

5.実験と算術で見えてくる世界

算術計算で見えてきた原子の実感

19 世紀はじめに Gay-Lussac は「気体の反応物と生成物の体積の比は、簡単な整数比で表される」という化学の基本となる法則を見出しました。さらに、Boyle や Charles によって、物質の種類に関わらず気体の体積と温度と圧力の関係が状態方程式にまとめられ原子量概念が確立されました。同じ分子が集合した物質でも集合する仕方が異なれば水と氷のように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。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。その結果、膨大な種類の分子やイオンを構成している原子が自然界にはわずかに 90 種類しか存在していないことが分かってきました。しかも、これらの原子は中性子と陽子と電子の 3 種の粒子が極めて大きなエネルギーで結び付けられてできています。これらの関係をまとめますと中性子と陽子と電子の 3 種の粒子が集合して地球上の万物が作り出されており、その 3 種の粒子の集合の仕方により万物の性質や機能が発現していると考えられますから、現代の自然科学の考え方は三行思想と表現することも出来るように思います。この三行思想に基づいて原子や分子の概観が明らかにされてきました。

適当に大きな結晶では体積を正確に測定できますが、その結晶の中で整然と規則的に並んだ原子同士の間隔が X 線を用いた構造解析法により正確に求められますから、その結晶中に含まれている原子や分子の数を計算することができます。さらに、その結晶の質量を天秤で測定すれば、1 個の分子や原子の質量を算出できます。1mol (モル) が中性子 6 個を持つ炭素の同位元素 ^{12}C の原子量を基準値 12 とした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質量とする定義から、この 1 分子の質量を基にして 1mol の物質に含まれる分子や原子の数が Avogadro 定数として算出されます。現在ではこの Avogadro 定数は $6.02214129 \times 10^{23} \text{mol}^{-1}$ と国際的な科学技術データ委員会で決定されています。種々の原子の原子量をこの Avogadro 定数で割れば、原子 1 個の質量が $1.67 \times 10^{-27} \sim 3.98 \times 10^{-25} \text{kg}$ と算出されます。さらに、多くの原子の質量と構成する陽子と中性子と電子の 3 種の粒子の数をもとに連立方程式を解くことなどにより、陽子と中性子と電子数の質量をそれぞれ $1.67262158 \times 10^{-27} \text{kg}$ と $1.67492716 \times 10^{-27} \text{kg}$ と $9.1093897 \times 10^{-31} \text{kg}$ と見積もることができます。

X 線を用いた構造解析法により求めた結晶中の原子同士の間隔から、種々の原子の形が $1.2 \times 10^{-10} \sim 2.2 \times 10^{-10} \text{m}$ と見積もられている van der Waals 半径の球と近似することができます。また、電子を原子に衝突させるときに電子の行路が曲げられる電子散乱の現象を利用しますと、原子の質量数と原子核の半径の間に比例関係が認められ、比例定数 $1.2 \times 10^{-15} \text{m}$ が陽子の半径と中性子の半径の平均値を意味し、陽子と中性子のそれぞれの半径はほぼ等しいと見

積もることができます。この関係式から多くの原子核の形は $1.2 \times 10^{-15} \sim 7.4 \times 10^{-15} \text{m}$ の半径の球と近似することができます。

Bohr が太陽系における太陽と惑星の関係から原子の構造を類推しましたので、原子の中の原子核と電子の関係を太陽系と比較します。太陽の質量は惑星の全質量の 740 倍ですが、惑星の数と同じ電子数を持つ酸素原子で 3680 倍です。同じように太陽系と酸素原子の半径を比較しますと、太陽の影響を強く受ける領域が太陽の半径の 16000 倍に対して、酸素の原子核の影響を強く受ける領域が原子核の半径の 215000 倍と計算できます。この原子の体積比は東京ドームのグラウンドにある直径 5mm の小石の大きさに相当しますから、想像を絶するような原子の横顔が見えてきます。これらの値から、太陽系よりも原子の質量が中心に偏っており、影響する領域の中央集約が若干進んでいることが窺えます。しかも、太陽系はほぼ円盤状の構造をとっていますが原子はみな球状をしていますから、原子の構造は太陽系とはあまり類似していないと思われます。

物質の質感は密度と流動性がその質感を左右すると思われますので、原子の密度と流動性に着目しましょう。密度（比重）は一定体積の物質の質量で g/mL の単位で表されますので、先に掲げた質量と体積から原子や電子の運動している原子の外周部や原子核の密度はそれぞれ $0.3 \sim 15 \text{ g/mL}$ と $10^{-4} \sim 10^{-3} \text{ g/mL}$ と $2.31 \times 10^{14} \text{ g/mL}$ と簡単に算術計算できます。身の回りに存在する岩石やガラスやコンクリートの密度が $2 \sim 3 \text{ g/mL}$ で密度の大きな金や銀や鉛などの金属でも 10 g/mL をわずかに超す程度ですから、原子の密度は身の回りの鉱物とほぼ同じと考えられます。また、原子核を取り巻くように存在する電子は非常に大きな領域を非常に速い速度で運動していると考えられますから、原子の外周部は非常に流動的でその密度は種々の気体の密度 $1 \times 10^{-4} \sim 3 \times 10^{-3} \text{ g/mL}$ に匹敵するものです。これに対して原子核は非常に強い相互作用で陽子と中性子が固く結ばれて固まっており、その密度は極端に大きく身の回りにはこれに匹敵するほど大きな密度の物質は見当たりません。原子は中心に非常に大きな密度の原子核が小さな塊で位置し、その周囲を気体のような質感の電子の運動する外周部が球状に取り巻いていますから、中央集約の度合いは異なりますが大気に包まれた地球のような構造をしていると考えることができます。このように実験から得られた原子に関する種々の値を簡単な算術計算しますと、原子の構造や原子核と電子の関係などが実感を持って見えてきます。

生命の複雑な反応を支える多くの物質

水素とヘリウム以外の全ての元素の最外殻電子の軌道は 4 個で、互いに 3 次元的に等間隔になるような結合角 109.5° の方向に 1~4 個の原子と共有結合します。1 個しか電子の入っていない軌道を 4 個持つ炭素は 4 個の原子と共有結合で結ばれますが、炭素原子が約 10000 個程度鎖状に結合しているポリエチレンのように炭素-炭素結合の連続的に結ばれた物質が非常に安定に存在します。自然界には約 90 種の元素が存在しますが、このように 3~4 本の共有結合を持ちしかも連続的に繰り返し結ばれて安定な物質を与える元素は炭素以外

には見当たりませんから、非常に多く物質は有機化合物と呼ばれる炭素原子を中心にした分子構造を持っています。

プロパン (C_3H_8) にはメチル基の水素原子の他にメチレン基 (CH_2) の水素原子が存在しますから、プロパンの 1 つの水素原子がメチル基で置き換わったブタン (C_4H_{10}) には結合様式の異なる n-ブタンと i-ブタンの 2 種の異性体が考えられます。さらに、2 種のブタンには異なる環境の水素原子がそれぞれ 2 種ずつありますからブタンから導かれるペンタン (C_5H_{12}) には 4 種類の異性体が考えられますが、そのうちの 1 種類は重複しますから実際には 3 種類の異性体が存在します。このように炭素数が増えるごとに環境の異なる水素が多くなりますから、導かれる物質も多くなりますが重複も多くなり、複雑な思考を要します。Lederberg が位相数学を用いて考案した種々の元素組成を持つ同族体の異性体数の計算方法で、 $R-H$ と $R-X$ と R^1-Y-R^2 と $R^1-ZR^2-R^3$ の一般式を持つ炭素数 1~12 の異性体数が報告されています。

種々の代表的な有機化合物の同族体の中でハロアルカン類 ($R-F$, $R-Cl$, $R-Br$, $R-I$) やアルコール類 ($R-OH$) や 1 級アミン類 ($R-NH_2$) やメルカプタン類 ($R-SH$) や飽和アルデヒド類 ($R-CHO$) や飽和カルボン酸類 ($R-CO-OH$) や末端オレフィン類 ($R-CH=CH_2$) や末端アセチレン類 ($R-C\equiv CH$) などが一般式 $R-X$ で表され、エーテル (R^1-O-R^2) や硫化物 (R^1-S-R^2) や 2 級アミン類 (R^1-NH-R^2) やケトン類 (R^1-CO-R^2) やカルボン酸エステル類 ($R^1-CO-O-R^2$) やアミド類 ($R^1-CO-NH-R^2$) などが一般式 (R^1-X-R^2) で表され、3 級アミン類 ($R^1-NR^2-R^3$) が一般式 $R^1-ZR^2-R^3$ で表されます。 $R-H$ と $R-X$ と R^1-Y-R^2 と $R^1-ZR^2-R^3$ の一般式を持つこれら 22 種類の同族体の化合物の総数は炭素原子 4 個では 56 種に過ぎませんが、炭素数が 2 倍の 8 個では約 20 倍の 1147 種まで急激に増加します。多少の誤差を含んでいますが、これらの値を基に 4 つの一般式で表される同族体の異性体数の変化が指数関数の式 5-1 と式 5-2 と式 5-3 と式 5-4 で近似できますから、式の n に炭素数を代入すれば相当する異性体の概数が求められます。これらの近似式は正の指数を持つ指数関数ですから、大きな炭素数を持つときにはその異性体数は飛躍的に大きくなります。さらに、 X や Y や Z に相当する原子団が複数含まれる物質も考えに入れますと、異性体数は無限に大きくなります。

$$y=0.1234 \times 10^{0.2793n} \quad \text{式 5-1} \quad R-H$$

$$y=0.1894 \times 10^{0.3310n} \quad \text{式 5-2} \quad R-X$$

$$y=0.0845 \times 10^{0.3725n} \quad \text{式 5-3} \quad R-Y-R$$

$$y=0.0302 \times 10^{0.3916n} \quad \text{式 5-4} \quad R_3Z$$

生物は非常に複雑な変化をする生命活動を司るために、非常に多くの物質を必要としました。特に生物は液状の水が大量に存在する地球の環境の中で進化発達してきましたから、生物を構成する基本的な物質は水に良く溶ける原料から容易に生成する水に溶け難い物質でなければなりません。しかも、非常に温和な条件で効率よく反応する性質を持つ物質も非常に苛酷な条件でもほとんど反応しない性質を持つ物質も生命活動には必要です。こ

のように非常に限られた特異的な性質を有する物質として、生物は非常に多くの種類の物質の中から蛋白質と脂肪と糖質と DNA を合理的に取捨選択して利用しています。

生物細胞の中では 4500 種以上の物質がそれぞれの働きをして生命活動をしています、そのうちの約 3000 種はタンパク質と考えられています。これらの蛋白質の原料の α -アミノ酸は一つの炭素原子に塩基性を示すアミノ基 ($-\text{NH}_2$) と酸性を示すカルボキシル基 ($-\text{COOH}$) が結合しているために分子内で塩を形成し、非常に高い水溶性を示します。しかもアミノ基とカルボキシル基は反応して安定なアミド結合 ($-\text{CO}-\text{NH}-$) を形成しますからアミノ酸同士は容易に結合しますが、この生成物の両端にはアミノ基とカルボキシル基が常に残りますので、アミド結合の形成が繰り返され多くのアミノ酸の重合した蛋白質を生成します。蛋白質を構成する α -アミノ酸はグリシン (Gly) やアラニン (Ala) などの中性アミノ酸とグルタミン酸 (Glu) などのカルボキシル基を持つ酸性アミノ酸とリジン (Lys) などの塩基性アミノ酸の他に、ヒスチジン (His) やチロシン (Tyr) やシステイン (Cys) などの特殊な原子団を持つ計 20 種類のアミノ酸に限られています。

20 種のアミノ酸が 2 つ結合して出来る可能な生成物は 20×20 種の組み合わせとなり、 n 個のアミノ酸が鎖状に結合するときの組み合わせは 20^n 種となります。 n が大きな数字であればその組み合わせは無量大数をはるかに超えて無限にありますから、アミノ酸はわずかに 20 種類に限られていますが、無限に近い種類の蛋白質の存在が可能になります。実際血液中で活躍するインスリンは n が 51 ですし絹糸の蛋白質は n が 4800 と報告されています。牛肉や豚肉などの動物の筋肉を形作る蛋白質、髪の毛や絹糸などの繊維状の蛋白質、卵や牛乳や消化酵素などの消化吸収を助ける蛋白質では構成する α -アミノ酸の種類と割合と総アミノ酸数 n が違います。このように無限に近い種類の蛋白質のうちで、最適な α -アミノ酸の種類と割合と総アミノ酸数 n で構成される蛋白質が生体内で固有の役目を担っています。

DNA はグアニンとアデニンとチミンとシトシンの 4 種の核酸塩基の結合したデオキシリボースの 3 位と 5 位の水酸基がリン酸エステルを介して次々に $10^2 \sim 10^{12}$ 個ほど長く鎖状に結合した物質で細胞中に必ず 1 個だけ含まれています。この DNA の最先端を占めるデオキシリボースに結合する核酸塩基は 4 種の可能性があります、第 2 番目も 4 種類の可能性を持っていますから、この 2 つのデオキシリボースに核酸塩基の結合した DNA の組み合わせは $16 (4^2)$ 種になります。 n 個のデオキシリボースがリン酸エステルで連結した DNA の並ぶ組み合わせは 4^n 種と考えられますから、DNA で行う情報の記憶方法は 4 進法と考えることができます。最も小さな n が 100 の DNA でも 10^{60} 種以上が可能で、人間の DNA は n が 10^9 を越す極めて大きな値を持っていますから、 $4^{1000000000} (10^{602060000})$ 種以上の固有の DNA が可能になっています。

生物の細胞が分裂して増殖するときには、RNA を介して DNA は同じ核酸塩基の並び方を持つ DNA を常に転写して新しい細胞に用意しますから、1 つの生物個体の中では全ての細胞が全く同じ DNA を 1 個ずつ持つことになります。しかし、雌雄により新しい細胞が形成されるときには、両性の持つ DNA から転写された RNA を介して両性の情報を併せたよ

うな核酸塩基の並び方を持つ DNA が新たに用意されますが、その混ざり方が微妙に異なりますから同じ DNA を持つ細胞は形成してきません。このように両性の DNA から転写された RNA を介して DNA が作られますから、親子や兄弟の DNA の間では核酸塩基の並び方に高い類似性が認められますが、双生児といえども全く同じ核酸塩基の並び方の DNA を持つことはありません。人間は哺乳類から進化してきましたから、結果として人間と他の哺乳類のそれぞれの DNA の核酸塩基の並び方にもかなり多くの共通性がみられます。

DNA は 4 種類の核酸塩基の並ぶ順序により、生物の 38 億年にわたる発生以来の進化の歴史を表現し記録しています。結果として、DNA の核酸塩基の並び方に由来する皮膚や髪や瞳の色、体格、運動能力、知的能力などの身体の特徴が先天的に受け継がれてゆきますし、全ての細胞は DNA が正常に機能しなければ、その生命活動を停止して死滅します。核酸塩基の結合したデオキシリボースがリン酸エステルで連結した DNA の構造やその分子の長さなど種々の値を簡単な算術計算しますと、DNA が持つ桁違いに大きな記憶容量に畏敬の念を抱くばかりです。このように実験から得られた種々の値を簡単な算術計算しますと有機化合物の異性体数や蛋白質の数とその機能や DNA が持つ桁違いに大きな記憶容量など生命活動を維持する複雑な多くの反応を支えている膨大な物質とその背後にある物質の多さに、生命の洗練された機構とその精好さが見えてきます。

物質の安定性が反映する反応の様相

それぞれわびしく暮らしていた A 子さんと B 君が偶然に度々出会ううちに、B 君は A 子さんに惹かれるようになり、B 君の情熱的なエネルギーが A 子さんの心を動かし二人が幸せに結ばれて D 子ちゃんや E 坊が生まれました。この恋愛物語で A 子さんも B 君もわびしい生活をしていたため恋人の欲しい状態にありました。また、A 子さんと B 君が出会い結ばれてゆく場合とは反対に、微妙な関係で結ばれていた A 子さんと B 君の二人の間を引き裂く悲しい別れは出会う機会の多少には無関係にもたらされます。二人の性格のずれや些細な生活習慣の違いから生じる不平や不満が少しずつ積もり積もって精神的に不安定になり、二人を結び付け続けることができなくなるときに A 子さんと B 君の間に悲しい別れが訪れます。万物を構成する物質の変化もこの恋愛物語と極めてよく似ており、出会いの反応と別れの反応の 2 種類の反応が基本となっています。この基本的な 2 種類の反応はいずれも原系となる基質 A が急激に減少し、生成物の基質 D が増加しますが、万物はこれらの出会いの反応と別れの反応の 2 種類の反応が複雑に組み合わさって変化して行くと思われます。

A 子さんが恋人として B 君との付き合いを決心したり、結ばれていた A 子さんと B 君が別れを決心したりするためには、将来の生活の精神的あるいは経済的な安定性を考えなければなりませんし、気持ちの整理をし、家族や周囲のことも考え合わせて種々の障害を乗り越えなければなりません。万物の変化においても同じように、反応の前後のエネルギー的な安定性の違いや、反応の途中で乗り越えなければならないエネルギー的に不安定な障害が反応の経過を大きく左右します。峠を越えて山の向へ行くときに、峠が高ければ容易に山を越

することができませんから、ゆっくりと長時間かけて峠道を登りますが、反応の途中で乗り越えなければならないエネルギー的に不安定な障害が高ければ高いほど、B 君の発揮した情熱的なエネルギーのような大きなエネルギーを必要としますから、反応は遅くなり進行し難くなります。Arrhenius は反応の速さが越えなければならない障害のエネルギー的な高さに指数関数で比例することを見出しました。障害の高さが 1kcal/mol の反応は約 40 秒で完結してしましますが、5 kcal/mol あるいは 10 kcal/mol では反応の完結までにそれぞれ 9 時間あるいは 4 年半を要します。障害が 25kcal/mol よりも大きな反応が地球の誕生した当時に開始したと仮定しますと、未だにその反応は完了せず進行中ですから、実質的にはその反応は進行しないと考えられます。反応の過程で越えなければならない障害が小さければ速やかに反応は終結しますが、わずかに障害が高くなると反応は格段に遅くなります。障害を乗り越えるために要するエネルギーの大きさが反応の進行に顕著に影響を与えます。

山の向こうへ越えて行く峠が低ければ「行きは良い良い」ですが、峠の向こうが深い谷ですと「帰りは怖い」となってしまう、反応は容易に終結してしまいます。山の向こうへも向こうからも容易に越えられる低い峠の場合には、山の向こうと頻繁に行き来します。万物の変化においても同じように、反応の途中で乗り越えなければならないエネルギー的に不安定な障害が低い場合には、反応の前後のエネルギー的な安定性の違いが反応の結果を大きく左右します。反応前の原系から障害を越えて反応後の生成系に変化するとき、障害の高さを指数とする指数関数で反応の速さは決まりますが、逆に生成系から原系への反応も障害の高さを指数とする指数関数で速さが決まります。原系と生成系の間の障害の峠が低く両系のエネルギー的な安定性にあまり差のない時には、原系から生成系への反応と生成系から原系への逆反応の速さの割合で釣合いが取れて平衡状態に達します。平衡状態における原系と生成系の割合は両方向の反応の速さの比になり、原系と生成系の安定性の差を指数とする指数関数で表されます。両系の安定性に差のない時には両系が 50:50 の平衡状態になりますが、1kcal/mol の差があると 15:85 の割合で安定な方が多くなります。また、2kcal/mol の差があると 97:3 まで平衡は偏り、生成系の方がわずかに 3kcal/mol 安定な場合には平衡は 99.4:0.6 まで偏り反応が完結してしまいます。原系と生成系の間の障害の峠が低く生成系の方が非常に安定な場合には、原系から完全に生成系に変化してしまいますから、逆反応が認められずあたかも単純な出会いあるいは別れの反応が進行したように見えます。反対に原系の方が非常に安定な場合には、逆反応が格段に速くなり実質的に反応が進行しないように見えます。

万物を構成する物質の反応は基本的には出会いと別れの 2 種類の反応しかありませんが、それらの反応の組み合わせによる競争反応や触媒反応や連鎖反応や平衡反応や多段階反応などにより万物は複雑に変化していきます。全宇宙が熱力学の 3 法則に支配されていると考えられますから、これらの反応はエネルギー的に安定な方向に進行します。しかも障害の高さを指数とする指数関数で反応の速さが決まりますから、反応に関与する物質のエネルギー的な安定性の大小により反応の速さが大きく影響され、種々の反応の様相が微妙に変化し、

万物の変化をますます複雑な物にしています。エネルギーの大小で微妙に影響される万物の変化に、このように物質の安定性に関する実験から得られた値を簡単な算術計算しますと、物質の変化の結果やその過程が見え、それらの性質の複雑な変化も連動して見えてきますから温度計や色信号や温度計などにまで応用できます。

中国哲学で予想した宇宙の限界

非常に大きな数や小さな数を表すために便利な指数関数は西欧で用いられてきた数の単位が発展したものです。西欧では **ten**、**hundred**、**thousand** と 1000 まで単位があり、10000 は 1000 の 10 倍で **ten thousand** と繰り返しになります。1000 の 1000 倍は **Million** ($1000^2=10^6$) という単位で表していますが、この **Million** は、ラテン語で 1000 を意味する「**mille**」の末尾が「**one**」と語形変化した「**millione**」が語源とされていたようで 1000 の 1000 倍と考えられていたのではないのでしょうか。その **Million** の 1000 倍は 1000 を 2 回 1000 倍するという意味でラテン語の 2 を意味する **Bi** を付けた **Billion** ($1000^3=10^9$) という単位で表しています。大きな数はその 1000 倍、そのまた 1000 倍というように掛け算の繰り返し回数がラテン語の 3 回、4 回、5 回…を意味する **Tri**、**Quadri**、**Quinti**…を付けた **Trillion** ($1000^4=10^{12}$)、**Quadrillion** ($1000^5=10^{15}$)、**Quintillion** ($1000^6=10^{18}$) の単位で、繰り返し回数を **n** とする一般式 1000^{n+1} のような指数関数で表されますから、**n** が大きくなるにつれて数字が無限に考えられます。

この西欧の数の単位とは異なり、途轍もなく大きな数字に対して中国ではかなり異なる考え方を持っているようです。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、100000 は 10000 の 10 倍で十万と繰り返しになります。万の 10000 倍を億に、億の 10000 倍を兆というように 10000 倍ごとに個々の単位が作られています。この様式では 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、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作られ、 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、これより大きな数の単位は用意されていないようです。

この中国の数の単位を用いますと **Avogadro** 定数 $6.02 \times 10^{23} \text{mol}^{-1}$ は六千二十垓(がい) mol^{-1} と表されます。**Cameron** が見積もった太陽系に存在する元素は水素とヘリウムで合わせて 99%以上に達し、それ以外の 90 種類の元素は合計 1%にも届きません。この元素の割合に原子量を掛け合わせますと、太陽系の全ての原子の平均原子量を 1.26 と算術計算により求められますから、太陽と太陽系の惑星の全質量をこの平均原子量で割りますと太陽系を構成する全原子のモル数が求められ、これに **Avogadro** 定数をかけ合わせれば太陽系の全原子数が算出されます。現在までに存在の確認されている太陽のような恒星数 2×10^{11} 個をこの太陽系の全原子数に掛け合わせますと、人間が確認できる全宇宙の全原子数が 2×10^{68} 個と概算されます。

現代の自然科学では最小単位とも思える原子が種々様々に集合してできた物質で我々を取り巻く全宇宙は構成されていると考えられていますが、地球で確認しうる全宇宙に存在している全原子数が 2×10^{68} 個と概算できますから、中国の数の様式では二無量大数個と表現できます。認識できる限りの宇宙を構成する物質を最小単位の原子で見た時の数より大きな数は現実的にも哲学的にも意味のないものと仏教哲学では考えられたようで、中国では無量大数より大きな単位が用意されていません。西欧の思想では数は無限と思われませんが古代中国の思想では有限のようで、その外にあるものは意味を持たないようです。このように実験から得られた種々の値を簡単な算術計算しますと、西欧と中国の文明の基本となる哲学の違いまで見えてきます。

賢い人々は言葉で表された万物の世界を簡単に理解できるようですが、想像力の乏しい著者にとってはとても具体的な万物の世界の姿を描くことはできませんでした。そこで実験から得られた物質の本質にかかわる種々の値を簡単な算術で計算して、得られた結果を解釈して万物の世界の不思議や脅威や隠れた姿を思い浮かべました。本書では実験で得られている種々の値を集めて独善的に算術計算し、数字の比較から万物の世界の隠れた姿を表してみました。計算に当たっては極めて根拠の薄い実験値や誤差を無視した計算結果の解釈なども多く含まれていますが、万物の世界の現象を具体的に概観する助けにはなると考えました。この大雑把な計算結果の中で、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おります。また逆に、化学的な技術や知識で蓄積された実験値のうちの未だ考慮に入れていない多くの値を加えた算術計算が他の現象を概観する切っ掛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。本書が万物の世界の隠れた姿を具体的に概観し理解を深める上で貢献できればよいと思っています。

索引

あ	
RNA.....	61, 62, 100
IUPAC.....	50
Einstein.....	25, 28
アクチノイド金属元素	26
アデニン	57, 60, 61, 100
アニリン	59, 60
Avogadro.....	20
Avogadro 定数.....	21, 35, 38, 97, 103
アミド結合.....	55, 56, 100
アミノ基.....	44, 45, 53, 59, 60, 61, 88, 94, 100
アミノ酸.....	44, 47, 52, 53, 54, 55, 56, 62, 100
アミン	50
アラニン	56
アルカリ金属	32, 33
アルコール.....	48, 50
α 壊変	16, 65, 69
Arrhenius.....	79, 102
い	
イオン.....	14, 16, 32, 33, 34, 35, 55, 67, 86, 87, 95, 97
イオン化ポテンシャル.....	33, 34
異性体	42, 43, 44, 46, 47, 99, 101
イソロイシン	53
イミダゾール	59
イミン	94
陰イオン	33, 34
う	
宇宙線	83
ウラシル	60
え	
英数字	50

エステル.....	50
エタノール	50
X 線	17
X 線構造解析法	17, 21, 56
エナミン	94
エネルギー不滅.....	77
エノール.....	94
塩基性	53, 54, 58, 59, 62, 86, 87, 93, 100
円周率	7, 8, 9, 10
炎色反応.....	30
エンタルピー	77, 78, 89, 90, 91
エントロピー	77, 78, 89, 90, 91
お	
王水	23
黄銅	14
重さ	11, 12, 13, 20, 24, 51, 95
オレイン酸	51
か	
外殻電子.....	26, 33, 34, 40, 98
蚕 55	
壊変反応.....	67
界面活性剤	55
解離	86, 87, 88, 92, 93
解離定数.....	86, 92
化学時計.....	83, 84
化学発光.....	75, 76
可逆反応.....	80, 85, 88, 95
拡散	71, 72, 73, 77, 90
核酸塩基.....	57, 60, 61, 62, 100, 101
拡散係数.....	73
拡散律速.....	74
核分裂	16, 65, 69, 70
核分裂反応生成物	70, 71, 72

花崗岩	22, 67, 68, 82
華氏	12
可視光線	30, 31, 76
カゼイン	55
活性化エネルギー	79, 89
活性化エンタルピー	79, 80
活性化エントロピー	79
活性化自由エネルギー ...	15, 16, 78, 79, 80, 89, 95
カリウム	22, 30, 67, 68, 69, 82, 84
カルボン酸	44, 48, 50, 51, 53, 55, 99
還元	34, 35
干渉	17
環状	43, 47, 57
緩衝溶液	92, 93
感度	38
官能基	49, 50
γ 壊変	16, 65, 69, 82
き	
記憶容量	8, 58, 62, 101
希ガス元素	26, 33, 34
気体	79
気体定数	20, 79
気体の体積	20, 22, 97
基底状態	40, 76
Gibbs	77
キモトリプシン	55, 56
Cameron	35, 103
吸光係数	31
吸光度	31
吸収	29, 31
吸熱反応	78, 79
競争反応	80, 95, 102
共鳴安定化	59
共鳴エネルギー	58
共役塩基	86

共有結合	40, 41, 42, 43, 94, 98
キログラム原器	23
金属錯体	94

く

グアニン	57, 60, 61, 100
Coulomb	25
クーロン力	40
クーロン力	32
籤5	
くの字型	90
グリシン	53, 56, 100
グルタミン酸 (Glu)	53, 55, 100

け

蛍光	29, 88
計算尺	6, 9
Gay-Lussac	20, 97
結合エネルギー	42, 90
結合角	40, 98
結合距離	18
ケトン	45, 47, 94, 99
原子	20, 35
原子核15, 16, 18, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 28, 29, 31, 32, 34, 35, 40, 43, 65, 66, 67, 68, 69, 82, 83, 98	
原子核の体積	23
原子核の半径	18, 21, 97, 98
原子間距離	17
原子吸光分析法	31
原子の体積	22, 24, 25
原子爆弾	70, 71
原子模型	25, 26
原子量	20, 35, 97, 103
原子力発電	70, 71, 72
元素	38
元素記号	15, 26, 53

こ

酵素.....	55, 56, 100
構造解析法.....	97
光速.....	28
五行思想	13
虚空.....	39
古典力学	25
互変異性	94
暦81	

さ

サーモクロミズム.....	95
最小単位	36, 104
竿秤.....	11
酢酸.....	48, 86
鎖状. 42, 43, 47, 48, 52, 54, 55, 56, 57, 58, 60, 61, 62, 98, 100	
酸化.....	20, 23, 34, 35, 55, 56, 88, 91
三行思想	15, 17, 35, 97
3 重結合	40
酸性.....	58, 85, 86
酸性の強さ	86, 93
酸素原子	90

し

ジエチルエチレンジアミン銅錯体.....	94
Djerassi	43
ジオキセタン環.....	75, 76
ジオキセタンジオン	75
紫外線	29, 30, 31
時間. 4, 6, 8, 12, 13, 52, 63, 64, 66, 67, 72, 73, 74, 76, 79, 81, 82, 84, 95, 102	
σ 結合	40, 42, 58
脂質.....	52, 55
質量. 11, 12, 15, 16, 18, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 28, 31, 35, 65, 68, 69, 82, 83, 97, 98, 103	

質量数	15, 16, 21, 68, 82
シトシン	57, 61, 100
脂肪酸	48, 51
尺貫法	12
Charles	20, 97
自由エネルギー	77, 78, 89
自由エネルギー差	89, 95
周期表	26, 27, 35
重水素	83
重力	11, 20
重力加速度	11
十進法	5, 6, 9
主量子数 25, 26, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 40	
Schrödinger	25
状態方程式.....	20, 97
触媒.....	60
触媒反応.....	80, 95, 102
真鍮.....	14
新陳代謝.....	83
振動数	28

す

水酸基	50, 59
水素イオン濃度.....	86, 88, 92, 93
水素結合.....	58, 59, 60, 61, 90, 91, 92
水素原子.....	15, 18, 90
水素放電管	29
水素陽イオン	86
ステアリン酸	51
スペクトル	29, 30
スポーツ振興くじ	5, 9

せ

正 4 面体.....	40
正四面体.....	43
正四面体配位	94

静電的斥力.....	15, 65
静電的な引力	90
精度.....	38
摂氏.....	13
セリシン	55
セリン	55, 56
遷移金属	26
遷移金属元素	26
遷移状態	78, 80, 88
全原子数	36, 104

そ

層状.....	17, 26, 28, 31
相転移	95
算盤.....	6, 9

た

太閤検地	12
体積9, 11, 12, 13, 18, 20, 21, 22, 24, 35, 63, 97, 98	
台秤.....	11
太陽系	24, 25, 26, 35, 98, 103
多重結合	58, 59
多段階反応.....	66, 67, 73, 74, 80, 95, 102
炭化水素	49, 50, 90
単結合	40, 42
炭水化物	52
炭素＝炭素 2 重結合	42
炭素鎖	47
炭素－炭素単結合	42
蛋白質 ... 47, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 62, 84, 100, 101	

ち

逐次反応	73, 74, 78
窒素.....	58, 59, 60
チミン	57, 60, 61, 100

中性子14, 15, 16, 25, 26, 28, 31, 35, 65, 66, 69, 70, 83, 97	
中性子星.....	24
超ウラン元素	23

て

出会いの反応63, 64, 65, 69, 70, 73, 74, 76, 78, 80, 82, 84, 86, 95, 101, 102	
DNA.....	54, 57, 58, 60, 61, 62, 100, 101
定比例の法則	20
定量分析.....	12
デオキシリボース 57, 58, 60, 62, 100, 101	
デオキシリボヌクレオシド.....	57, 58
梃子の原理	11
テトラポット	43
電荷	90, 92
電荷の偏り	90
電気伝導度	86
典型金属.....	26
電子 . 14, 15, 16, 25, 26, 28, 31, 35, 58, 59, 65, 83, 90, 97	
電子計算機	6, 7, 8, 9, 57, 58, 62
電子散乱.....	18, 97
電子親和力	33, 34
電磁波	16, 17, 65, 83
天然繊維.....	56
天秤	11

と

同位元素 15, 16, 18, 20, 66, 68, 70, 82, 83, 84, 97	
糖類.....	48
Thomson.....	24
度量衡	12

な

内部被爆.....	71, 72
-----------	--------

長さ.....	7, 9, 11, 12, 13, 17, 56
ナトリウムランプ.....	29
Napoléon.....	12

に

2 重結合.....	40, 42
2 進法.....	6, 57
二進法.....	7
ニホニウム.....	16
乳化.....	55
Newton.....	11, 25

ね

ネオンサイン.....	29
熱力学の 3 法則.....	77, 79, 95, 102
涅槃寂静.....	38, 39
年代測定.....	84
粘度.....	73, 76

の

Neumann.....	8
濃度.....	63, 64, 65, 74, 85

は

配位結合.....	40
π 結合.....	41, 42, 58
波長.....	16, 65
発光.....	29, 30, 31
発熱反応.....	78
パパイーン.....	55, 56
バリウム.....	53
Balmer.....	29
ハロゲン元素.....	34
半減期.....	16, 66, 67, 68, 70, 71, 72, 82, 83, 84
反応座標.....	80
反応速度定数.....	63, 64, 66, 79, 80, 82, 85, 89
万有引力.....	11, 24, 25

ひ

pH.....	86
pKa.....	59, 86
比較法.....	12
非金属元素.....	26
比重.....	86
歪み.....	75
$\Pi \cup \theta \alpha \gamma \delta \rho \alpha \varsigma$	7
Vickers.....	23
日時計.....	81
Billion.....	36, 37, 103
ピリジン.....	58, 59
ピリミジン.....	59
ピロール.....	59
頻度因子.....	79, 89

ふ

van der Waals 力.....	58, 90
Van der Waals.....	18
van der Waals 半径.....	18, 22, 97
フィブロイン.....	55, 56
フェノール.....	59, 60
フェノールフタレイン.....	87, 88, 93
フォトン.....	28
不可思議.....	36, 37, 103
Plank.....	25, 28
Brinell.....	23
プリン環.....	59, 60
Proust.....	20
フルオレッセイン.....	88
Brønsted.....	86
分光.....	30
分子.....	14, 77, 83
分子間力.....	58, 90, 92
分子量.....	20, 21, 22, 38, 47, 48, 52, 53, 56, 73, 74, 86, 97

分銅.....11

へ

平均原子量.....35, 103

平衡状態 20, 83, 85, 89, 92, 94, 95, 102

平衡定数85, 89

平衡反応 60, 73, 84, 86, 89, 94, 95, 102

平面 4 配位.....94

平面構造58, 59

β 壊変 16, 65, 66, 68, 69, 70, 82, 83

ペプチド結合53, 55

ベンゼン58, 59

ベンゼン環.....58, 59

ほ

Bohr.....24, 25, 26, 98

Boyle.....20, 97

芳香族58, 59, 60, 61

芳香族化合物76

芳香族複素環化合物59

放射線24, 65, 70

放射線許容量72

放射能16, 65, 68, 71, 72, 83

放射能の強さ67, 68, 82

宝飾品23

飽和脂肪酸.....48

補色.....31

ポリペプチド53

み

味覚.....85

水のイオン積86

密度..... 21, 22, 23, 24, 26, 35, 98

Million.....36, 37, 103

む

無名数36, 38

無量大数36, 37, 103

め

命名法 50, 51

メートル原器 23

メートル法 12, 36, 37, 39

メタン 43

面積 8, 9, 11, 12, 13, 73

Менделеев 26

Mjendjeljejev 35

も

物差し 12

モル 20, 97

ゆ

有効桁数..... 8, 9, 10

誘電率 25

誘導期 74

油脂 92

よ

陽イオン 32, 33, 34, 86

溶液 90

溶解度 90, 91

陽子 32, 33, 34

陽子 . 14, 15, 16, 25, 26, 28, 31, 35, 65, 69,
83, 97

陽子数 26

溶質 90, 91

陽子の半径 18, 21, 97

溶媒 90, 91

四行思想..... 14, 16

4 進法 57, 58, 100

四大元素説 14

ら

Leibniz..... 7

Laue..... 17

酪酸.....	48
Rutherford	24
ランタニド金属元素	26

り

Lyman	29
理想気体	20
律速段階	74, 78
律速段階	66, 67
リボース	57, 60, 61, 62, 100
リボヌクレオシド.....	57, 58, 61
Rydberg.....	28
量子力学	25, 26, 28
リン酸エステル.....	57, 58, 60, 61, 62, 100, 101

る

Lewis	24
-------------	----

れ

励起状態.....	76
Lederberg	43, 99
錬金術	14, 46
連鎖反応.....	80, 95, 102

ろ

ロイシン	53
ローダミン	75, 76, 88
Loschmidt.....	20

わ

別れの反応 ..	63, 64, 65, 66, 67, 73, 74, 78, 80, 82, 84, 95, 101, 102
惑星	24, 25, 26, 98, 103