

まえがき

大学に入学してくる学生は、化学をほとんど学んでこないものから、「化学基礎」を学んだもの、これに加えて「化学」も学んできたものまで多様である。一方で、さまざまな専門分野に進む学生の、その化学に対する必要度もまちまちである。こうした状況を踏まえ、基本的に高校の「化学基礎」・「化学」の知識を前提とせず、また、化学を理解するうえで、本当に必要な基礎となる内容に厳選しつつも、高校で化学を学んできた学生をも満足させられる、化学の本質やより幅広い化学の知識を網羅した教科書が必要である。

本書は、高校化学が新課程になり、いくつかの点に変更があったのに合わせて、これまでの「基礎化学—化学の世界へようこそ—」を、大幅に改訂したものである。ただし、本書の理念は変わらない。大学の「基礎化学」あるいは教養としての「化学」関連科目の教科書として、上述の必要性に沿ってつくられたものである。そして、通常 14～15 回の講義が行われることを想定して、**精選された 12 章から構成**されている。

本書の特徴を以下に挙げる。

- ・ 大学受験で問われるような計算や暗記をできる限り排除して、化学の本質や本当に必要なことを伝え、「なぜ?」「どうして?」に答えるものとするを基本としている。
- ・ 化学の基礎だけでなく、たとえば高分子材料など、化学に関連する重要分野についても広く学べるようになっており、環境に関連する内容も多く盛り込まれている。
- ・ 著者には大学教員だけでなく高校教員も加わって、学ぶ側の立場からできる限りわかりやすい内容となるように工夫されている。
- ・ 各章に「**コラム／発展**」として関連する話題や発展的な内容を盛り込んだ。

化学をできる限り身近なものとして感じられるように、そして化学に少しでも興味をもてるように配慮された内容になっており、また、化学をあまり学んでこなかった学生やリメディアル用の教科書としても対応できるものとなっている。**高校から大学への橋渡しとなる「化学」の教科書**として位置づけられるものである。

2025 年 1 月

著 者

目 次

第 1 章 化学の世界

1-1 化学の世界へようこそ	1
1-2 身の周りの元素	1
1-3 身の周りの物質	3
1-3-1 混合物とは、純物質とは	3
1-3-2 化合物とは、単体とは	3
1-4 物質の状態の変化を粒子のレベルで考える	4
1-5 二酸化炭素の構造と性質：どうして地球温暖化が進むのか？	6
コラム／発展 実は身近な私たちの生活を支える化学工業	7
演習問題	9

第 2 章 原子の構造

2-1 原 子	10
2-1-1 原子の構造	10
2-1-2 元素という分類（原子番号・質量数・同位体）	10
2-1-3 原子の重さ（相対質量と原子量）	12
2-2 原子の電子配置	13
2-2-1 原子モデルの発展	13
2-2-2 電子軌道（原子軌道）とは	15
2-2-3 電子の“住所”の表し方	17
コラム／発展 新元素作製成功！「ニホニウム」	20
演習問題	22

第 3 章 原子の周期的な性質

3-1 最外殻の電子配置が決める元素の性質	23
3-1-1 電子配置と周期表	23
3-1-2 原子の大きさの周期的な傾向	24
3-1-3 電子のやりとりで原子は安定な構造に（イオンの生成）	25
3-1-4 イオンの電子配置	26
3-2 原子核と最外殻の電子との引き合う力	27
3-2-1 イオン化エネルギーとは	27
3-2-2 電子親和力とは	28

3-2-3 電気陰性度とは	29
3-2-4 水素結合とは	31
コラム／発展 強力な永久磁石をつくる希土類元素（レア・アース）	33
演習問題	35

第4章 化学結合

4-1 化学結合の種類	36
4-2 オクテット則と電子式	36
4-3 共有結合	37
4-3-1 電子式による共有結合の表記法	37
4-3-2 原子価殻電子対反発則（VSEPR モデル）	38
4-3-3 混成軌道とは	39
4-3-4 分子軌道法とは	43
4-4 金属結晶とイオン結晶	45
4-4-1 方向性のない結合でつくられる物質	45
4-4-2 自由電子によって結合する金属結晶の構造（2つの最密充填構造）	46
4-4-3 イオン結晶の構造とその性質	47
コラム／発展 変わりものな液体、水	49
演習問題	51

第5章 化学反応式と物質質量、物質の濃度

5-1 化学反応式	52
5-2 物質質量	54
5-2-1 物質質量とは	54
5-2-2 1 mol の質量（モル質量）	55
5-2-3 1 mol の体積（モル体積）	55
5-2-4 まとめ：物質質量は物理量を結ぶパスポート	56
5-3 化学反応式から何がわかるのか	57
5-4 溶液の濃度	58
5-4-1 質量パーセント濃度（%）	58
5-4-2 モル濃度（mol/L）	59
コラム／発展 先人の努力から化学反応式が生まれている	60

演習問題	62
------------	----

第 6 章 反応速度と化学平衡

6-1 反応速度	64
6-1-1 反応はどのようにして進むのか	64
6-1-2 反応速度を表す	64
6-1-3 反応速度と濃度の関係	65
6-2 活性化エネルギーを乗り越えて反応が起こる(反応速度と温度の関係)	66
6-3 反応速度と触媒の関係	68
6-3-1 触媒とは	68
6-3-2 触媒は活性化エネルギーを下げる	69
6-4 化学平衡	70
6-4-1 右向きにも左向きにも進む反応	70
6-4-2 正反応と逆反応が釣り合うと	70
6-4-3 平衡状態を表す	72
6-4-4 平衡は移動する	72
コラム／発展 ハーバー・ボッシュ法とチーグラー・ナッタ触媒： 異分野の2人の組み合わせが成し遂げた世紀の大発明	73
演習問題	76

第 7 章 酸と塩基

7-1 アレニウスの酸・塩基	77
7-1-1 酸とは、塩基とは	77
7-1-2 酸と塩基の強弱は何で決まるのか	78
7-1-3 電離定数から酸性の強弱を知る	78
7-1-4 水素イオン濃度を表す pH	80
7-1-5 酸と塩基の反応：中和反応	81
7-2 ブレンステッド・ローリーの酸・塩基	83
7-2-1 ブレンステッド・ローリーの酸、塩基とは	83
7-2-2 酸と塩基の関係は相対的なもの	84
7-3 ルイスの酸・塩基	85
7-3-1 ルイスの酸、塩基とは	85

7-3-2	ルイスの定義が酸・塩基をさらに拡張する	86
コラム／発展	日本の酸性雨の現状は？	88
演習問題		89

第8章 酸化と還元

8-1	酸化とは、還元とは	90
8-1-1	酸素・水素とのやりとりと酸化・還元	90
8-1-2	酸化と還元を電子 e^- のやりとりでとらえる	91
8-1-3	原子の酸化数	93
8-1-4	酸化数の変化でとらえる酸化還元反応	94
8-2	身の周りの酸化還元反応	95
8-2-1	酸化させるもの・還元させるもの	95
8-2-2	金属の陽イオンへのなりやすさ	97
8-2-3	電池の仕組み（酸化されやすさ）	97
コラム／発展	水質をみる：化学的酸素要求量（COD）	99
演習問題		101

第9章 化学熱力学

9-1	化学反応に伴うエネルギー変化	102
9-1-1	系と外界	102
9-1-2	物質がもつエネルギー（内部エネルギー）と物質がやり取りするエネルギー（仕事と熱）	103
9-2	反応熱	105
9-2-1	熱量を表す言葉：エンタルピー， H	105
9-2-2	化学反応におけるエンタルピー変化（熱化学方程式と反応熱）	106
9-2-3	ヘスの法則とは	107
9-2-4	標準生成エンタルピー， ΔH_f°	109
9-3	自然界の現象は乱雑さを増大させる方向に進行する	111
9-3-1	乱雑さを表す言葉：エントロピー， S	111
9-3-2	ギブズの自由エネルギー， G	113
コラム／発展	カロリーってエネルギー？	114
演習問題		116

第 10 章 化学と物質：無機化合物

10-1 有機化合物とは，無機化合物とは	117
10-2 半導体とは	118
10-2-1 固体物質のバンド構造	118
10-2-2 さまざまな種類の半導体	120
10-2-3 p 型半導体と n 型半導体の組み合わせ	122
10-2-4 平衡状態にある pn 接合のエネルギーバンド	123
10-2-5 pn 接合に電圧をかける	124
10-3 いろいろな機能を持つ半導体	125
10-3-1 光る半導体（発光ダイオード LED）	125
10-3-2 発電する半導体（太陽電池）	126
コラム／発展 錯体の中心金属の電子配置	127
演習問題	130

第 11 章 化学と物質：有機化合物

11-1 多様な有機化合物	131
11-2 有機化合物の構造を書く	132
11-3 有機化合物の本当の姿を知る	133
11-3-1 共鳴構造を考える	133
11-3-2 カルボン酸はどうして酸なのか	135
11-4 有機化合物を特徴づけるもの	136
11-5 有機化合物の反応	138
11-6 有機化合物のかたちと機能	139
11-6-1 セッケン，洗剤の構造	139
11-6-2 洗剤が汚れを落とすわけ	141
コラム／発展 分子の世界では鏡の中の世界も現実には： “はやぶさ 2” が解明しようとしていること	142
演習問題	145

第 12 章 化学と物質：高分子化合物

12-1 高分子とは	146
12-2 高分子の分子量を考える	146

12-3 高分子のかたちを考える	148
12-3-1 ポリエチレンにもいろいろある	148
12-3-2 網目状の高分子	150
12-4 高分子が集めたかたち	151
12-4-1 結晶と非晶が共存する	151
12-4-2 高分子を熱するとどうなるか	152
12-5 生分解される高分子	153
コラム／発展 地球温暖化	
二酸化炭素濃度はどのようにして測るのか：赤外線ガス分析計	155
演習問題	157
演習問題の解答	158
索引	165

第1章 化学の世界

1-1 化学の世界へようこそ

私たち自身はもちろん、私たちの身の周りのすべてのものがさまざまな物質からなり、そして私たちはプラスチック、ファインセラミックス、半導体・集積回路、バッテリー、医薬品・農薬などの新しい物質やそれを用いた製品を作り出し、利用して生活をより豊かなものに行っている。一方で、新しく作り出された物質が環境に影響を与え、私たちの生活を脅かすようになることもある。これまで新物質の創出や応用を支えてきたのが「化学」であり、今後のさらなる発展ばかりでなく、エネルギー問題や環境問題の解決にも「化学」の力が不可欠である。

化学とは物質を対象とし、私たちの生活に密接に関連している学問である。物質が原子や分子^{*1}などの粒子によってどのように組み立てられているのか（「構造」）、その物質の示すさまざまな「性質」、そして物質が原子・分子レベルでどのように「変化」（化学変化、あるいは化学反応）するのかを研究・応用するのが化学であり、自然科学の1つの分野である。

したがって、私たちが新しい物質を作り出したとしても、その性質や反応はあくまでも自然の法則にしたがい、決して不思議なことが起こるわけではない。化学を学ぶ上で大切なことは、どうして物質がそのような性質を示し、反応するのかを理解することであり、つまり自然を学ぶことに他ならない。しかし、あとの章で学ぶように原子や分子の世界はあまりにも小さく^{*2}、直接目で見ることができないため、このことが私たちの理解を難しくしているという面もある。

^{*1} 原子については第2章を参照。また、一般にいくつかの原子が主として共有結合^{*}で結びついてできた粒子を分子という（^{*}共有結合については4-3節を参照）。

^{*2} 原子の直径はおおよそ 10^{-10} m (100億分の1 m)である（第2章参照）。

1-2 身の周りの元素

すべての物質は原子からできている。そして原子の種類のことを元素という。自然界には約90種類の元素が存在しており、日本で発見され、名称決定がニュースにもなった「ニホニウム」は人工的に作り出された元素である^{*3}。元素は元素記号によって表わされる。たとえば、水素は

^{*3} 第2章「コラム／発展」参照。

“H”，酸素は“O”という記号で表わされる^{*4}。ちなみにニホニウムの元素記号は“Nh”である。この章に出てくる元素の元素記号をまとめた（表 1-1）。

^{*4}
水素 H : Hydrogen
酸素 O : Oxygen
元素の詳細については 2-1-2 節参照。

表 1-1 元素名と元素記号

元素名	元素記号	元素名	元素記号
水素	H	アルミニウム	Al
ヘリウム	He	ケイ素	Si
炭素	C	硫黄	S
窒素	N	塩素	Cl
酸素	O	アルゴン	Ar
ナトリウム	Na	カルシウム	Ca
マグネシウム	Mg	鉄	Fe

私たちの身の周りにはどのような元素が多く存在しているのか見てみよう（図 1-1）。

宇宙（太陽系）を構成する元素の割合と地球（地殻），そして私たちの体を構成する元素の割合はまったく異なっている。宇宙に存在するほとんどの元素は太陽などに集まっている^{*5}。また，地球の地殻を形成する岩石の多くがケイ素 Si と酸素 O を基本骨格とするものであるため，これらが主成分となっている。私たちが特別な環境の中で生きていることがよくわかる。

^{*5} 太陽では水素 H が融合してヘリウム He になる反応（核融合）が起きて，エネルギーを放出している。

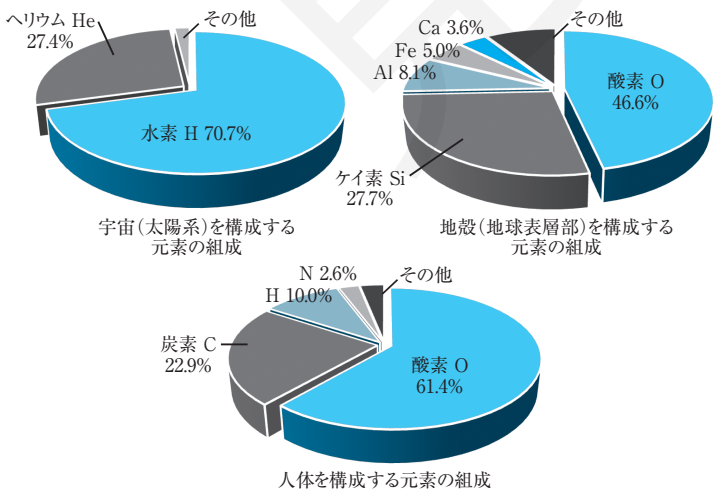


図 1-1 身の周りの元素（質量パーセント*）
（*濃度については 5-4 節を参照）

1-3 身の周りの物質

1-3-1 混合物とは、純物質とは

つぎに身の周りの物質を見てみよう。たとえば空気は窒素 N_2 、酸素 O_2 、アルゴン Ar などから、また海水は水 H_2O 、塩化ナトリウム $NaCl$ 、塩化マグネシウム $MgCl_2$ など^{*6}の物質からなり、いずれもいくつかの物質が混じり合った**混合物**^{*7}である(図 1-2)。身の周りにあるものはほとんど混合物であり、たとえば食塩であっても原料や製造方法の違いにより $NaCl$ 以外の複数の微量な金属成分などを含んでいるものが多い。

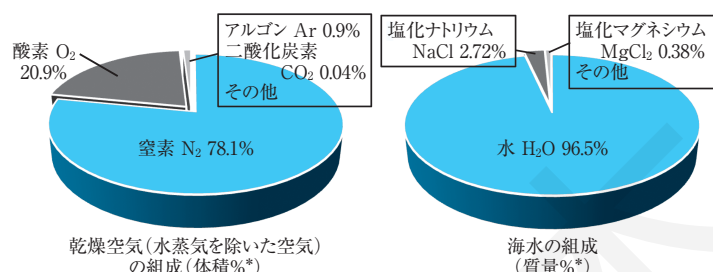


図 1-2 空気と海水を構成する物質の組成
(* 濃度については 5-4 節を参照)

これに対して、1 種類の物質だけからなるものを特に**純物質**という。1 円硬貨はアルミニウム Al で作られており純物質である。パソコンやスマートフォンなどの様々な電子機器に使われている半導体基板材料^{*8}であるシリコンウェハーは極めて高純度のケイ素(シリコン) Si で、またグラニュー糖や氷砂糖は高純度のショ糖(スクロース)(図 1-3)の結晶からなっており、これらもやはり純物質である。

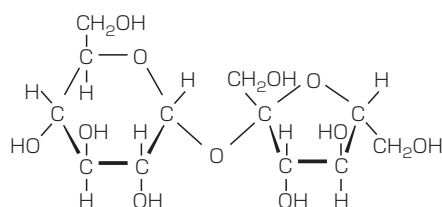


図 1-3 ショ糖 ($C_{12}H_{22}O_{11}$) の構造

1-3-2 化合物とは、単体とは

“窒素 N_2 ”、“酸素 O_2 ”、“水 H_2O ”、“塩化ナトリウム $NaCl$ ”はいずれも 1 種類の物質だけからなる純物質である。たとえば水分子は「 H_2O 」(分子式^{*9})と書き表されるが、これは水分子が水素原子 H 2 個と酸素

^{*6} 元素記号を使って物質の構造や組成を表した式のことを**化学式**という。

^{*7} 2 種類以上の物質が混じり合っているものをいう。

^{*8} 半導体については 10 章参照。

^{*9} 化学式のうち、分子について組成や構造を表わした式のこと。

原子 O 1 個で構成される粒子（分子）であることを示している（酸素原子の数“1”は省略される）。同じように窒素は「N₂」で示され、窒素原子 N 2 個で構成される粒子（分子）であることを示している。

2 種類以上の元素からなる物質を**化合物**という。したがって水 H₂O や塩化ナトリウム NaCl は化合物である。これに対して 1 種類の元素のみからなる物質を**単体**といい、窒素 N₂、酸素 O₂ は単体と分類される。化合物は化学的な方法、たとえば電気分解などで 2 種類以上の成分に分解でき、逆に、単体を化合することにより化合物が作られる^{*10}。

以上の物質の分類を図 1-4 にまとめた。

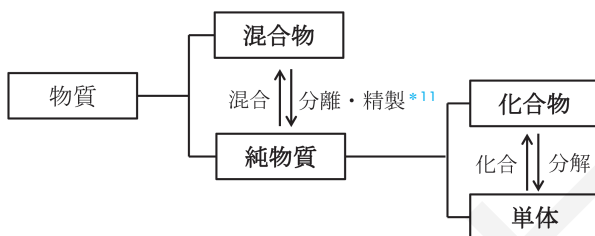


図 1-4 物質の分類

*10 化合物どうしが原子を組み換えて（化合して）新たな化合物をつくる場合もある。

*11 混合物から純物質を分離して取り出すことを**精製**という。

1-4 物質の状態の変化を粒子のレベルで考える

地球は水の惑星と言われるように、私たちの身の周りにはたくさんの水が存在し、私たち自身の体も水が最大の構成成分である。そして水は氷、水蒸気としても存在している。このように物質は氷のような**固体**状態、水のような**液体**状態、水蒸気のような**気体**状態の 3 つの状態をとる。これを物質の三態という。そして、温度や圧力が変化するとこの状態は変化する。このとき、物質の種類が変わるわけではないので、このような変化を**物理変化**といい、前出の化学変化（1-1 節参照）とは区別される。物質の状態変化をまとめると図 1-5 のようになる。

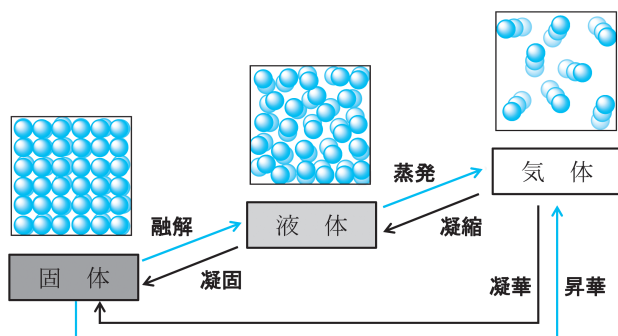


図 1-5 物質の三態の関係

ではこのような変化はなぜ起こるのだろうか。

物質粒子は常に運動をしており、この運動のことを**熱運動**^{*12}という。また粒子間にはお互いに“引力”がはたらく。状態の変化はこれら熱運動と粒子間の距離・引力の大きさが変化することによって引き起こされる。

たとえば水分子 H_2O を考えてみよう。低温の氷の状態では熱運動が小さく、分子間の距離が小さいため引力が互いに強くはたらき、固体としての決まった形を与える（分子相互の位置が変わらない）。これを加熱していくと $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ （常圧）^{*13}で融解して水になる。加熱することによって熱運動が激しくなり水分子は絶えず動いて位置を変えるが、分子間の距離は比較的小さく、互いに弱い力がはたらいて集合状態を保っている。したがって、液体は、たとえば氷のように決まった形はないが、一定の体積をもつことになる。

水分子は絶えず運動して位置を変え、互いに衝突しあい、表面付近では分子間の引力を断ち切って飛び出して水蒸気（気体）となる分子が現れる。これを**蒸発**という。そして $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ^{*14}（常圧）に達すると内部からも蒸発（沸騰）が起こる。水蒸気は、分子間の距離が大きく引力がほとんどはたらかない。したがって分子はばらばらになって自由に動き回り、決まった形をもたず、体積も固体や液体に比べ、急激に大きくなる。

このように粒子レベルで考えることによって、目で見える現象を理解することができる。

二酸化炭素 CO_2 は $-78.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ （常圧）以下では固体であり、アイスクリームなどの保冷剤、ドライアイスとしてよく見かける。そして、常圧では固体から液体になることなく直接気体になる（**昇華**）。たとえば防虫剤などとして使われるナフタレン^{*15}も同様に昇華性を示す。では、水と二酸化炭素ではどうしてこのように大きく異なった状態変化を示すのであろうか。しかも状態変化が起きる温度は水の方がはるかに高い。二酸化炭素が昇華性を示す原因はおもに分子間の引力が弱いことにより説明される。ではなぜ、二酸化炭素は分子間の引力が弱いのだろうか。

水分子と二酸化炭素分子の分子モデル（空間充填模型）を図 1-7 に示す。

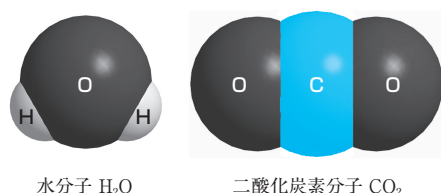


図 1-7 水と二酸化炭素の構造

***12** 9-1-2 節、図 9-3 参照。

***13** 固体が溶けて液体になる温度を**融点**という。また、逆に水を冷却していくと $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ で凍りはじめる。液体が固体になる温度を凝固点といい、融点と凝固点は一致する。また、純物質の固体は固有の値をもち、純度の検定やその物質の識別にも利用される。

***14** 液体が気体になる温度を**沸点**という。沸点は圧力によって変化するが、純物質では固有の値をもち、その物質の識別にも利用される。

***15** ナフタレン (C_{10}H_8) の構造（有機化合物の構造に関しては、第 11 章を参照）。

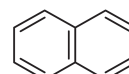


図 1-6

水分子も二酸化炭素分子もいずれも3つの原子から構成される。しかし、その形は大きく異なる。水分子は「折れ線型」といわれる曲がった分子の形であるのに対して、二酸化炭素は「直線型」の構造をとる。なぜこのような構造の違いが生じるのか、そして、どうしてこの構造の違いが分子間の引力の違いに結びつくのかは第2章以降で明らかになる^{*16}。

つまり、状態変化は粒子の挙動を考えることで説明されたが、物質による挙動の違いをより詳細に理解するためには、その物質の真の姿（構造）を知る必要がある。

最初に述べたように（1-1 節）、化学は物質の「構造」「性質」「変化」を学び、研究する学問である。これらはお互いに密接に関連しあっており、構造を知るとは、その性質や反応を理解することに直結するのである。

*16 たとえば第4章「コラム／発展」参照。

1-5 二酸化炭素の構造と性質：どうして地球温暖化が進むのか？

地球温暖化の原因物質の1つとしてその排出量削減が求められている二酸化炭素 CO_2 の構造とその性質の一端について、もう少しみてみよう。構造は図1-7に示したように直線型であり、したがって炭素と酸素を結ぶ結合間 $\text{O}-\text{C}-\text{O}$ の角度（結合角）は 180° 、また炭素－酸素 ($\text{C}=\text{O}$) 間の結合距離は 0.116 nm ($1.16 \times 10^{-10} \text{ m}$) であることがわかっている（図1-8）。このように書くと分子は硬いもののようイメージされるかもしれないが、実際には分子は絶えず運動してその形は変化している。たとえば $\text{C}=\text{O}$ 結合は伸びたり縮んだり（伸縮振動）していて、結合距離 0.116 nm はその平均値である。結合角も同様に変化（変角振動など）しており、やはり結合角 180° は平均値であると考えてよい。分子がこのような振動運動をするには当然エネルギーが必要である。

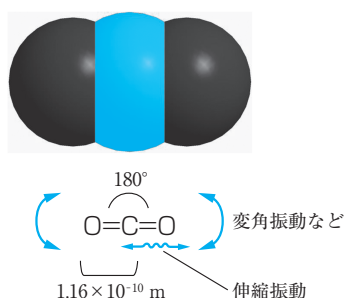


図 1-8 二酸化炭素の構造

光とエネルギーの関係は以下の式で示される（式 1-1）。この式は、光はエネルギー（ E ）であり、短い波長（ λ ）の光ほどそのエネルギーが大きいことを示す。たとえば紫外線は可視光や赤外線^{*17}に比べて波長が短いので、より大きなエネルギーをもっている。したがって、紫外線は皮膚がんの原因になるなど、人体に悪影響を与えたりする。それに比べると赤外線は波長が長く、結合を切るほどのエネルギーはもたないが、その大きさはちょうど結合の伸縮や変角振動の運動のエネルギーの大きさに相当している。

$$E = h\nu = h \frac{c}{\lambda} \quad (1-1)$$

E エネルギー (J)

h プランク定数 (6.626×10^{-34} J·s) ^{*18}

ν 光の振動数 (s^{-1})

c 光の速度 (2.998×10^8 m/s)

λ 波長 (m)

^{*17} 紫外線はおおよそ 10 ~ 380 nm, 可視光は 380 ~ 780 nm, 赤外線は 780 nm ~ 1 mm の波長の光を指す。

^{*18} 2-2-1 節参照

こうして、二酸化炭素は赤外線を吸収する。大切なことはどのようなエネルギーをもった光でもいいというのではなく、振動運動のエネルギーの大きさに相当する光を吸収するということである。二酸化炭素やメタン CH_4 をはじめとする地球温暖化に寄与する**温室効果ガス**といわれる物質はいずれも、それぞれの振動運動のエネルギーに相当する赤外線を吸収する。そしてこの運動エネルギーはやがて熱エネルギーへと変化し、大気を暖めることになる^{*19}。ちなみに、アルゴン Ar などの単原子分子や同じ元素からなる2原子分子（窒素 N_2 や酸素 O_2 など）、3原子分子（オゾン O_3 など）は赤外線を吸収しない。こうしたことから、温室効果ガスの増加は地球温暖化につながると考えられているのである。この二酸化炭素の増加の詳細に関しては、第12章の「コラム／発展」で見ることにする。

^{*19} 地表面に届いた太陽光線は赤外線として放射される。この赤外線を吸収する気体を温室効果ガスという。赤外線の一部は温室効果ガスに吸収され、他は宇宙空間へと放出される。結果としてエネルギーのバランスが保たれ、本来は大気温度は適度に保たれることになる。

コラム／発展

実は身近な私たちの生活を支える化学工業

化学は私たちの身の周りのすべての物質を取り扱い、そして私たちの生活に密接にかかわっている学問である。実際、多くの化学製品が製造され、それらが私たちの生活を支えている。その中には通常は直接目にすること

はないが、なくてはならないものがたくさん含まれている。こうした化学製品を作り出す化学工業（プラスチック製品やゴム製品も含む）の日本における出荷額（2014年）は約43兆円、2023年には48兆円を超え、産業の中の大きな部分を占める。なお、日本は2022年までは中国、アメリカに次いで世界で3番目の出荷額であったが、2023年にはドイツに抜かれて第4番目となっている^{*20}。

例として特に原材料となる化学製品がどの程度生産されているのかをいくつかピックアップして表1-2にまとめた。

^{*20} 日本化学工業会「数字とグラフで見る日本の化学工業」参照。

表 1-2 主な化学製品の生産量 [2015 年度 (上段) / 2023 年度 (下段)]

化学製品名	化学式	生産量 (千トン)	主な用途
苛性ソーダ (水酸化ナトリウム)	NaOH	3,849 3,793	アルミニウムの製造、中和剤、石けん等
アンモニア	NH ₃	901 729	肥料、合成繊維原料等
塩 酸*	HCl	1,860 1,826	薬品の製造等
硫 酸	H ₂ SO ₄	6,295 5,822	肥料、薬品の製造等
エチレン	C ₂ H ₄	6,882 6,349**	プラスチック・薬品原料等
ベンゼン	C ₆ H ₆	4,061 3,425**	薬品原料等

*塩酸の生産量は35%換算値 **2021年度
統計データ：経済産業省、日本肥料アンモニア協会、日本ソーダ工業会、硫酸協会、石油化学工業会

たとえば近年、硫酸 H₂SO₄ は 600 万トン前後、エチレン C₂H₄ は 650 万トン前後、水酸化ナトリウム NaOH は 380 万トン前後が生産されている。硫酸は主に二酸化硫黄 SO₂ から接触法というプロセスで製造され^{*21}、肥料や薬品の製造など、化学工業で広く用いられている。エチレンはナフサ（原油を蒸留して得られる粗製ガソリンのこと）を熱分解して得られ、代表的なプラスチック（高分子化合物）であり広く使われているポリエチレンの原料（モノマー）として（第12章参照）、また、その他の高分子化合物のモノマーの製造原料としてなど、多くの薬品の製造に用いられている。水酸化ナトリウムは塩化ナトリウム NaCl 水溶液を電気分解して、塩素 Cl₂、水素 H₂ と共に製造されている（電解法^{*22}）。石油の精製や石けん、紙や繊維などの製造に用いられるほか、アルミニウムの原料であるボーキサイトからアルミナといわれる酸化アルミニウム Al₂O₃ を取り出す際などにも利用されている。

^{*21} 接触法
酸化バナジウム(V) V₂O₅ を触媒（6-3節参照）として SO₂ を空気中の酸素 O₂ と反応させて三酸化硫黄 SO₃ とし、これを濃硫酸中の水 H₂O と反応させるプロセス。

^{*22} 具体的には主に「イオン交換膜法」という方法で行われている。

| 演 | 習 | 問 | 題 |

1. 図 1-9 は海水の元素組成を表している。(a)～(d) がどの元素に相当するかを予想せよ (図 1-2 を参考にせよ)。

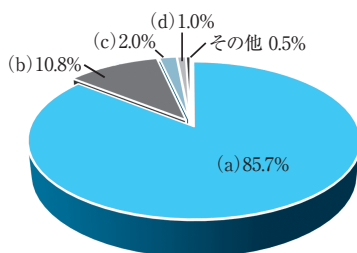


図 1-9 海水を構成する元素の組成 (質量パーセント*)
(*濃度については 5-4 節を参照)

2. 次の物質を単体, 化合物, 混合物のいずれかに分類せよ。
- (1) 牛乳 (2) 氷 (3) 石油
(4) ダイヤモンド (5) ナフタレン
3. 次の変化は物理変化であるか, 化学変化であるかを答えよ。
- (1) 洗濯物が乾く。
(2) 鉄くぎがさびる。
(3) ガスコンロに火をつける。
(4) 砂糖を水に溶かす。
(5) お風呂に発泡入浴剤を入れると泡が出る。

第2章 原子の構造

2-1 原子

2-1-1 原子の構造

物質をかたちづくる最小の基本粒子である原子は、陽子と中性子からなる原子核と、原子核の周囲を運動する電子によって構成されている(図2-1)。陽子と中性子はほぼ等しい質量をもち、電子はこれらの0.05%程度の質量しかない*1。陽子は正電荷を、電子は負電荷を帯びており、正負は反対だが、それらの電荷の大きさは等しく、電気素量*2をもとに陽子1個の電荷を+1、電子1個の電荷を-1で表す。中性子は電気的に中性な粒子で電荷をもたない。原子は同じ個数の陽子と電子をもち、お互いの電荷を打ち消すので全体として電気的に中性である。

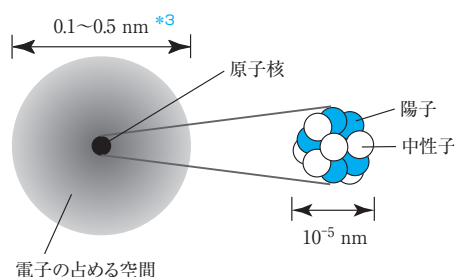


図2-1 原子の構造

*1

表2-1 原子を構成する粒子

	質量 / g	質量比	相対電荷
陽子	1.673×10^{-24}	1836	+1
中性子	1.675×10^{-24}	1839	0
電子	9.109×10^{-28}	1	-1

*2 電気素量

電子もしくは陽子1個がもつ電気量で $1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$ である。 e で表される。

*3 $1 \text{ nm} = 1 \times 10^{-9} \text{ m}$ である。nはナノと読み、 10^{-9} を表すSI単位系*の接頭語(接頭辞)である。

* SI単位系については5-2-1節参照

2-1-2 元素という分類(原子番号・質量数・同位体)

陽子、電子、中性子の3種類の粒子の組み合わせで構成される原子は、その組み合わせの違いにより数千種類が存在する。このように膨大な種類の原子をわかりやすく分類して物質を理解するために、いくつかの数値が定義されている。

原子の性質は電子の状態(個数や配置など)によって決まる。そして、このような電子の状態は原子核内の正電荷の大きさ、つまり陽子の個数に支配されている。そこで陽子の個数を原子番号と決めて原子に“背番号”を付け、原子番号ごとに原子を区別する元素という分類ができた。中性子の数が異なっていたり、電子の数が異なっていたり、陽子の数(=

索引

あ 行

アイソトープ 11
 アクセプター 121
 アクセプターイオン 121
 アクセプター準位 121
 アクチノイド 24, 33
 アセチルサリチル酸 136
 アボガドロ数 52
 アボガドロ定数 12, 54
 アボガドロの法則 55
 α -アミノ酸 143
 網目状高分子 150
 アミラーゼ 69
 アルカリ土類金属 35
 アルカン 132
 アルコール発酵 69
 アレニウスの定義 77

 硫黄酸化物 88
 イオン 25
 イオン化エネルギー 25, 97
 イオン化傾向 97
 イオン化列 97
 イオン結合 36, 47
 イオン結晶 47
 イオン交換膜法 8
 位置エネルギー 102
 一次電池 98
 イブプロフェン 129
 陰イオン 25
 陰イオン界面活性剤 140

 運動エネルギー 103

 エステル結合 136
 エステル基 85
 枝分かれ構造 149
 エネルギー順位 17
 エネルギー保存の法則 102
 エレクトロンボルト 119

塩(えん) 82
 塩基 77
 塩基性 80
 エンタルピー 105
 エントロピー 111
 エントロピー駆動型 114
 エントロピー増大の法則 102, 112

オクテット則 36
 オストワルト法 68
 オリゴマー 147
 温室効果ガス 7

eV 119
 HDPE 149
 LDPE 149
 LED 125
 LLDPE 152
 n型半導体 122
 sp^3 混成軌道 40
 sp^2 混成軌道 40
 sp 混成軌道 40

か 行

外界 102
 開環重合 153
 開放系 102
 界面活性剤 140
 解離エネルギー 29
 化学遺産 60
 化学結合 36
 化学式 3
 化学的酸素要求量 99
 化学熱力学 102
 化学反応 1
 化学反応式 52
 化学平衡の法則 72
 化学変化 1
 化学熱力学 102

可逆反応 70
 拡散電流 124
 核融合 2
 化合物 4
 化合物半導体 120
 価数 78
 架橋 152
 核力 11
 数平均分子量 147
 活性化エネルギー 67
 活性化状態 67
 価電子 24
 価電子帯 119
 価電子帯上端 123
 ガラス状態 152
 ガラス転移温度 152
 加硫 152
 カルボキシ基 136
 カルボニル基 137
 カルボン酸 135
 カロリー 114
 還元 90
 還元剤 95
 還元反応 95
 官能基 136

 幾何異性体 131
 貴ガス 25
 気体反応の法則 58
 起電力 98
 軌道図 19
 希土類元素 33
 ギブズの自由エネルギー 113
 逆反応 70
 逆方向バイアス 125
 キャリア 120
 吸熱反応 72, 106
 強塩基 78
 凝華 4
 凝固 4
 強酸 78

共重合 152
凝 縮 4
鏡像異性体 142
共鳴構造 133, 134
共役塩基 136
共役酸 136
極性共有結合 30
極性分子 30
共有結合 31, 36
共有結合性 30
共有結合半径 23, 24
共有電子対 38
極性共有結合 138
禁制帯 119
金属結合 36, 46
金属結晶 46

クーロン力 27, 30, 47, 49
空間電荷層 122
空乏層 122
グラファイト 109

系 102
結合エネルギー 28
結合角 38
結合距離 134
結合性分子軌道 44
結晶化度 151
結晶格子 49
結晶性高分子 151
結晶場理論 129
限界イオン半径比 48
原子価 131
原子価殻電子対反発則 38
原子核 10
原子価結合理論 39
原子軌道 15
原子番号 10
原子量 55
元 素 1
元素記号 11
元素半導体 120
高圧法 149

光学異性体 142
交換相互作用 34
光起電力効果 126
合成樹脂 146
酵 素 69
構造異性体 131
構造式 38
高電子密度領域 38
高密度ポリエチレン 1
骨格構造式 132
孤立系 102
孤立電子対 38
混合物 3
混成軌道 39
 K_a 79, 135

さ 行

最外殻 23
再結合 125
最密充填構造 46
錯 塩 87
錯 体 87, 127
サマコバ磁石 34
サリチル酸 136
サリチル酸メチル 136
酸 77
酸 化 90
酸化還元反応 90
酸化剤 95
酸化数 93
酸化反応 95
酸化物半導体 120
三重結合 38
酸 性 81
酸性雨 81
酸の平衡定数 135
磁気モーメント 18
式 量 55
磁気量子数 15
シクロアルカン 134
仕 事 103

シストランス異性体 131
質量作用の法則 72
質量数 11
質量・体積パーセント濃度 58
質量パーセント 2
質量パーセント濃度 58
質量保存の法則 57, 58
質量モル濃度 58
脂肪族化合物 135
弱塩基 78
弱 酸 78
自由エネルギー 113
周 期 24
周期表 23
重 合 146
重合度 146
重縮合 153
充 電 98
自由電子 46
充填率 47
重量平均分子量 148
縮合重合 153
縮 退 16
主量子数 15
ジュール 107
シュレディンガーの波動方程式 14
準安定構造 28
純物質 3
順方向バイアス 124
昇 華 4
常磁性 128
蒸 発 4
蒸発熱 106
触 媒 68
ショ糖 3
親水基 141
親水性 3, 140
真性半導体 120
振動数条件 14
親油性 139
水素イオン指数 78
水素イオン濃度 80
水素結合 31

水 和 50
スピン量子数 15, 18

正 極 98
正 孔 119
精 製 4
生成エンタルピー 109
生成熱 106, 109
静電力 31
正反応 70
生物化学的酸素要求量 99
生分解性高分子 153
生分解性プラスチック 153
整流作用 125
赤外線ガス分析計 155
節 13
絶縁体 118
接触法 8, 68
絶対温度 112
遷移元素 24
遷移状態 67

相対質量 12
族 24
速度式 66
速度定数 66
疎水基 141
疎水性 140
ソックス 88

 σ 結合 41, 134
COD 96, 99

た 行

第一イオン化エネルギー 27
体心立方格子 47
質量／体積パーセント濃度 58
第二イオン化エネルギー 27
太陽電池 126
多重結合 38
ダニエル電池 98
単結合 38
短縮電子配置 18

単 体 3

地球温暖化 6, 155
チーグラー・ナッタ触媒 73
窒素酸化物 68
中 性 81
中性子 10
中 和 82
中和熱 106
中和反応 81
超高分子量ポリエチレン 149
長周期型周期表 23
直鎖状低密度ポリエチレン 152

低圧法 14
低密度ポリエチレン 149
定量分析 96
電 圧 98
電位障壁 123
電 界 122
電解質溶液 97
電荷二重層 122
電気陰性度 29
電気素量 10
電気伝導 119
電 極 98
典型元素 24
電 池 97
電 子 10
電子雲 15
電子殻 15
電子軌道 14
電子式 36
電子親和力 28
電子スピン 18
電子対 19
電子配置 17
電子ボルト 119
伝導帯 118
伝導帯下端 123
電 離 77
電離定数 78, 135
電離度 79
電離平衡 78

電 流 97
同位体 11
導 体 118
導電性 118
ドナー 121
ドナーイオン 121
ドナー準位 121
ドリフト電流 124

DNA 31
Ziegler-Natta 触媒 19

な 行

内 殻 18
内部エネルギー 103, 104

二酸化炭素 6, 56
二次電池 98
二重結合 38
二重らせん構造 32
ニホニウム 20
乳 化 141

ヌクレオチド 31

ネオジム磁石 33
熱 104
熱運動 5, 103, 112
熱化学方程式 106
熱可塑性樹脂 150
熱硬化性樹脂 150
熱力学 64, 102
熱力学第一法則 102, 104, 111
熱力学第二法則 102, 111
燃焼熱 106
燃料電池 68

ノックス 68
ノニオン界面活性剤 140

は 行

配位結合 85

配位子	127	物質波	14	ポリスチレン	148, 154
配位数	48	物質量	54	ポリ (ブチレンサクシネート)	153
八電子則	36	沸 点	5, 31		
発光ダイオード	125	物理変化	4, 52	ポリ乳酸	153
発熱反応	72, 105	プラスチック	146	ポリヌクレオチド	31
波動関数	14, 44	プランク定数	7	ポリプロピレン	73, 148, 154
波動方程式	14	ブレンステッド・ローリーの定義	83	ポリマー	146
ハーバー法	60	ブレンステッド・ローリーの塩基	83, 139	ポリメタクリル酸メチル	152
ハーバー・ボッシュ法	68, 173	ブレンステッド・ローリーの酸	83, 139	ホール	119
反結合性分子軌道	44			π 結合	42, 134
反磁性	128	分岐構造	149	BOD	99
半導体	118	分 極	137	Fischer エステル化	138
半導体ダイオード	125	分 子	1, 54	p 型半導体	121
バンド構造	118	分子間力	151	pH	81
バンドギャップ	119	分子軌道	15, 43	PET	155
反応速度	64	分子軌道法	43	pn 接合	122
反応速度式	66	分子式	36	VSEPR モデル	38
反応速度定数	66	分子量	55		
反応熱	68, 106	分子量分布	147		
半反応式	96				
半閉殻	19				
非イオン界面活性剤	140	閉 殻	17		
光触媒	68	閉鎖系	102		
非共有電子対	38	平均分子量	147		
非局在化	135	平衡状態	71		
非晶性高分子	151	平衡定数	72		
ヒドロキシ基	136	平衡移動の原理	72		
比 熱	49	ヘスの法則	108		
標準状態	55, 109	ペプチド結合	143		
標準生成エンタルピー	109	ベンゼン	133		
標準電極電位	97				
ファンデルワールス力	151	方位量子数	15		
フェノール樹脂	150	芳香族化合物	135		
付加重合	146	放射性壊変	11		
不可逆反応	70	放射性同位体	11		
負 極	98	放射線	11		
副 殻	15	放射能	10		
不純物準位	121	ポテンシャルエネルギー	103		
不純物半導体	120	ポリエステル	153		
不斉炭素原子	142	ポリエチレン	8, 68, 74, 146, 149, 154		
不對電子	19, 128	ポリエチレンテレフタレート	155		
物質の三態	4, 58	ポリ塩化ビニル	148, 154		

ま 行

マイクロプラスチック 146

水のイオン積 80

無機化合物 117

メラミン樹脂 150

面心立方格子 48

モノマー 146

モ ル 12

モル濃度 58

や 行

融 解 4

融解熱 106

有機化合物 131

有機ガラス 152

有機溶媒 132

融 点 5, 31

油 脂 141

陽イオン 25, 47
陽イオン界面活性剤 140
溶 液 58
溶 解 58
溶解熱 106
溶 質 58
溶 媒 58
陽 子 10

ら 行

ラジオアイソトープ 11
ラジカル重合 149
ランタノイド 24, 33

立方最密重点構造 47
硫 酸 8
量子化されたエネルギー 14
量子条件 14
量子力学 14
両親媒性分子 140

ルイス塩基 87, 139
ルイス酸 87, 139
ルイスの定義 85
ルシャトリエの原理 72

レア・アース 33

六方最密充填構造 47