

『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けられます。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当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ないと思います。

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、教壇に立つてきました。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までに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。

「化学の理論」の序

化学の理論とは、通常、原子、結合、結晶などを扱う構造の理論、気体法則などを扱う状態の理論、凝固点降下などを扱う溶液の理論、熱、速度、平衡などを扱う反応の理論に分かれています。それぞれ、学ぶべきことが多く、また、必ず計算問題がともなうので、苦手な人も多いです。ただ、これら1つ1つをマスターし、問題も解けるようになり得意になった人でも、化学の理論は心からわかった気になれないようです。それは、通常の説明ではこれらの分野をつらぬくことが何であるかが明らかにされていないことが多いからです。

そもそも、物質はミクロなツブである原子が集まったもので、反応は原子の組みかえです。このミクロなツブは、常温で1秒間に数百メートルもの速さで、バラバラの方向に飛び去る勢いを持っています。だから、本来、こんなミクロなツブの集団はバラバラに散らばっていくはずですが、一方、ツブの間には引力が働き、ツブの集団は集まろうとします。結局、この2つの相反する勢いのからみで、ツブの集団のゆくえ、すなわち化学現象が決まるのです。実は、化学の理論の根底にあるのは、たったこれだけの事実です。本書は、この事実を出発点にした高校向きの化学の理論の参考書です。章だてが、高校教科書の順序でないため、はじめは少しためらうことがあるかもしれませんが、第0章エネルギーと乱雑さの所をまずは何回も読むことから始めてください。すべてはここから始まるのが、本当の化学の理論だからです。

さて、本書の説明の根底にある「エネルギーと乱雑さ」の背景には、大学で詳しく学ぶ熱力学があります。その熱力学では、エンタルピー、エントロピー、ギブズエネルギーなどの用語が使われています。今回の高校教科書での改訂では、これら熱力学用語が導入されるようになりました。これは、本書のような化学の理論の説明方法が、正式に高校で可能になったとも言えます。そこで、新課程に合わせ、エンタルピー、エントロピー、ギブズエネルギーを全面的に取り上げ、これらを高校生レベルにもわかるように、本書を改訂しました。この改訂で、新課程対応が十分にでき、さらに、発展的な学習も可能になったと思います。本書を活用して、化学の理論の深い理解が進むことを願っています。

改訂版の作成にあたり、駿台文庫の松永正則さん、中越邁さん、西田尚史さんには大変お世話になりました。本当にありがとうございました。

目次

第0章 エネルギーと乱雑さ 1

- ① ツブの持つエネルギー/ 2
- ② 原子, 分子の運動のエネルギー/ 4
- ③ 原子, 分子間の位置のエネルギー/ 6
- ④ エネルギーと乱雑さ/ 8

第1章 熱化学 13

- ① ミクロ変化と熱の出入り/ 14
- ② 内部エネルギー, エンタルピー/ 16
- ③ 反応エンタルピーを付した反応式/ 18
- ④ 位置のエネルギーの高低の判断力/ 20
- ⑤ 「～エンタルピー」と「～エネルギー」の定義と関係/ 22
 - ① 反応エンタルピー/ 22
 - ② 状態変化のエンタルピー/ 23
- ⑥ ヘスの法則とそれを使った計算/ 25
 - ① ヘスの法則/ 25
 - ② ヘスの法則を使った計算の解法/ 26
- ⑦ エントロピー, ギブズエネルギー/ 44

第2章 反応速度 47

- ① 反応速度を支配する因子/ 48
- ② 反応速度を定義する式/ 52
- ③ 反応速度を速度支配因子で表した式/ 55

第3章 化学平衡 63

- ① 平衡状態とは/ 64
- ② 可逆反応の条件/ 65
- ③ 平衡(左 $\rightleftharpoons$ 右)で等しいのは何か/ 66
- ④ 平衡点を移動させる方法とその方向/ 67
 - ① 速度より考えてみる/ 67
 - (1) 濃度を変える/ 67
 - (2) 温度を変える/ 67

(3) 活性化エネルギーを変える/ 68

② ギブズエネルギー(G)より考えてみる/ 69

- (1) エンタルピー(H)を変える/ 69
- (2) 温度(T)を変える/ 70
- (3) 散らばり度合い(S)を変える/ 70

⑤ 化学平衡の法則(平衡濃度に関する法則)/ 75

① 成り立つ理由/ 75

- (1) 速度より説明する/ 75
- (2) ギブズエネルギー(G)より説明する/ 76

② 平衡定数を使ってわかること/ 77

③ 平衡量を求める基本的方法/ 79

⑥ 平衡定数を使った各種平衡の計算/ 88

① 気体平衡/ 88

② 酸・塩基平衡/ 95

③ 分配平衡/ 120

④ 気体の溶解平衡/ 122

⑤ 固体の溶解平衡/ 128

(1) 分子結晶/ 128

(2) イオン結晶(塩)/ 130

第4章 構造の理論 147

① 物質をもたらししている力/ 148

① 原子核のまわりの電子の様子を知る方法/ 150

② 電子配置/ 155

① ミクロレベルでの粒子の運動の原則/ 155

① 電子殻の構造/ 157

(1) 波動関数/ 157

(2) 波イメージから粒イメージへ/ 160

② 電子配置/ 163

③ 周期表と電子配置/ 168

③ 原子核の構造/ 172

① 原子核の構造が確定するまでの歴史/ 172

② 原子核の構造と原子の元素への分類/ 175

④ 原子と電子の出入りのしやすさ/ 182

- ① 原子の基本性格(キャラクター)/ 182
- ① イオン化エネルギー (…僕の電子取るな!の度合)/ 183
- ② 電子親和力 (…もらった電子おいしい!の度合)/ 187

⑤ 結 合/ 190

- ① 結合生成条件/ 190
- ① 結合の種類/ 192
- ② 結合の種類の判定法/ 194
- ③ 電気陰性度/ 197

⑥ 物質の構造/ 198

- ① 配位数/ 198
- ① 金属結晶/ 204
- ② イオン結晶/ 208
- ③ 共有結合による分子, 結晶/ 213
- ④ 分子間に働く引力と分子結晶/ 225

⑦ 物質の物理的性質/ 235

- ① 電気伝導性…電位差に対する応答/ 236
- ② 熱伝導性…温度差に対する応答/ 236
- ③ 融点, 沸点…温度による揺さぶりに対しての強さ/ 238
- ④ 硬さ…外力に対する強さ/ 240
- ⑤ 色…光の照射に対して/ 241
- ⑥ 物質の物理的性質のまとめ/ 243

第5章 状態の理論 249

① 物質の三態と状態図/ 250

- ① 固体, 液体, 気体のミクロな姿/ 250
- ② 状態を支配する因子と状態図/ 252
- ③ 状態図の特徴/ 252
- ④ 状態図の見方/ 256

② 気体法則/ 260

- ① 気体法則の歴史/ 260
 - (1) 空気が存在することの証明/ 260
 - (2) 大気圧の発見とボイルの法則/ 261

(3) 各種気体の発見とシャルルの法則/ 264

(4) 原子, 分子の存在仮説とアボガドロの法則/ 267

(5) 3つの気体法則と気体の状態方程式/ 270

(6) 気体の分子運動論と気体法則/ 271

② 気体法則の使い方/ 275

③ 混合気体の扱い方/ 282

④ 実在気体と理想気体/ 289

(1) 気体の条件と理想気体/ 289

(2) 実在気体を理想気体に近づける条件/ 290

(3) 実在気体の状態方程式/ 291

(4) 実在気体の理想気体からのズレの考察/ 292

③ 状態変化/ 295

(1) 物質Xのみ, P_0 一定で T 変化/ 296

(2) 物質Xのみ, T_0 一定で P 変化/ 298

(3) V_0 一定, T 変化/ 299

(4) 液化しにくい気体 Y の共存, P_0 一定で T 変化/ 300

(5) 液化しにくい気体 Y の共存, T_0 一定で P 変化/ 302

第6章 溶液の理論 311

① 溶解の条件/ 312

② 溶液の性質/ 317

① 溶液の性質/ 317

② 希薄溶液の法則/ 321

③ コロイド溶液/ 336

① 粒子が溶液中に分散するもう一つの条件/ 336

① コロイド粒子の大きさ/ 337

② コロイド粒子が分散する条件とコロイドの分類/ 338

③ コロイドを析出させる条件/ 339

④ コロイド溶液のつくり方/ 340

⑤ コロイド溶液の性質/ 341

第0章 エネルギーと乱雑さ

- 1 ツブの持つエネルギー
 - 2 原子，分子の運動のエネルギー
 - 3 原子，分子間の位置のエネルギー
 - 4 エネルギーと乱雑さ
-

化学では、水、食塩、砂糖…などさまざまな物質の性質を学びます。そして、これらの性質を調べるときに扱う量は、たいてい手のひらにのるほどのちっぽけなものです。たとえば、ビーカーに18 gの水を入れたとき、それはほんの少しの量です。しかし、その18 gの中には約

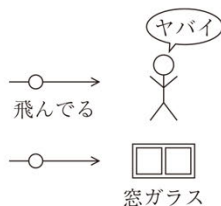
600000000000000000000000000000個
というとても数えきれない数の水分子 H_2O が含まれています。私たちの扱う物質の性質とは、こんなほう大なツブの集団についてのことなのです。だから、化学を学ぶというのは、このようなほう大な微粒子の集団としての性質を理解したり、予想したりする能力を身につけることだと考えることもできます。そこで化学の理論の学習は、原子、分子など微粒子の行う運動の原則を知り、そして、**それら微粒子がぼう大に集まったとき**に、その集団が変化していく方向を知ることから始めるのが理にかなったことと言えるでしょう。

1

ツブの持つエネルギー

そもそも、ツブはどんなエネルギーを持っているのでしょうか？

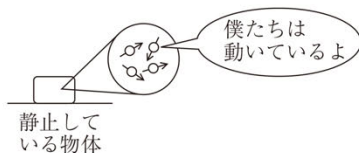
「エネルギーがわいてきたゾ」「あいつのエネルギーにはかなわないよ」…などと言うことがありますが、これらの文例に見られるように**エネルギーとは、何かを起こすことができる潜在力、勢い**と考えることができます。では、ツブはそもそも、そのような潜在力、つまりエネルギーとしてどんなものを持っているのでしょうか。



今、ある物体が空間の中にあるとします。その物体は動いていることもあれば静止していることもあるでしょう。動いているときは、要注意ですね。もし、私たちのほうに向かって進んでいけば、私たちにぶつかって、ケガをさせるかもしれません。また、そうでなくても、ガラスにぶつかって、ガラスを割るかもしれません。そうです、動いているツブは、何かを起こす潜在力つまりエネルギーを持っています。これを**運動のエネルギー**と呼びます。

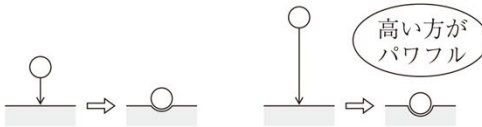
アボガドロ数は 6.02×10^{23} 。

では、静止している物体は、運動エネルギーを持っていないのでしょうか。確かに物体全体を見れば運動エネルギーを持っていません。しかし、そもそも物体は、原子、分子といったものすごく小さなツブがアボガドロ数くらい集まってできています。そのツブまで静止していることは考えられないですね。



このような、小さなツブまで静止していると見なされる状態は、**絶対0度**と呼びます。絶対0度とは、このマイクロレベルのツブの運動さえ凍結された、完全な“死”の世界と考えることができます。そんな世界はあくまで仮想の世界であり、実際は、原子、分子のようなミクロなツブのレベルでは、必ずツブは運動しており、運動のエネルギーを持っています。

ところで、物体を持ち上げて手を離すと、物体は下方へ落ちていき、下にあった物にぶつかって、それを壊したり、衝突音を出したりします。この効果は、物体の地上からの高さが高いほど大きくなります。すなわち、地上では、物体の位置が高いほど、物体は何かをしでかす大きな潜在力を持っています。

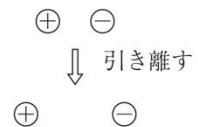


このような位置に蓄えられたエネルギーを**位置のエネルギー**と言います。ところでこのエネルギーは、もともとは、物体と地球間に働く引力(万有引力)に逆らって物体を引き離していったときに、物体になした仕事¹が蓄積したものです。一方、原子や分子の世界では、これら粒子は電氣的にプラスの原子核とマイナスの電子からなる粒子ですから、主に電氣的な引力や斥力が粒子間に働いています。そこで、粒子間が近づいたり遠ざかったりすると、電氣的な引力や斥力のあるところでの移動なので、やはりこれら原子や分子間にも位置のエネルギーがあり、それが変化します。

以上のような考察から、一般にツブの何かをなしうる潜在力＝エネルギーは、

運動のエネルギーと位置のエネルギー

の2つであることがわかるでしょう。



引き合っている2つのツブを引き離すにはエネルギーを加える必要があります。加えたエネルギーは位置に蓄えられます。

2

原子，分子の運動のエネルギー

H, H₂, O, O₂などの小さなツブは，常温付近で，1秒間あたり平均何m移動するのでしょうか。

$t^{\circ}\text{C}$ のとき ▶ 絶対温度が T (K) のとき，質量が m (g) の小さなツブの持っている平均の運動エネルギー $\left(\frac{1}{2}m\bar{v}^2\right)$ は
 $T = 273 + t$
 物理の教科書 ▶ $\frac{3}{2}kT$ であることがわかっています。

$$\frac{1}{2}m\bar{v}^2 = \frac{3}{2}kT \quad \left(k \text{ はボルツマン定数 } 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K} \right)$$

これより，平均速度 $\bar{v}$ は

$$\bar{v} = \sqrt{\bar{v}^2} = \sqrt{\frac{3kT}{m}} \left(\frac{\text{m}}{\text{秒}} \right)$$

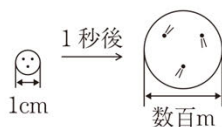
原子量は H=1, O=16 なので H は 1 g/mol, O = 16 g/mol.

と表されます. $m_{\text{H}} = 1 \times 10^{-3}/N_{\text{A}}$ (kg) $m_{\text{O}} = 16 \times 10^{-3}/N_{\text{A}}$ (kg) (N_{A} はアボガドロ定数 $6.0 \times 10^{23}/\text{mol}$), $k = 1.38 \times 10^{-23}$ J/K を代入し， $\bar{v}$ (m/秒) を求めると以下のような表が得られます。

表 H, H₂, O, O₂ 分子の平均速度 (m/秒)

T (K) 粒子	0	300	1200	2700
H 原子	0	2,700	5,400	8,100
H ₂ 分子	0	1,900	3,800	5,700
O 原子	0	680	1,400	2,000
O ₂ 分子	0	480	960	1,400

$t^{\circ}\text{C}$ のとき ▶
 $T = 273 + t$ (K)



驚くべきことに，これら粒子は，常温以上では，音速(340 m/秒)より速く飛んでいます。もちろん，方向はランダム(バラバラ)です。だから，仮に直径 1 cm の領域の中にこれらが何粒かあったとしても，1秒後には数百 m もの領域にまで広がっており，結局アッという間に散り散りになってしまうことが予想さ