

『原点からの化学』まえがき

学校で学ぶいろいろな科目について“わかる”というのはどのような状態をさすのでしょうか。ある人が“わかった”と言い、別の人が“わからない”と言ったとしても、本当は後者の人のほうがよくわかっていることがあります。ですから、やはり、何らかのテストをして、わかりぐあいをはかることになります。結局、“わかる＝問題が解ける”と一般にはなっています。そこで、“わかっている”人を選別したい入試では、わかっているかどうかを知るために、さまざまな問題がつくられます。そして、化学の場合、物質を対象とする学問ですから、問題の中にいろいろな物質が登場します。そこで、要領よく化学の点数を上げるためには、よく入試に出る物質や反応などについて覚えればよいという考え方が発生し、「入試に出る頻度順情報の覚え方」を基本に授業が展開されることもしばしばあります。

しかし、教育の目的が「真実を見る目、感動する豊かな心、そして生き抜く力を育てていくこと」にあるという教育の原点から考えて、また、化学のみずみずしい本来にすばらしい世界を伝えているかどうかという点から考えて、さらに、化学がわかるということは点数がよいということとは必ずしも一致しない（大学の化学の先生で自分の大学入試問題で満点をとれる人はまれであると断言できます!!）という点から考えても、このような授業が、本来の化学教育からはずれていることは間違いありません。

私は、予備校という、極端に言えば「点数を上げる方法をさっさと教え!!」という鋭い視線の集まる場で、「どうすれば化学の明らかにした物質の感動的な姿を伝えることと、点数を上げることが矛盾なくつながって展開できるか」について悩み、工夫をこらしながら、教壇に立ってきました。そして、その過程で、『新理系の化学』（駿台文庫）という参考書を出しました。ただ、その本に対し、「よくわかった」という反響とともに、「ついていけない」という反響がつねに返ってきました。そのとき、では、どこから話せばわかってくれるようになるのかと、次々とより基礎的な事項にさかのぼっていくと、中学の理科での化学にまでたどりつくこともしばしばありました。もちろん、もっと高いレベルのある点からわからなくなっている人もいました。そんなことから、化学のさまざまな分野について、できるだけ原点から説明していく、もう少しきめの細かい参考書も必要なのではないかと思うようになりました。そこで、『原点からの化学』シリーズを刊行する決意をしたわけです。どこまで内容を豊かにできるか、シリーズがいつ完結するのかなどは筆者にもいまのところ予想がつきません。ただ、化学を学ぶ生徒にとって、また教えておられる先生方にとって、少しでも意味のあるものにするため力を尽くしたいと決意しています。

1991 年 春 石川 正明

「化学の計算」の序

いろいろな化学の問題の中で、正答率がガクッと悪くなるのはたいてい計算に関するものです。与えられた数値 ($a \sim n$) から答えに至るには、まずこれら数値に関係する因子 ($A \sim N$) の間にある、たとえば、 $A=B+C$, $C=D \times E$, ……のような関係が見えなくてはなりません。その関係がわかった上で、さらに具体的な数値計算を誤りなく実行しなくてはならないのですから、正答率が悪くなるのはある程度やむを得ないことかもしれません。

ただ、解けない原因を調べてみると、化学現象についての諸関係がイメージ豊かに、かつスキッと理解されていないためであることが圧倒的に多いようです。

このようなことから、私は、化学の計算についても、「とにかく解ければよい」とか、「スピードが速ければよい」という考え方でなく、あくまで、「**化学の諸現象が根底から見える。だから、最も simple で、かつ応用もきき、それゆえにスピードも速い**」という解法が必ずあるはずであるという考え方から、その解法を探究し、予備校の授業でいろいろ工夫してきました。また、夏期には、計算問題に関する講座を開き、その解法を普段の授業では教えていない高卒生や高3生にも示し反響を見てきました。初めて私の解法を知った生徒の場合、解法が高校の授業や多くの参考書とちがうこともあって、最初はためらうことも多々あるようです。しかし、最後には、たいてい私の示す首尾一貫した解法の合理性を理解し、その解法を吸収してくれているようです。

本書の目的は、このような私の体験から得た確信をもとに、化学計算で真に必要なことは何かを徹底的に明らかにすることにあります。そのため、問題文、問題数は必要不可欠なものにしぼり、それに詳しい原理的な説明を与えることにしました。「エッ... こんな少ない問題数でいいの?」と感じる人もいるでしょう。確かに、最近の入試問題の中には、問題の説明文が長く一見すると状況設定が複雑で手がつけられないと思ってしまうような問題もかなりあります。しかし、本書の問題とその解説の内容をしっかりとみなさんのものにすれば、そんな複雑そうな問題も、simple に解くことができるようになるでしょう。本書を何度も何度も読み返し、常に解法の原点にもどって解くようにして下さい。そうすれば、化学計算に絶対的な自信がもてるようになるでしょう。なお、新課程で熱化学での計算がエンタルピーを使った計算に変更されました。今回の本書の改訂では、エンタルピー計算の合理的で simple な解法を示しています。

本書の考え方と同じ方針で作られたテキストで行われる予備校での講習会が始まって以来約40年がたちます。今では、毎年全国で約数千人の受験生がその講習会を受講しています。もちろんそのほとんどの講座では私以外の先生方が教壇に立っておられますが、これだけ長きに渡り多くの受講生がいるということは、本書の解法や考え方が合理性のあるものだったことを実証しているのではないのでしょうか。確信をもって本書に取りくんで下さい。

本書がみなさんの学力向上に役に立つことを切に願っています。

2025年 初夏 石川 正明

目次

第1章 化学計算の基礎 7

① 単 位	7
① 単位と演算との関係／1	
② 計算に必要な式とは何か／3	
③ 定義量1—絶対量／5	
(1) 質 量／5	
(2) 広がり／5	
(3) 粒子の数／6	
(4) 時 間／7	
(5) エネルギー／7	
④ 定義量2—単位あたり量／8	
(1) 圧 力／8	
(2) 温 度／8	
(3) 原子量／9	
(4) 濃 度／11	
(5) 密 度／12	
(6) 速 度／14	
(7) 定 数／14	
② モ ル	16
① 原子量の基準の定め方とモル／16	
② 物質質量 (mol) の出し方／18	
③ 濃 度	20

第2章 構造に関する計算 25

① 原子の構造	25
② 同位体	28
③ 単位格子	31
① 単位格子とは／31	
② 結晶構造の見方／33	
(1) 最密構造を知る／33	
(2) 配位数から考える／35	
(3) 1つのイオンの配置とその穴に注目する／37	

第3章 反応での物質の変化量計算 41

1	変化量計算の基本	41
2	化合物内での元素の質量関係	47
3	中和反応	50
	1 酸化物の酸塩基性 / 50	
	2 酸・塩基の強弱と中和の完了点 / 52	
	3 滴定での中和点の判定方法 / 54	
	4 逆滴定 / 56	
4	酸化還元反応	60
	1 酸化数 / 63	
	2 反応式の組み立て方 / 68	
	3 滴 定 / 75	
5	電気化学	80
	1 電気量 / 81	
	2 電極反応式 / 83	
	(1) 電 池 / 83	
	(2) 電気分解 / 88	
	3 変化量計算 / 93	
6	有機化学	96
	1 組成式の決定 / 96	
	2 分子式の決定 / 100	
	3 可能な構造の列挙 / 103	
	(1) 結合形態の場合分け / 103	
	(2) 結合順序の場合分け / 106	
	(3) 空間配向の違い / 113	
	4 有機物質の反応 / 117	
7	気体	120
	1 気体の量を何で与えるか / 120	
	2 気体法則の使い方 / 122	
	3 混合気体の分離 / 127	
	4 状態変化 / 134	

第4章 反応の理論における計算 141

① 熱化学	142
① エンタルピー / 142	
② ヘスの法則を使った計算 / 148	
③ 混合気体の燃焼で発生する熱量を求める計算 / 156	
④ 反応後の温度を求める計算 / 156	
② 速度	158
① 速度の定義式を使った計算 / 158	
② 速度を支配因子で表した式を使った計算 / 160	
③ 平衡定数	164
① 平衡定数計算の基本 / 164	
② 気体平衡 / 167	
③ 酸・塩基の電離平衡 / 170	
(1) 水のみの $[\text{H}_3\text{O}^+]$ / 171	
(2) 酸 HA_{aq} の $[\text{H}_3\text{O}^+]$ / 172	
(3) $\text{HX}_{\text{aq}} + \text{HY}_{\text{aq}}$ の $[\text{H}_3\text{O}^+]$ / 176	
(4) 酸 aq + 塩基 aq の $[\text{H}_3\text{O}^+]$, $[\text{OH}^-]$ / 178	

第5章 二相間平衡 183

① 溶質の平衡	184
① 固相—液相間 (固体の溶解平衡) / 184	
② 液相—液相間 (分配平衡) / 193	
③ 気相—液相間 (気体の溶解平衡) / 195	
② 溶媒の平衡	205
① 純溶媒 / 205	
(1) 圧力一定 (P_0) で, 温度を下げていく場合 / 207	
(2) 温度一定 (T_0) で, 圧力を上げていく場合 / 208	
(3) 体積一定 (V_0) で, 温度を下げていく場合 / 209	
(4) 液化しにくい物質が物質 X と共存している場合 / 209	
② 溶 液 / 215	
(1) 凝固点降下 / 217	
(2) 沸点上昇 / 217	
(3) 蒸気圧降下 / 217	
(4) 浸透圧 / 217	

問題の目次 232

* のついている問題はやや難しい問題です。

高校化学教科書目次

本書は、高校化学で登場する計算問題を、その理論的な基礎から考えて章立てしました。本書を利用するとき、教科書に対応する箇所が見つげにくい可能性があります。そこで、高校化学の教科書の章立ての順による目次を次に示します。

第1章 物質の構成

0. 原子量とモル…化学基礎

- ① 原子量基準／9, 16 ② モルの算出／6, 18

1. 原子…化学基礎

- ① 構成粒子／25 ② 電子配置／27 ③ 同位体／28

2. 結晶…化学基礎, 化学

- ① 単位格子／31

第2章 物質の状態

1. 物質の三態…化学基礎, 化学

- ① 状態変化／205 ② 蒸気圧／134, 205, 210

2. 気体法則…化学

- ① 気体の量／120 ② 気体法則の使い方／122
③ 混合気体の分離／127

3. 溶液…化学基礎, 化学

- ① 濃度／11, 20 ② 塩の溶解度／184
③ 気体の溶解度（ヘンリーの法則）／195 ④ 希薄溶液の性質／215

第3章 物質の変化

1. 熱化学…化学

- ① エンタルピー／142 ② ヘスの法則／148
③ 混合気体の燃焼で発生する熱量／156 ④ 反応後の温度／156

2. 速度…化学

- ① 速度の定義／158 ② 速度を支配する因子／160

3. 平衡…化学

- ① 平衡定数／164 ② 気体平衡／167 ③ 酸, 塩基平衡／170

4. 酸と塩基の反応…化学基礎, 化学

- ① 滴定／50 ② $[H^+]$ の決定／170

5. 酸化還元反応…化学基礎

- ① 酸化数／60, 63 ② 反応式／68 ③ 滴定／75

6. 電池と電気分解…化学基礎, 化学

- ① 電気量／80 ② 反応式／83 ③ 変化量／93

第4章 物質の性質（Ⅰ）…無機化学…化学

第5章 物質の性質（Ⅱ）…有機化学…化学

- ① 組成式の決定／96 ② 分子式の決定／100 ③ 異性体／103
④ 有機反応／117

第 1 章

化学計算の基礎

① 単 位	1
② モ ル	16
③ 濃 度	20

1

単 位

自然科学で使われる量はすべて具体的な量，つまり単位をもった量です。これらの量の間で演算をするので，与えられた量の単位をはっきりさせることがすべてに優先して重要です。

① 単位と演算との関係

2つの物質 A, B の量が次のとおりであったとします。

	A	B
質 量	8g	15g
体 積	2L	3L
密 度	$\frac{8}{2} = 4(\text{g/L})$	$\frac{15}{3} = 5(\text{g/L})$

この表にある 2, 3, 4, 5, 8, 15 という数字でどんな演算ができるのでしょうか。

数学的にはこれらの数字を使っていろいろな計算ができます。

単位と+ - ▶

$$8 + 15 = 23, \quad 8 + 4 = 12$$

ところが、これらが物質の具体的な量の値であるという
現実に戻って考えると，例えば $8\text{g} + 15\text{g} = 23\text{g}$ という演
 算に意味はありますが， $8\text{g} + 4\text{g/L}$ の演算はまったく意
 味のないものであることがわかります．つまり，単位を意
 識することによって，

2つの量の間で和や差の演算ができるかどうか

が判断できます．

では，同じ単位なら，異なる物質どうしで和や差の演算
 をしてもよいのでしょうか．

$$\textcircled{1} \quad \begin{array}{ccc} 8 & + & 15 \\ g(A) & g(B) & g(A+B) \end{array} = 23$$

$$\textcircled{2} \quad \begin{array}{ccc} 2 & + & 3 \\ L(A) & L(B) & L(A+B) \end{array} = 5$$

この例では，一般には①は許されますが，②は許されま
 せん．なぜなら，物質の混合の際，質量は保存されますが，
体積は保存されないからです．このように，同じ単位の量
 であっても，それらの和や差に意味があるのは

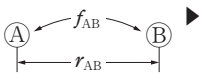
保存則（加成性）が成り立つときだけです．

単位と×÷▶

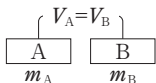
異なる物質どうしのかけ算やわり算も一般には意味があ
 りません．例えば次のような計算は無意味です．

$$\begin{array}{ccc} 8 \div 3 & 8 \div 15 & 8 \times 15 \\ g(A) \quad L(B) & g(A) \quad g(B) & g(A) \quad g(B) \end{array}$$

しかし，A と B の間にある関係が生じているときは意
味のあるものとなります．例えば



▶ A, B 間の 万有引力 $f_{AB} = G \cdot \frac{8 \times 15}{r_{AB}^2}$ $\left(\begin{array}{l} A \text{ と } B \text{ は間に万有引力が働いてい} \\ \text{るという点で関係が生じています} \end{array} \right)$



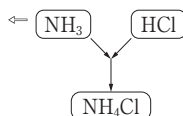
▶ A, B 間の 比 重 $= \frac{4}{5} \left(\frac{g(A)}{g(B)} \right)$ $\left(\begin{array}{l} A \text{ と } B \text{ の体積が} \\ \text{等しい条件下で} \\ \text{考えています} \end{array} \right)$ $V_A = V_B$

このように，2つの物質の間に何らかの（関数）関係が生
 じているときのみ，それらの量の間で積や商の演算ができ
 るのです．

ところで、物理学で行う計算ではたいてい、A と B がどのような物質でできているかは問題にならず、

「物体 A と物体 B が衝突するとき…」

のような問題文になります。ところが化学では、物質 A と物質 B が衝突したときに起こる物質の変化が大きな問題となります。例えば、 $(A, B) = (\text{NH}_3, \text{HCl})$ と $(A, B) = (\text{NH}_3, \text{N}_2)$ では、衝突すると、後者ではただはね返るだけです。前者では NH_4Cl というまったく別の物質に変化します。つまり化学では、物体ではなく物質間の関係を問題にしている過程での量計算をするわけですから、質量は質量でもどの物質のそれかをはっきりさせないと正しく計算できないわけです。そこで、これからは必要に応じて A の g は g (A) のように単位のうしろに (A) をつけてこれらを明示します。



まとめ

- 1 すべての量には単位がある。これを明確にする。
- 2 同じ単位の量で、かつ加成性があるときのみ、2つの量の間で和や差がとれる。
- 3 2つの物質の間に関係が生じたときのみ、それらの量の間での積や商に意味がある。
- 4 単位を表記するとき、物質も明示する。

2) 計算に必要な式とは何か

- (1) 「A は 10g あります。さて、A は何 g あるでしょうか」
- (2) 「B は 10g あります。さて、A は何 g あるでしょうか」
- (3) 「B は 10g です。A と B は… の点で関係があります。さて、A は何 g でしょうか」

問いの成立条件▶ (1)のように、与えた量そのものを問うことは、暗記力を問うときは別として、あり得ません。

(2)も問いにはなりません。AとBは別の物質であり、それらの量は互いに任意の値をとり得るからです。

問題として成り立つのは(3)のような場合です。つまり与えられた量と求める量の間にある関係が存在するときです。ですから、この関係式がわからないと問題は絶対に解けません。

解くのに必要な2つの▶
関係式

その関係式は、大きく分けると次の2つになります。

- ① **定義式**
- ② **ある現象に伴う諸量間の関係式**

「スクロース（シヨ糖）0.01 molを水に溶かして100 mLにしたときの（体積）モル濃度はいくらか」は①の関係式を使う問いです。

$$(\text{体積})\text{モル濃度} = \frac{\text{溶質の物質質量}(\text{mol})}{\text{溶液の体積}(\text{L})}$$

と定義されていますから、この定義式にもとづいて

$$(\text{体積})\text{モル濃度} = \frac{\text{mol(スクロース)} \quad \begin{array}{c} 0.01 \\ \hline 0.1 \end{array}}{\text{L(全)}} = 0.1 \left(\frac{\text{mol}}{\text{L}} \right)$$

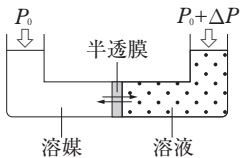
と求めることができます。ところが、

「この溶液の浸透圧はいくらか」

の問いには②の関係式を必要とします。ここでは浸透圧現象では、（体積）モル濃度と浸透圧の間に

$$\text{浸透圧} = RT \times (\text{体積})\text{モル濃度}$$

という関係があることを知らなくてはなりません。この式は溶質の物質質量(mol)が浸透圧の原因であるという認識を表したものであり、定義式ではありません。②の関係式は、人類が長い時間をかけて自然の姿をとらえてきたなかで見出してきたものであり、式の示す意味をいろいろな角度から学ぶことが大切です。これらの式については後で個別に取り上げてみます。ところで、②の関係式を使うにしても、



半透膜を隔てた溶媒の浸透平衡を実現するには溶液側に余分の圧力(ΔP)を加える必要があります。このΔPを浸透圧といいます。

定義式や定義される量があやふやではどうしようもありません。そこで、定義式と定義される量について考えてみましょう。

3) 定義量1 —— 絶対量

自然科学では、扱っている対象のもつ量（質量、体積、…）をいろいろな単位で表します。どの単位を使うかは結局、扱っている対象についての使いやすさで決まります。

化学では、私たちの手の平に載るぐらいの量の物質の性質を、原子や分子レベルの姿を交えながら考えていきます。そこでは、私たちが測定しやすい単位とともに、原子や分子レベルの世界を考えるとときに使いやすい単位もよく使われます。そのようなときは単位の変換の仕方に注意が必要です。

(1) 質 量

gがよく使われますが、原子や分子レベルではamu（atomic mass unit：原子質量単位）が使われることもあります。 $^{12}\text{C} = 12\text{amu}$ と定義されていますから、2つの単位の間には $1\text{g} = 6 \times 10^{23}\text{amu}$ という関係があります。

(2) 広がり

一次元、二次元、三次元の3つの広がりがありますが、一次元（つまり長さ）での単位としてm、cmをよく使っています。原子レベルは 10^{-8}cm 、分子レベルは 10^{-7}cm ぐらいなので $1\text{\AA}^{(*)}(=10^{-8}\text{cm})$ 、 $1\text{nm}(=10^{-9}\text{m}=10^{-7}\text{cm})$ もミクロレベルを表すときによく使われます。これらを使うと、二次元（面積）、三次元（体積）は、 m^2 、 m^3 や nm^2 、 nm^3 のように表せます。

なお、化学では、 10cm 立方体の体積 $=1\text{dm}^3$ を 1L とし、この L が体積の単位としてよく使われます。化学では、広がり量として長さや面積に比べて体積を使うことが圧倒的に多く、その方が便利だからです。

◀通常はamuをuで表しますが、この単位を使うことが少ないため、uでは意味不明になることが多くあります。そこでこの本ではあえてamuと表しています。ドルトンさんにちなんでamuのことをドルトンということもあります。例えば水の分子量は18ドルトンというように。

* \AA はオングストロームといいます。高校の教科書では最近は使われていません。

◀ cm^3 も化学では mL で表されることが多いです。

(3) 粒子の数

化学現象は、原子、分子、電子などミクロな粒子の離合集散状態の変化によるものです。したがって、化学現象を量的にとらえるとき、このようなミクロなレベルでの微粒子間の個数関係が基本になります。ところで、原子、分子、電子等のミクロな粒子は1個、2個、…という整数個の単位で存在します。そこで、化学の量計算では粒子の数を表す単位が必要になります。

1/2 個などは、これら粒子の質を壊し、これらの粒子ではなくしますから、無意味なものになります。

粒子の数の単位としては“個”が最も単純でわかりやすく、ミクロなレベルで粒子の数を扱うときはこれで十分です。ただ、私たちが通常測定する量は1g程度であり、この中には 10^{23} 個程度の原子や分子が含まれていますから、個を単位として使うのでは多くの場合不便です。ところで、 $C = 12$, $H_2O = 18$ などの原子量や分子量にgをつけた量： C の12g, H_2O の18gなどの中にはC原子、 H_2O 分子など化学式で表される粒子が同数(6×10^{23} 個)含まれています。そこでこの数(アボガドロ数)の粒子の集団を1molと呼び、この“mol”で粒子の数を扱うと、私たちが日常的に使っているgなどの量からミクロなレベルの粒子の数の情報が容易に扱えるようになります。こんなわけで私たちは化学でmolをよく使うのです。ですから、“mol”は“個”と同じく単に粒子の数の単位にすぎません。ただ、物質等をまず化学式で表し、それを1ツブと考えてその相対質量(原子量、分子量など)を出し、それにgをつけた量の中に1molのツブがあると考えられるのですから、このmolという粒子の数についてはちょっと説明が長くなります。そこで、このmol単位で表される粒子の数のことを特に**物質量**と呼ぶことになりました。物質の量はg, L等でも表すわけで、この物質量という名称は誤解しやすく、適切なものとは言いがたいですが、「molのことか」とでも考えておくことにしましょう。

(4) 時 間

変化の速さに応じて秒(sec), 分(min), 時間(hour), 日(day), 年(year)が使われます.

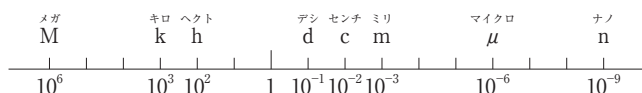
(5) エネルギー

化学の現場では物質を加熱したり冷却したりします. ここでは,

『1 g の水の温度を 1℃ 上げるのに必要なエネルギーが 1 cal である』

という定義は, 実感のわくわかりやすいもので, 長い間 cal を単位に使ってきました. 食品では今でもカロリー計算などでエネルギーの単位として cal を使っています. ただ, 最近では, 熱エネルギー \leftrightarrow 電気エネルギー \leftrightarrow 力学的エネルギー などの変換が重要になっているため, これらがスムーズにできるように, 化学でもエネルギーはジュール (J) 単位になりました.

なお, 各単位は, 使うときの量の大きさに応じて使いやすいように M, k, m, … をつけて表せます. mL, mg だけでなく, 例えば mmol, kmol や $\overset{\text{ヘクト}}{\text{hg}}$ なども必要に応じて使えるようにしましょう.



絶対量	単 位			備 考
	マクロ		ミクロ	
質 量	g, トン		amu (u)	1 g = N_A amu
広がりの量	一次元	m, cm	nm, Å	1 nm = 10 ⁻⁹ m = 10 ⁻⁷ cm = 10 Å 1 cm = 10 ⁸ Å
	二次元	m ² , cm ²	nm ² , Å ²	
	三次元	m ³ , cm ³ , L	nm ³ , Å ³	
粒子の数	mol (物質質量)		個	1 mol = N_A 個
時 間	sec, min, hour, day, year			
エネルギー	J, kJ, cal, kcal			1 cal = 4.18 J

◀物理では

$$J = \underset{\substack{\text{ジュール} \\ \text{ニュートン}}}{\text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{秒}^2}} \times \underset{\text{メートル}}{m}$$

のような単位になっています. 中学の教科書では

$$\text{仕事} = \underset{J}{\text{力}} \times \underset{N}{\text{距離}} \quad m$$

のように, 仕事の単位としても J (ジュール) が登場します.

原子 1 個の大きさがほぼ 10⁻⁸cm なので長らく 1 Å = 10⁻⁸cm が使われてきましたが, 最近ではほぼ使われなくなりました.