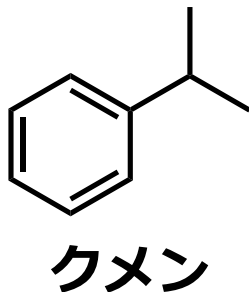


天然からはごくわずか
⇒化学的に「合成」する
合成しようが, 天然から
集めようが, 同じ物質

香料



バニリン
(バニラの香り)



✓ 有機化学の研究：ざっくり分けると2分野

新しい分子を作る（合成）

- ✓ 学術的に新しい構造を持つ
- ✓ 用途に合った性質を持つ

ノーベル化学賞の例

2025年MOF（金属有機構造体）

2016年分子マシン

分子を効率的に作る（反応）

- ✓ 有用な分子を安く作る
- ✓ 環境に優しい方法で作る

ノーベル化学賞の例

2021年不斉触媒反応

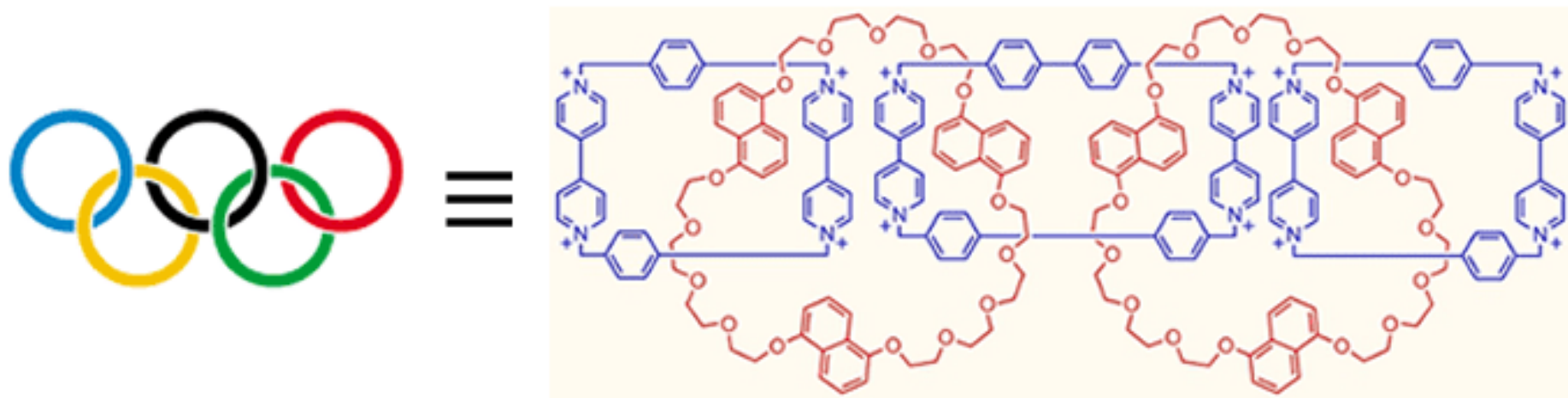
2010年クロスカップリング反応

先人の知識・経験・データの積み重ねによって発展してきた

✓ 2016年ノーベル賞：分子マシンの基礎

✓ 「分子の知恵の輪」を初めて作った研究に対して

例：オリンピックマーク分子：オリンピアダン



⇒すぐ役立つわけではなくても、「できた」こと自体に価値がある

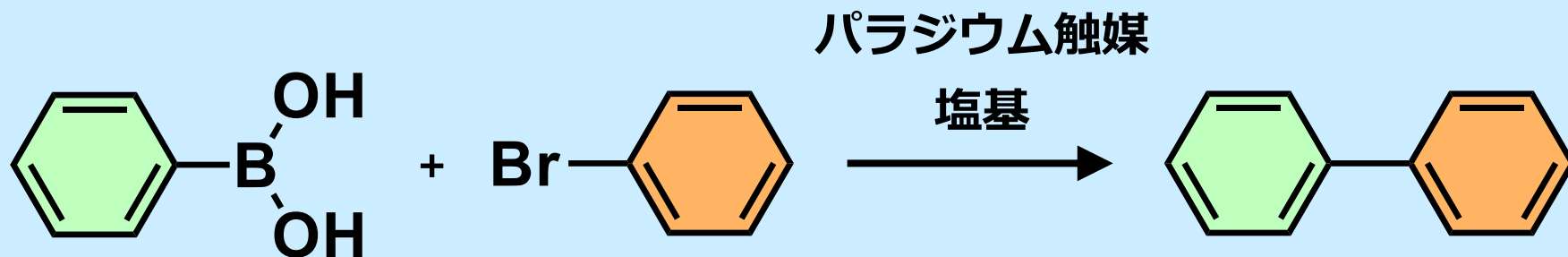
⇒化学者は「面白い構造から新しい性質が生まれる」と信じている

⇒今日のロマンが、未来の新技術の種になるかもしれない！

✓ 2010年ノーベル賞：クロスカップリング反応

✓ 炭素同士を簡単につなげる画期的方法の発明に対して

例：鈴木・宮浦カップリング反応の概略図



✓ 現代の医薬品や電子材料を支える重要反応



▲ レアメタル（パラジウム）が必須⇒環境・資源問題

1. 「有機化学」って？：分子の世界へのいざない
2. 有機分子の表記のルール：骨格構造式
3. 身近な有機分子の例
4. 有機化学の研究：ミクロの世界のものづくり
5. 私の研究：「重い元素で常識を破る」

✓ **有機化学** : ほぼH, C, N, O (たまにP, S, Cl, 金属など)

⇒ **こんなに元素の種類があるのに？ 既存のパーツの組み合わせ**

族 \ 周期	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
1	H																		He
2	Li	Be											B	C	N	O	F		Ne
3	Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl		Ar
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br		Kr
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I		Xe
6	Cs	Ba	*	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At		Rn
7	Fr	Ra	**	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	D									
			*	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd								
			**	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm								

有機金属化学

⇒ **有機化学と金属を融合**

⇒ **高価, 希少な金属に依存**

有機元素化学

⇒ **有機化学と, 地球に比較的**

たくさんある元素を融合

✓ 有機元素化学：第3周期より下の、重い元素たちは…

① 結合（手）の数の常識が通用しない

⇒ 工夫次第で、結合が少ないものや
多いものも作り出せる（はず）

② 元素ごとに特有の個性を持っている

（原則）周期表の縦は性質が似ている
⇔ 違うところもたくさんある

③ まだ作られていない分子や、

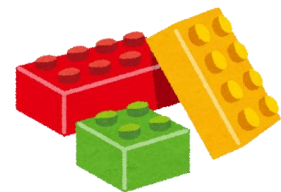
わかっていないことがたくさんある

⇒ 元素の個性を活かした新しい分子を作り出し、世に送る

✓ 有機化学の常識を打ち破るような、

教科書に載るような「新しいパーツ」を作りたい。

族	13	14	15	16	17	18
周期						He
2	B	C	N	O	F	Ne
3	Al	Si	P	S	Cl	Ar
4	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
5	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
6	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn



✓アンチモン(Sb)…普通は3本の手を持つ



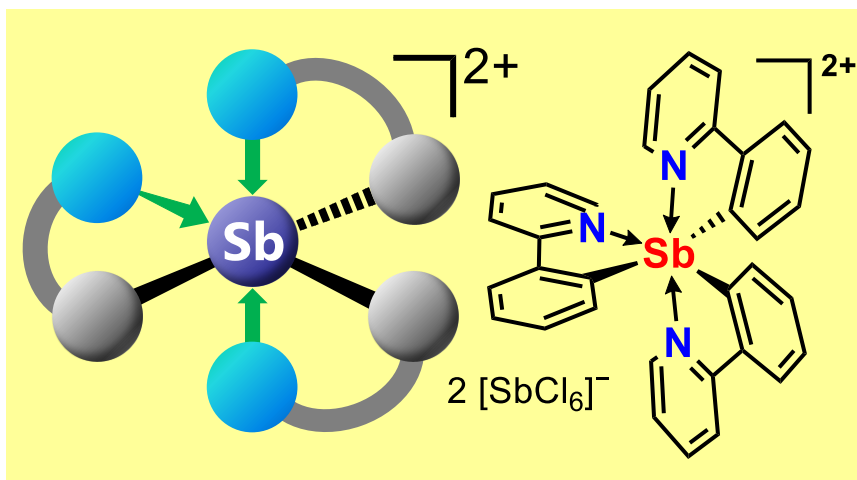
(仮説) 他の原子と手をつなぎたい

「窒素」を持つ腕のようなパーツ

⇒窒素もアンチモンと手をつなぐ？

⇒世界で初めて、アンチモン(Sb)が
手を6つ持つ分子を作り出した

族	13	14	15	16	17	18
周期						He
2	B	C	N	O	F	Ne
3	Al	Si	P	S	Cl	Ar
4	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
5	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
6	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
	Nh	Fl	Mc	Lv	Ts	Og



⇒ターゲット分子ができたとわかった時、大きな感動を得られる

■ Antimony | Hot Paper |

Isolation and Structural Determination of a Hexacoordinated Antimony(V) Dication

Masato Sakabe and Soichi Sato*^[a]

This paper is dedicated to the memory of our great mentor, Professor Emeritus Naomichi Furukawa, who recently passed away

Abstract: The hexacoordinated antimony(V) dication $[(ppy)_3Sb]^{2+}$ ($[1]^{2+}$; ppy = 2-(2-pyridyl)phenyl), stabilized by three intramolecular donor–acceptor interactions, has been isolated as its hexachloroantimonate salt $[1][SbCl_6]_2$, prepared by the oxidative addition of chlorine to the neutral stibine $[(ppy)_3Sb]$ (**1**), followed by the abstraction of chloride. Air-stable $[1][SbCl_6]_2$ exhibits remarkable thermal stability and the three ppy ligands on the antimony atom are shown to be magnetically inequivalent in the 1H and ^{13}C NMR spectra. A hexacoordinated, *meridional* octahedral bonding ge-

ometry has been determined by X-ray crystallographic analysis. Theoretical calculations were used to investigate why the *meridional* is preferred over the *facial* isomer. The ppy ligands were investigated by 1H NMR spectroscopy. The dication $[1]^{2+}$ was investigated using a single-electron-transfer method. The dication $[1]^{2+}$ species to have been struc-

Introduction

p-Block polycations are organo–main-group compounds that have a positive charge of 2+ or more, localized mainly on a central p-block atom.^[1] The central atom of a p-block polycation potentially has a very high electrophilicity due to its large positive charge. Recently, advances have been made in the application of p-block polycations as new Lewis superacids or as transition-metal-free catalysts due to their electrophilic properties.^[2,3] However, despite the fact that group-15 elements

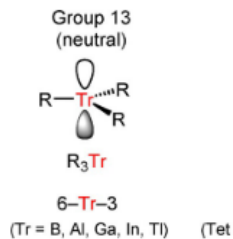
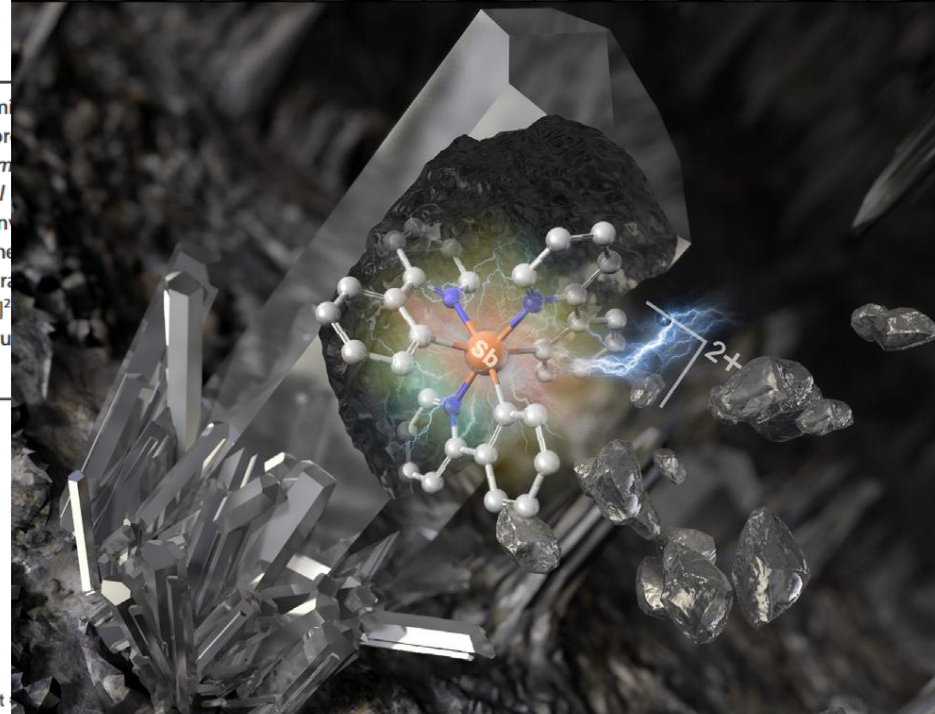


Figure 1. (Valence-)isoelectronic

Chemistry A European Journal

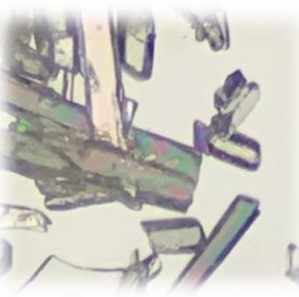
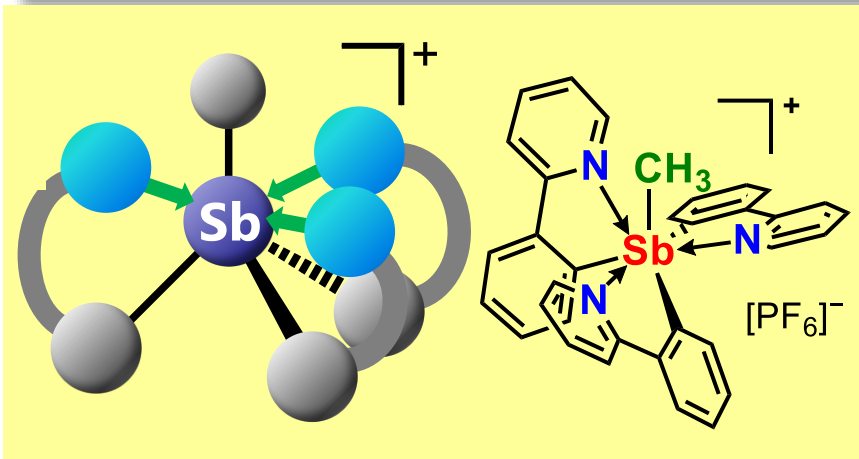
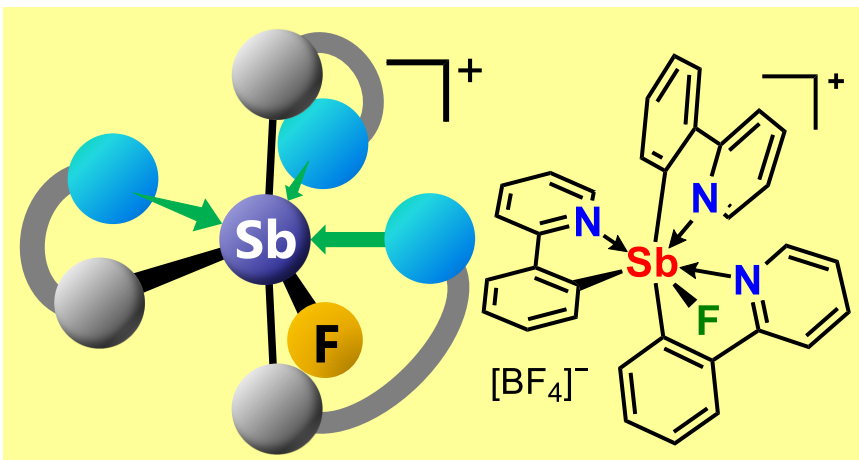
Chemistry
Europe
European Chemical
Societies Publishing

Front Cover:
M. Sakabe and S. Sato
Isolation and Structural Determination of a Hexacoordinated Antimony(V) Dication



✓アンチモン(Sb)…6つの手ができた。7本は？

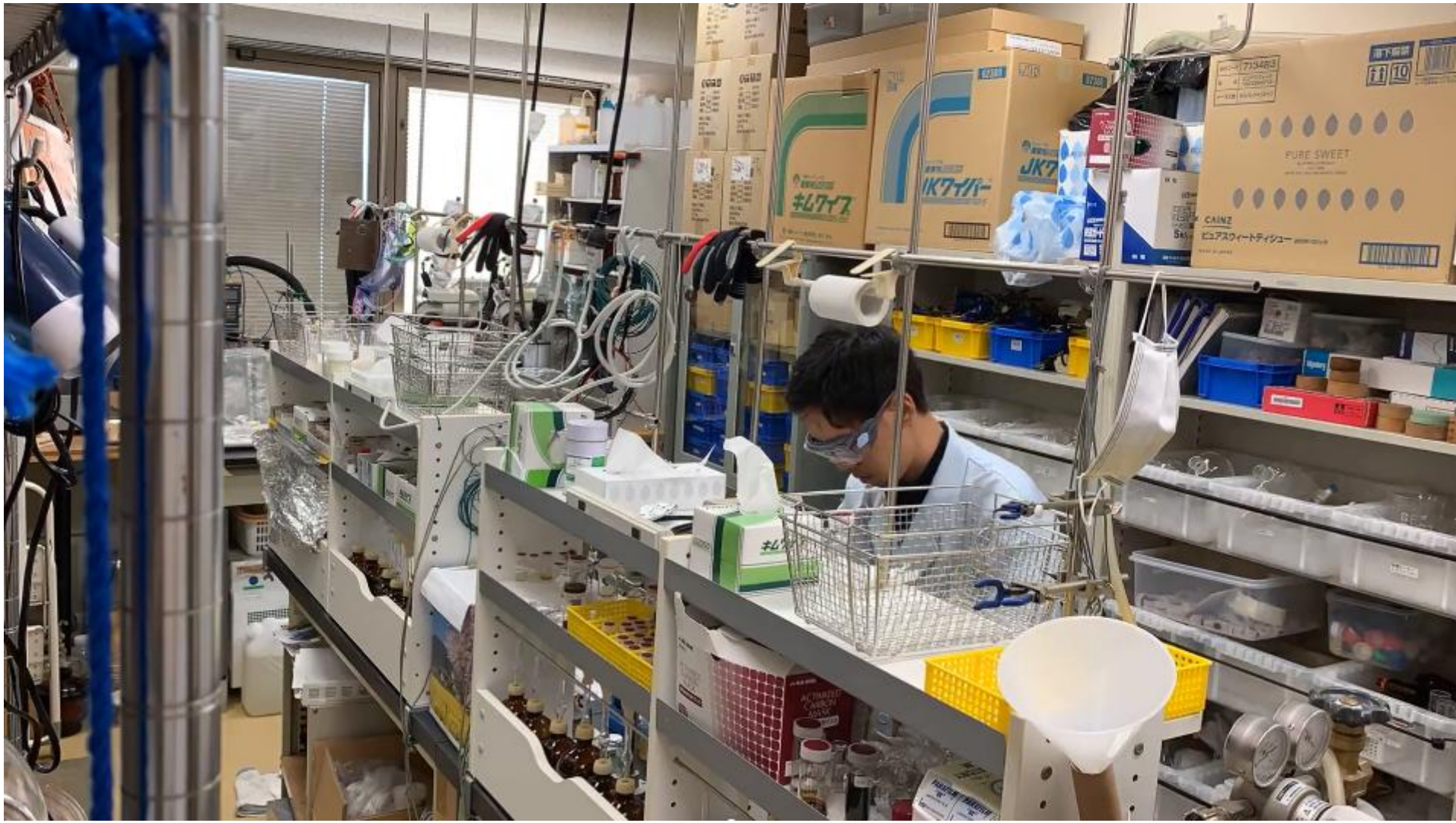
⇒世界で初めて、アンチモン(Sb)に
手を7つ持つ分子を作り出した



族	13	14	15	16	17	18
周期						He
2	B	C	N	O	F	Ne
3	Al	Si	P	S	Cl	Ar
4	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
5	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
6	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
	Nh	Fl	Mc	Lv	Ts	Og

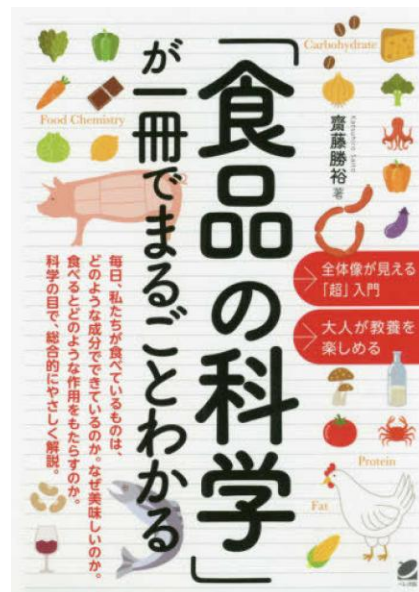
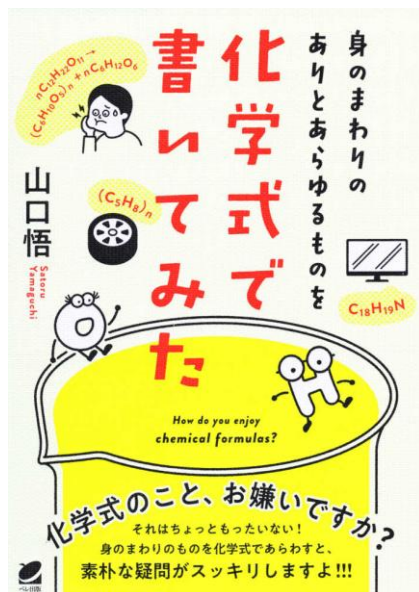
✓ミクロの世界のものづくり





✓ 仮説⇒実験⇒結果の考察⇒次の仮説…の繰り返し

- ✓ 今日の講演が、「化学って面白いな」のきっかけになれば、化学者冥利に尽きます。



- ✓ 図書館や書店にも化学の本がたくさんあります。読めば読むほど、より深みにハマる…はず！
- ✓ ご清聴いただきありがとうございました。