

7. 種々の現れ方をする不純物の性質

食い合わせもある物質同士の間柄

地球をはじめとする宇宙を構成している万物は非常に多くの原子や分子やイオンの集合によってできているという考えを現代の自然科学では基礎にしています。集合する仕方が異なれば水と氷のように同じ分子が集合した物質でも非常に異なる性質を示しますから、分子の集合の仕方により物質はそれぞれ個性のある性質や機能を示します。しかも、この物質の性質や機能が組み合わされて、万物は複雑な性質や機能をかもし出しています。水や蛋白質や脂質など約 5000 種類の物質が複雑に絡み合って細胞が形作られ、多くの細胞で構成されている五臓六腑など種々の器官の働きで人間は生き続けています。このように物質の、そして万物のもとになる分子やイオンは種々の原子が強い力で結び付いて形作られています、それらの原子の結び付きの違いにより異なる性質や機能を示す 5000 万種類以上の分子やイオンが現在までに調べられています。

これらの分子やイオンの集合の仕方が変化すれば物質の性質や機能が変化しますし、物質の性質や機能が変化すれば万物の組織や性質や機能も変化します。このような種々の段階の変化の中で、原子を結び付けている結合の組み替える変化を化学反応と呼んでいます、その結合の強さは 50~150kcal/mol ですから、150℃程度の加熱あるいは紫外線の照射により化学反応が容易に進行します。この場合にも分子を構成する原子の種類も結合の仕方も変化しますから、物質が変化し万物の組織や機能も変化します。しかも、分子が集合して形作られている物質も時間の経過や環境の変化により集合の仕方を変えてより安定な状態になりますから、物質の組織や機能も変化します。

春秋戦国時代の中国では万物が 4 つの独立した元素とそれらを繋ぐ中心の元素でできているとする五行思想が考えられていました。人間の身体は五臓六腑が働いて機能し、穀物は五穀からなり、一年は春夏秋冬と土用で季節が巡り、動物は龍と孔雀と虎と武と麒麟の五獣（五龍）で象徴されました。地上のすべての色が青と朱〔赤〕と白と黒と黄の 5 色の組み合わせでできていると考えられ、青春、白秋、朱夏、玄冬、青龍、白虎、麒麟（黄麟）などのように現在でも多くの習慣や言葉が残っています。著者が利用しているプリンターは黒と黄とシアンとマゼンダの 4 色のインクを用いていますが、シアンとマゼンダはそれぞれ青と赤に相当し、これらに加えてインクを用いず紙の白地を利用してあらゆる色を合成して印刷しています。2000 年前に五行思想で考えられていた青と朱〔赤〕と白と黒と黄の 5 色の中で、最も明るい白色から最も暗い黒色まで白と黒が明るさの基本ですから、色の基本は残りの青と赤と黄の 3 原色となり、奇しくもプリンターの基本となるインクの色と全く同じです。この 3 原色のインクの混ぜる割合を変化させることによりあらゆる色が合成されており、すべてのインクを混ぜますと黒になってしまいます。3 色の顕著な性質を持つインクを混ぜ合わせてその性質を足し合わせ、すべての色を調合しています。

甘い砂糖は水に溶けてもその分子の構造が変化しませんが、塩辛い食塩は水に溶けると

ナトリウムイオンと塩素イオンに解離して水に溶けます。お酢は酢酸の水溶液ですが、その酢酸の一部が酢酸イオンとともに水素陽イオンに解離して酸味を齎しています。砂糖と食塩で味を付ければ両者の味が合わさって甘辛く、お酢と砂糖を合わせた二杯酢は甘酢の味がしますし、お酢と醤油と砂糖を合わせた三杯酢は二杯酢に塩味と旨味が加わり、酢のものに味の深みが加わります。このように**純**物質は色や味などそれぞれ固有の性質を持っていますが、多くの場合にそれらを混ぜ合わせて**不純**な状態にしますと、混ぜた物は両者のそれぞれの性質を足し合わせた性質を示します。

多くの辛味の香辛料がありますが、餃子には唐辛子から作られるラー油が、おでんには辛子が、寿司や刺身にはわさびが、ハンバーグやシチューには胡椒が、鰻の蒲焼には山椒が特に好まれています。逆に、梅干しや西瓜はお腹を冷やすために脂っこい鰻や天麩羅の消化を妨げますから、昔から鰻と梅干しや天麩羅と西瓜は食べ合わせといわれて一緒に食べない習慣があります。食べ物や香辛料の強い個性は互いに味や香りを引き立てることもありますが、逆に打ち壊すこともあります。固有の性質を持っている**純**物質を混ぜ合わせて**不純**な状態にしますと、混ぜた物が両者のそれぞれの性質の足し合わされた性質ではなく別の性質を示したり、それぞれの性質の引き算になって表れる場合があります。

近年食事の趣向が和食から洋食にかなり移行しましたので、洋野菜の代表ともいえるべき胡瓜の需要が高まりました。産地から大量の胡瓜が箱に収納されて消費地へ輸送されていますが、比較的直ぐな胡瓜は一つの箱に沢山収納できますから輸送費を低く抑えられます。本来、胡瓜は曲がったり大きさが大小不揃いになって育つものですが、曲がった胡瓜や大きさの不揃いな胡瓜は箱に少量しか収納できませんから、産地から都市部の店頭まで輸送する時に輸送費が嵩み、店頭価格が割高になってしまい、産地での商品価値を低くしなければ販売競争を勝ち抜けません。品種改良や技術改良により、胡瓜の形状を揃えて細密充填することにより隙間を小さくして輸送効率を向上させています。

手間を掛けずに簡単に炊飯できるように設計された電気炊飯器では、お米の量に対応するように予め水が目減りを考慮した目盛りが付けられていますから、目盛りまで水を入れてスイッチを入れれば約 1 時間後には全自動で芯もお焦げもない無難なご飯が炊き上がります。しかし時々お焦げの混じったご飯が懐かしくなり、土鍋で炊飯するときには 1 合（180mL）のお米に 1 合（180mL）の水を加えて強火で煮立つまで加熱し、その後、蓋をして 10 分ほど弱火で加熱し続けますとわずかにお焦げの混じった美味しいご飯に炊き上がります。その時 1 合のお米と水ですから 2 合（360mL）になるはずですが、米粒の間の隙間に液体の水が入り込んでしまいますから、両者の体積の和にはならずお米に水を入れた体積は 290mL に過ぎません。このように粒子の大きさの異なる物質を混ぜ合わせると、隙間に入り込んでしまい体積が減少する細密充填の現象は、嵩の大きさの異なる分子が混合するときにも起こります。硫酸は水の分子量の約 5 倍の分子量をもっていますから、水よりはかなり大きな分子と思われます。200g の濃硫酸の体積は 113mL ですから 100g の水に加えますと、水と硫酸の体積の和は 213mL と計算されますが、実際に得られる希硫酸の

体積は 194mL に過ぎず、約 9%の体積の縮小となります。この細密充填の現象は不純物の性質に関係なく単に物質の嵩の大きさにのみ影響されますから、混合物の体積が必ずしも**純物質**と**不純物**の体積の足し算にはならないことを示しています。

最も小さなヘリウム分子から絹の蛋白質など非常に大きな分子まで分子の大きさは千差万別ですから、これらの分子が混ざり合うときには分子の大きさが不揃いになり、分子の間の距離も異なります。分子の間に働く分子間力は分子間距離に反比例しますから、2種類以上の分子が混ざり合う時には分子間力に大きな影響を与え、結果として沸点や融点にも影響を及ぼします。砂糖のような物質の水溶液では、水の分子の間に異なる大きさの分子が紛れ込み、水の分子は整然と規則的に並ぶことが難しくなりますから、分子間力が小さくなり 0℃では氷になることができず融点(凝固点)が降下します。このとき砂糖の分子の数が多ければ多いほど水の分子は規則的になることが困難になりますから融点が低くなります。また、砂糖のような物質の水溶液では、砂糖の分子が水の分子に混じって動き回っていますから、しがらみから開放されて水分子の飛び出す機会が減ってしまい、水は気化し難くなり沸点の上昇をもたらします。このように**不純物**の性質には関わりなく、溶かし込む**不純物**の量により**純粋**な物質の性質が変化する現象も観測されます。

お酢とレモン汁にはそれぞれ酢酸とクエン酸が含まれていますからかなり酸味の強い食べ物ですが、この酸っぱい食べ物 2 種を合わせますと両者の酸味が合わさっても強くはならず、両者の酸味が打ち消すように働き酸味が円やかになります。このような酸性の (酸っぱい物質は水素陽イオンと対応する陰イオンに解離しますから、2 種の酸性物質を混合しますと両者の水素陽イオンが互いに合わさって相互作用をしてしまい、個々の酸性の強さに影響を与えてしまいます。この相互作用が最も効率的に働く緩衝溶液の系では若干量の酸性物質や塩基性物質の新たな添加による影響をほとんど受けません。緩衝溶液の系になっている胃の中は酸性の強さが変化しませんから、消化機能が健全に維持されます。**純粋**な緩衝溶液の系に若干量の酸や塩基を**不純物**として加わえても、全く**不純物**の性質を消し去ってしまい**純粋**な緩衝溶液の性質を保ちます。

目立ちたがり屋の性質を利用する分析

通常の塩ラーメンは合わせて約 500g の麺と具とスープと塩で美味しく味が調えられています。これにわずか 1g のラー油を入れますと劇的に香りと辛味が加わり美味しさが増します。色や香りや味などそれぞれ固有の性質を持ったラーメンとラー油が混ぜ合わされたときに、それぞれの性質の足し合わされた性質が現れたに過ぎませんが、ラーメンにはほとんど辛味もごま油の香りもありませんから、少量でもラー油の極めて顕著な香りと辛味の性質が強く表れたものと思われます。**純物質**が混ぜ合わされて**不純**な状態になったときにはそれぞれの性質を足し合わせた性質が現れますが、**純物質**にはない性質を顕著に持つ**不純物**が混ざり合わされた場合には、極めて少量でもその性質が目立ちます。

モルヒネ中毒に似た薬理作用があまりに強いために全米で不審死が続きましたが、それ

らの事故との因果関係が認められたために、 α -メチルフェンタニルが 1981 年に危険な薬物として規制されるようになりました。この危険な薬物は世界中の闇市場で取り扱われ続け、日本でも脱法ハーブとして密かに広まり各種の事故につながりました。 α -メチルフェンタニルの薬理効果 ED_{50} は 0.000000005g/kg (5ng/kg) と見積もることが出来ますから、人間の平均体重を 60kg と仮定すれば、 0.0000003g (300ng) の α -メチルフェンタニルが不純物として体内に入りますと、人間の機能や性質を失い麻酔状態に陥ってしまいます。

毎年の食中毒死の原因になるボツリヌス菌と呼ばれる好塩菌の分泌する毒素は、致死量 LD_{50} が 0.0000003g/kg で今まで知られている物質の中で最も強い毒性の物質と思われますから、 0.018mg のボツリヌス菌の毒素が不純物として体内に入りますと、食中毒を起こして人間の機能や性質を失い死に至ってしまいます。人間の身体は非常に複雑な機能を持つ組織ですから、極めて少量でも α -メチルフェンタニルやボツリヌス菌の毒素のように顕著な性質を持つ不純物が純な物質に影響して性質を変えてしまいます。

金属原子が集合して 3 次元的に整然と並んだ固体においては、結合に関与する電子をみなで共有するようにそれらの集合体を構成する全ての原子が相互作用して互いに結合し、1 個の分子のようなものを作り上げます。このような金属原子の塊で共有されている電子は個々の原子に帰属されず、極めて流動的に動き回ることが出来ますから、その一端から電子を流しますと速やかに末端まで移動して電流が流れます。この純粋な金属に他の金属原子などの不純物が混ざり込みますと、細密充填できなくなり整列した原子の間に隙間ができてしまい電子の移動に支障をきたしますから電導度が小さくなります。

ケイ素やゲルマニウムなどの 14 族元素の金属は原子同士が大きな共有結合性の結合で結びついており、少しの電子しか自由に動き回ることが出来ず小さな電導度を示します。14 族元素の金属に通電するためには不純物が 10ppt ($1 \times 10^{-9}\%$) 以下の極めて高い純度が要求されますが、この 14 族元素の金属が 13 族元素あるいは 15 族元素をわずかに不純物として含みますと、一方方向のみに電流が流れる半導体の性質を示します。それらの種々の半導体を組み合わせたダイオードやトランジスターは動作や機能を制御する電化製品の心臓部に広く用いられます。このように純粋なケイ素やゲルマニウムに含まれる不純物が 13 族元素か 15 族元素かそれ以外の元素かにより、半導体素子の性能を大きく左右します。純粋な金属は原子が緻密に整列しているために電導度が大きくなりますが、他の金属原子などの不純物が混ざりこみますと整列した原子の間に隙間ができてしまい電導度は小さくなります。このように純粋な金属に含まれるわずかな不純物がその電導度に大きな影響を与えますが、特に 14 族元素の純粋な金属では、中に含まれる極めて少量の不純物があたかも主役を演じているようです。

天然に存在する水素と炭素とカリウムの元素には放射性同位元素の ^3H と ^{14}C と ^{40}K がそれぞれ $1 \times 10^{-16}\%$ と $1.2 \times 10^{-10}\%$ と 0.0119% の同位元素比で含まれています。さらに、原子爆弾や原子力発電所では、 ^{235}U と中性子の衝突により起こる核分裂反応で発生する莫大な熱エネルギーを利用していますが、同時に多くの放射性同位元素を生じます。中でも ^{90}Sr 、

^{131}I 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs などは人間の身体に影響を与えやすい放射性同位元素で、1986 年のチェルノブイリ原子力発電所の事故や 2011 年の福島原子力発電所の事故で広く拡散してしまいました。非常に波長の短い電磁波の γ 線は少量でも検出し易い性質の放射線ですから、このように日常の生活環境に存在する放射性同位元素が不純物として含まれるときにはその性質が極めて顕著に表れます。

γ 線より波長の長い可視光線の場合には、色の識別できる濃度限界は 0.05mg/L と換算できますから、たとえわずか 10ppb($10^{-6}\%$)の**不純物**といえども無色の**純物質**が着色してしまいます。著者が卒業研究に明け暮れていたある日、2 種の試薬をフラスコの中で熱したところ、色が鮮やかに変化しましたので、喜び勇んで反応を停止させて生成物の分離精製をしました。この反応で生成した物質は合成着色料のように濃い色を持っていましたから、極めて少量の色鮮やかな生成物のほかには原料の 2 種の試薬が回収されただけでした。まさに色即是空という般若心経の一節を身に染みて化学の実験で体験しましたが、「観自在菩薩行深般若波羅蜜多時、照見五蘊皆空、度一切苦厄。」で始まる般若心経は仏教の最も基本思想を表したものですから、もっと深い内容を説いているのでしょう。

純物質が混ぜ合わされて**不純**な状態になったときにはそれぞれの性質を足し合わせた性質が現れますから、不純物の性質を調べれば不純物の存在の有無や量を調べることができます。全く味の無い水に砂糖を加えた砂糖水は甘く感じられますし、砂糖を減らせば減らすほど甘さが弱くなります。さらに水に加える砂糖を減らしてゆき砂糖の濃度を 0.61% (重量%) 以下にしますと、もはや砂糖の甘味が平均的な人間には感じられ無くなると報告されています。人間の感じる砂糖の最小濃度が砂糖に対する味覚の感度に相当し、含まれる砂糖がこれ以下の濃度では混在を感じられません。言い換えれば、感度以下に混在する不純物は含まれていないことと同じ意味を持ちますから、不純物を含まない純粋な物質と考えることができます。感度以下の存在は**無**を意味し、絶対的ではありませんが**純**はそこに含まれる全て不純物の存在が**無**の状態を意味します。

十人十色と言われるように物質はそれぞれ種々の性質を持っていますから、現れ難い性質もありますが、極めて顕著な性質もあります。現れ難い性質を持った不純物は多量に含まれていても感じられませんかから無に等しくなりますが、顕著な性質を持つ目立ちたがり屋の不純物は極めて少量でも存在が認められます。お米を水で繰り返し研ぐように、不純物を希釈すれば取り除くことができ、不純物の性質を弱めることができますから、この反対の濃縮の操作をすれば不純物の性質を顕著にすることが出来ます。また、不純物の性質の大小を電気信号に変換できれば、電気信号の正確な増幅が可能ですから、不純物の存在や量の測定が高い精度と感度で可能になります。著者が色即是空を悟ったほどに物質の示す色の性質は非常に顕著ですし、デジタルカメラのように光を電気信号に変換することができますから、この色の性質は高い精度と感度を持つ吸光分析や発光分析に広く応用されています。

質量分析計は磁場の中での原子や分子から生じるイオンの運動の違いを電気信号に変

換して不純物の存在と量と分子量を測定する機器で、極めて多くの情報を与えますから、ドーピング検査などに利用されています。また、放射線は人間にとって有害ですが、非常に少量でも顕著な性質で電気信号に変換できますから、放射分析や放射化分析に応用され極めて少量の不純物の存在や量の測定に用いられています。

α -メチルフェンタニルやボツリヌス菌の毒素のように生体に対して示す顕著な性質を利用して物質の存在や量を測定することも可能です。ボンビコールは雌の蛾が放出しますと雄の蛾が触角で感知し、配偶者を探して交尾するような行動を触発する性フェロモンです。このボンビコールが拡散してゆくとき、数 km 離れたところにいる雄の蚕蛾が触覚で感知して集まってくる実験から、雄の蚕蛾は約 170 個の分子に接触すると雌の蚕蛾の存在を感知し、配偶者を探して交尾するための行動をとると見積られています。しかし、身長の高い人や体重の重い人がいるように生体にはそれぞれ個性がありますから、顕著な性質の現れる強弱にも個性があり、不純物の存在と量の正確な測定ができません。また、微生物や昆虫や小動物は測定例を増やすことにより個性を平均化することが出来ませんが、生物には環境に対する適応性が備わっていますから測定に困難を伴います。

数に対する古代中国の思想の奥深さ

Gay-Lussac が「気体同士の反応で、反応物と生成物の体積の間の比は、簡単な整数比で表される」ことを見出し、Avogadro が「気体の種類に関わらず同じ体積中には同じ数の気体分子が含まれる」という仮説を唱えました。この化学の基本となる法則に基いて Loschmidt が 0°C、1 気圧の 1cm^3 の体積中に含まれる気体分子の数を 2.6869×10^{19} 個と見積もりましたが、mol（モル）が物質の分子量の数字に g（グラム）をつけた質量に含まれる物質と定義した原子量や分子量の概念の導入により、1mol の物質に含まれる分子の数を Avogadro 定数と定義しました。この定義によれば、水蒸気 22.4L や水 18.0g や砂糖 342.3g や食塩 58.5g は 1mol に相当しますから、それぞれ Avogadro 定数の分子を含んでいることを意味します。種々の測定法により精度が向上して、現在では国際的な科学技術データ委員会で Avogadro 定数は $6.022\,141\,29 \times 10^{23} \text{mol}^{-1}$ と決定されています。1 個の分子は Avogadro 定数の逆数に相当しますから $1.66 \times 10^{-24} \text{mol}$ となり、1L の水に不純物が 1 分子含まれた水溶液の濃度は $1.66 \times 10^{-24} \text{mol/L}$ と計算されます。この濃度以下の水溶液では 1L の水の中に 1 分子の不純物も含まれない絶対的な純粋の水になり、その濃度は 0 mol/L になってしまいますから、不純物の濃度の 10^{-24}mol/L は絶対的な純と不純の境目と考えられます。

Clark らの研究によれば太陽系の天体の構成元素の 86%以上が水素で占められ、その原子量から太陽系を構成する全原子の平均原子量は 1.45 と求められます。この平均原子量と太陽系の天体の全質量から太陽系を構成する全ての原子が $1.37 \times 10^{33} \text{mol}$ と算出されます。さらに Avogadro 定数を考慮しますと、太陽系を構成する全原子数が 8.27×10^{56} 個と計算されますが、Hubble 宇宙望遠鏡などにより太陽系のような星の存在が約 2×10^{11} 個地球から確

認されていますから、地球から確認する全宇宙に存在している原子の数は 1.7×10^{68} 個と概算できます。

この Avogadro 定数のように大きな数字に対して中国と西欧ではかなり異なる考え方を持っているようです。西欧では 1000 の 1000 倍は Million (10^6) という単位で表していますが、さらに 1000 倍する回数で大きな数字を指数関数のように表していますから、無限に大きな数も表すことができますが、その数は無名数で哲学的な意味を持ちません。逆に 1 よりも小さな正の数は分数で表します。最もよく使われている% (per cent) は日本語では百分率といい、分母を 100 とした時の分子の値で表しています。同じように ppm や ppb や ppt は分母をそれぞれ 10^6 や 10^9 や 10^{12} とするときの分子の値で表しています。大きな数が哲学的な意味を持たない無限の無名数ですから、小さな数も哲学的な意味を持たない無名数です。

これに対して中国は全ての物事に文字を作り、それに個々に意味を持たせてゆく文化を持っていますから、十、百、千、万に続いて 10000 倍ごとに個々の単位が作られています。この中国の数の様式では 4 桁ごとに単位を作らなければなりませんから、無限に大きな数を表すことはできませんが、単位に対して哲学的な意味のある文字を当て嵌めることができます。 10^{64} は考えることができないほど大きな数ですから不可思議という単位が当て嵌められ、 10^{68} ではもはや数えることができないほど大きな数ですから無量大数という単位が作られました。1 よりも小さな正の数も 0.1 倍ごとに単位が用意され、個々に哲学的な意味を持った文字を当て嵌めていますから、無限に小さな数を表すことはできません。0.1 は 1 個の物を分けるという意味で 1 分、0.001 は羽毛のように軽い存在という意味から 1 毛、 10^{-24} は煩悩のない悟りの世界がなにもなく静かで安らぎの世界を意味する仏教の言葉の涅槃寂静という単位で表しています。このように全ての数の単位に個々に哲学的な意味を持った文字が用意されていますが、 10^{68} より大きな数や 10^{-24} より小さな数の単位は用意されていません。文明の発祥から現代にいたるまで、西欧の哲学では無限と思われる数が中国の哲学では有限のようで、その外にあるものは意味を持たないと考えられています。

Gay-Lussac や Avogadro や Newton や Einstein など多くの科学者により物質を構成する分子や原子から、全宇宙を構成する宇宙や太陽系や地球まで微視的にも巨視的にも研究されてきました。その結果、自然に対する知見も思想も哲学も格段の発展を遂げ、現在では、物質の性質を示す最小単位が原子や分子であり、それらが種々様々に集合して我々を取り巻く全宇宙を構成していると考えられています。明らかにされた Avogadro 定数から 1 個の分子は 1.66×10^{-24} mol に相当し、1L の純物質に 1 分子の不純物が含まれる時その濃度は 1.66×10^{-24} mol/L と計算され、中国の数の様式では 1.66 涅槃寂静と表されます。この濃度以下では 1L の純物質中に 1 分子も含まれない絶対的な純粋となり、その濃度は 0 mol/L になってしまいますから、不純物の濃度の 10^{-24} mol/L は絶対的な純と不純の境目と考えられます。また、人間が認識する全宇宙を構成している全原子数が 1.7×10^{68} 個ですから中国の数の様式では 1.7 無量大数と表されます。

古代中国では数は有限で最小の数と最大の数がそれぞれ1涅槃寂静と1無量大数であり、これらの数を超すものは意味を持たないと考えられていましたが、mol の概念に基いて物質の最小単位が分子や原子と考える現代の化学では、 10^{-24} より小さな数も 10^{68} より大きな数も、確認できない現実的にも哲学的にも意味のないものです。古代中国の数の概念と現代の化学で基本となる原子や分子の概念における数の限界が奇しくも一致しています。

本書では人間の生活の中で深く関わっている純と不純に関して化学の知識を織り交ぜながら独善的に見てきましたが、基本的な概念や物質の性質への影響などを少しでも深く知ることにより、何か一つでも化学の研究や教育に役立つものが見つけ出せば良いと思っています。また、逆に純と不純に関する多くの化学的な技術や知識が快適な日常生活を生み出す助けになれば、本書はさらなる意義を持つことになると思われます。本書が純と不純に関する基礎知識を深める上で貢献できればよいと思っています。

索引

あ

アスパラギン酸	10
アスパルテーム	10
アセスルファム K.....	10, 11
アゾ化合物.....	71
圧力	38, 39
Avogadro.....	16
Avogadro 定数.....	16, 18, 20, 35, 81, 96, 97
アミノ酸	64
アミラーゼ.....	10
アラニン	10
Archimedes.....	59
アルコール類.....	36
アルデヒド類.....	36
アレルギー性.....	70
アントシアニン	70

い

ED ₅₀	62, 63, 65, 94
イオン3, 20, 30, 31, 32, 35, 42, 43, 45, 48, 49,	
53, 69, 77, 79, 91, 95	
イオン結合.....	45
一日摂取許容量	67, 70
陰イオン交換樹脂.....	30
インク	91
インジゴ	71
インスリン.....	9

う

烏頭	65
宇宙線.....	82, 83, 85
ウンチ臭	47
運動エネルギー	38, 39, 55, 56

え

ADI.....	67, 68, 69, 70, 71
液体状態.....	38
エステル.....	10, 64
エタノール.....	31
n 型半導体.....	77
LD ₅₀	63, 64, 65, 66, 67, 70, 71, 72, 94
塩基性	42
エンケファリン.....	61, 62
炎色反応.....	34
エンタルピー	38, 45, 47
エントロピー	38, 45, 47

お

王水.....	28
黄銅.....	54, 74
応力.....	26
応力-ひずみ線図	26
Ohm.....	75
温室効果ガス	33
温室効果ガス観測技術衛星.....	33
温度係数.....	74, 75

か

Geiger.....	81
外挿法	22, 23
界面活性剤.....	63, 64, 68, 69
解離.....	42, 43, 45, 51, 52, 53, 68, 92, 93
解離定数.....	42, 51
化学時計.....	84, 85
拡散.....	5
核分裂	81, 87, 88, 89, 94
核分裂反応系	83
加水分解.....	9, 10

加成性.....	14, 15
果糖	10
曲尺	26
カフェイン.....	7, 14, 64
カプサイシン	64
ガラクトース	10
還元剤.....	60
還元反応	60
緩衝溶液	51, 53, 93
感度 .. 7, 8, 11, 14, 15, 20, 23, 24, 29, 33, 34,	
35, 36, 37, 50, 85, 95	
官能基.....	10

き

気化	38
貴金属.....	27, 28, 54, 73, 75
キサnten	71
希釈	44, 45, 47, 50, 60, 90, 95
キシリトール	10
気体状態	38
揮発性.....	7, 14
嗅覚	35, 36, 37
吸光現象	34
吸収	71
急性毒性	62, 63, 64, 65, 66, 67, 70
吸着	27, 30, 32, 50
凝固点.....	29, 56
凝固点降下.....	56, 57, 58
凝固点降下度	56, 57, 58
共役塩基	42
共役酸.....	42
極大吸収波長.....	33
キログラム原器	27, 28, 29
金属結合	73

く

屈折	12, 13
----------	--------

屈折率	12, 13, 14, 15, 16
くの字型.....	45
Clausius	38
クロマトグラフィー	49, 50
クロロゲン酸	7, 14
燻製.....	63

け

けい素	73, 74, 76, 78
Gay-Lussac	16
解熱作用.....	63, 65
ゲルマニウム	73, 74, 76, 78, 94
原子... 3, 5, 10, 13, 16, 18, 32, 34, 39, 44, 58,	
61, 71, 73, 75, 76, 77, 78, 79, 85, 91, 95,	
98	
原子核	13, 73, 79, 80, 81, 82, 85, 87, 88
原子間距離.....	55
原子爆弾.....	81, 87, 88, 89, 90, 94
原子半径.....	55
原子力発電.....	81, 82, 88, 89, 90, 94
元素18, 20, 24, 34, 73, 76, 78, 79, 81, 83, 84,	
87, 88, 89, 90, 91	
検量線	22, 23

こ

光学活性物質	13
合金.....	55
硬水.....	5, 30, 68
合成着色料.....	70, 71, 72, 95
光電子増倍管	34
硬度.....	5, 30
降伏点	26
酵母.....	30
コーヒー.....	7
五行思想.....	3, 91
虚空.....	19, 21
誤差.....	23, 27, 28, 50, 82

固体状態	39
コデイン	61
コンスタンタン	74, 75

さ

最外殻電子.....	79
再結晶法	48, 49, 50
最小単位	18, 97, 98
細密充填	58, 59, 60, 92, 94
催眠作用	61, 62, 63
竿秤	25
酢酸37, 42, 43, 46, 51, 52, 53, 56, 63, 64, 69, 92, 93	
さしすせそ.....	7
サッカリン.....	9, 10, 11
砂糖	8, 9, 10, 22, 95
酸化	5, 9, 27, 28, 32, 41, 52, 83
酸化剤.....	60
酸化防止剤.....	68
酸性 . 5, 10, 23, 32, 42, 43, 51, 52, 53, 69, 93	
3 態	38
残留塩素	5

し

GM 計数管.....	81
視覚	35
色即是空	72, 95
質量16, 18, 24, 25, 27, 28, 29, 39, 50, 79, 83, 89, 96	
質量数.....	87, 88
質量分析計.....	32, 34, 37
脂肪酸.....	68
自由エネルギー	38
重水素.....	83
自由電子	73
重力	16, 24, 28
重力加速度.....	24, 28, 29

受容体	61, 62
純水.....	29, 43
純度.....	4, 5, 6, 14, 28, 32, 59, 78, 94
状態方程式.....	39
蒸発熱	38
蒸留.....	31, 32
蒸留水	31, 32
触媒.....	86
触媒反応.....	86, 88
食品添加物.....	68, 71
食用着色料.....	67, 68
触覚.....	36, 37, 96
人工甘味料.....	9, 10, 11, 67, 68
人工香料.....	68
浸食.....	27
真鍮.....	54
新陳代謝.....	83
振動面	12, 13
振幅.....	12

す

水酸基	10
水質基準.....	5, 68, 69, 70
水素結合.....	45
水素原子.....	79
水素陽イオン	42, 43
スクラロース	10, 11
ステンレス	26, 74, 75

せ

製塩.....	49
生活用水.....	68
正孔.....	77
静電引力.....	34, 79
精度16, 20, 23, 24, 29, 31, 32, 33, 34, 35, 50, 85, 95, 96	
青銅.....	24, 54, 74

整流作用	78
精錬	78
石鹼	30, 68
絶対温度	38
Celsius	29
全原子数	18, 96, 97
旋光	13
旋光度	13, 14, 15
染色体異常	70
線膨張率	26

そ

相関係数	23, 39, 57
相互作用 13, 14, 32, 39, 49, 50, 73, 77, 93, 94	
操作性	24
相対湿度	40
相転移熱	38
測定機器	37
速度	36, 39
塑性	26
塑性領域	27

た

ダイオード	78, 94
ダイオキシシン	64, 66, 67
太閤検地	25
ダイナミックレンジ	23, 24
台秤	25
ダイヤモンド	76
炭化水素	44, 45
炭酸塩	48, 49
炭酸カルシウム	5
弾性	26, 28
弾性領域	26, 28
蛋白質	3, 7, 9, 14, 54, 83, 91, 93

ち

蓄電池	60
致死量	62, 63, 67, 94
抽出	46, 47, 50
抽出量	47
中性子	3, 5, 81, 82, 83, 87, 88, 94
潮解	41
治療係数	65

つ

通過時間	50
------------	----

て

出合いの反応	42, 80, 86, 87, 88
定性分析	22, 23
定量分析	22, 23, 25
梃子の原理	22, 25
テトロドトキシシン	64, 66
電荷	44, 45
電荷の偏り	44, 46
添加物	71
電気抵抗	73, 74
電気抵抗率	73, 74
電子	3, 5, 55, 82
電子天秤	28
電磁波	82
電導性	73, 76
天秤	22, 24, 28, 29
でんぷん	9

と

同位元素 79, 81, 83, 84, 85, 87, 88, 89, 90, 94	
透過距離	33
糖質	10
糖度	14, 15, 16, 24
糖尿病	9, 11
糖類	30

トランジスター78, 94
 トリカブト64, 65, 66
 トリフェニルメタン71
 度量衡25, 29

な

鉛蓄電池60
 軟水5, 30, 68

に

にがり49, 64
 ニクロム74, 75
 乳酸64
 Newton24, 97

ね

熱量29, 75
 涅槃寂靜18, 19, 20, 97, 98
 粘性38
 年代測定85

の

濃度80, 86

は

破断点26
 発がん性70
 白金-イリジウム合金28
 醃酵10, 30
 発光現象34
 発光分光分析法34
 バニリン7
 半減期80, 81, 84, 85, 88, 89
 ハンダ55
 反応速度定数38, 42, 80, 86

ひ

pH43, 51, 52, 53, 69

p 型半導体77
 pKa42
 比較法22, 25, 26, 28
 非局在化71
 比重13, 29, 43, 59, 60
 左手の法則35
 Vickers 硬度26, 28
 引張強度26, 28
 比熱30
 ピラジン7
 Billion17, 18

ふ

フェニルアラニン10
 フェノール64
 フェロモン35, 36, 37, 96
 フोटダイオード34
 フォトン13
 不可思議17, 18, 97
 沸点29, 31, 40, 50, 55, 56, 57, 93
 沸点上昇57
 沸点上昇度57
 Butenandt36
 ブドウ糖9, 11, 47, 64
 腐敗防止剤68
 Brix14
 Brinell 硬度26, 27, 28
 フルフラール64
 Fleming35
 Brønsted42
 分圧39, 40, 41
 分液ロート46
 分子3, 35, 37, 38, 39, 91
 分子間力38, 39, 45, 47, 54, 55, 56, 57, 73, 93
 分子吸光係数33
 分子構造36
 分子量36, 39, 56, 57, 58

分銅22, 24, 26, 27, 28, 29
分配比46, 47

へ

平衡状態16, 38, 41, 83, 85
平衡定数38
Beer33, 71
ペプチド結合10
ヘロイン62
偏光12, 13

ほ

妨害物質16
放射壊変81
放射性同位元素81, 82, 89, 94
放射能82
宝飾品24, 28
飽和蒸気圧36, 40, 41
飽和炭化水素38
補色33
ポリメタクリル酸メチル26, 27
ボンビコール36, 96

ま

Maxwell11
慢性毒性63, 67, 68, 70

み

三重水素83
味覚7, 8, 9, 10, 11, 14, 15, 16, 22, 23, 42, 65,
72, 95
密度12, 13, 14, 15, 28, 29
水俣病69
Müller81
Million16, 17, 97

む

無名数18, 20, 97

無量大数16, 17, 18, 97, 98

め

メイラード反応7
メートル原器24, 27, 28
メートル法13, 17, 18, 19, 25, 27, 28, 29

も

木炭30
物差し25
モル10, 11, 16, 39, 40, 62, 81, 96
モル濃度59
モルヒネ61, 62, 65

や

薬物依存症62

ゆ

誘磁率11, 12, 13
融点55, 57, 58, 93
誘電率11, 12, 13
誘導期87
誘導結合プラズマ34
遊離5, 45, 52, 53

よ

陽イオン42, 43
陽イオン交換樹脂30
溶液33, 45, 47, 56, 57, 58
溶解度47, 68
溶解度曲線48
陽子3, 5, 81, 82, 83, 87, 88
溶質47
溶媒47, 56, 57

ら

Lambert33, 71

り

リトマス試験紙	23
硫酸	48, 49, 58, 59, 60, 67, 92
硫酸塩	48, 49
臨界点	87

れ

連鎖反応	83, 86, 87
------------	------------

ろ

Loschmidt	16, 96
-----------------	--------

わ

別れの反応	42, 80, 81
-------------	------------