

『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、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ひありません。

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言え!!」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

『化学の発想法』の序

化学に関する教科書、参考書、問題、記事などで語られていることについて、「わかった気がしない、しっくりこない、まるで異邦人の会話のようだ」と感じる人はたくさんいます。それらは、日本語で書かれており、決して読めないわけではありません。でも、「わからない」のです。

ところで、今ほど「異邦人の会話のようだ」といいましたが、最近は世界のできごとやようすが、私たちに次々と飛び込んきますね。この中には、多くの日本人にとって理解に苦しむことがあります。そんなとき、その国の歴史や置かれている条件とともにその国の人々の基本的な発想法を知れば、できごとの良し悪しは別として、なるほどとうなづけることもあります。

このことは、化学の学習にもあてはまるのではないかでしょうか。化学の教科書、参考書、問題、記事などは、化学と日常不斷に接している大学の先生方、研究者が、彼らにとってはほとんど無意識にまでなっている化学的発想法をもとに書いています。ですから、化学をあまり学んでいない人にとって、化学的発想法を使って語られることがらは、同じ国の人間どうしであっても、「異邦人の会話」そのものなのです。そこで、教科書や参考書などを読んでいくとき、どのような発想法からこれらの文が書かれたのかを意識すれば、もっとよくその中身が理解できるのではないかでしょうか。

このような考えのもとに、『化学の発想法』を書いてみることにしました。もちろん、ここで書かれた発想法は、中学、高校、大学の前半ぐらいを対象にした教科書などで出てくる発想法です。より高いレベルでは、さらに発展した発想法があります。しかし、まずは、この本に書かれている発想法を学べば、専門的な文でないかぎり、その内容の理解をかなり深めることができるでしょう。

この本は、これ1冊で化学の大半がわかるという性格のものではありません。必ず、教科書、参考書と併用して使って下さい。 1991年春 石川正明
(改訂にあたって)

原点からの化学シリーズの第1弾として本書『化学の発想法』を出してから早や34年の年月が流れました。この間、教育課程も何度も変わり、その都度よりよい説明にすべきと思う所を書き直してきました。ところで、本書では初版以降、化学反応の進行方向を判断する「化学的発想法」として「エネルギーと乱雑さ」という用語を使って説明してきましたが、新課程でエンタルピー、エントロピー、ギブズエネルギーという大学で扱う熱力学用語が導入されたことを受け、今回の改訂ではこれら新しく導入された用語を全面的に使って説明するように書き直しました。これら用語の高校化学への導入は高校化学教育にとって大変革ですが、これらが十分にうまく使われるようになれば高校化学教育の飛躍につながるでしょう。本書がその手助けになることを願っています。

2025年初夏 石川正明

目 次

第1章 化学用語 1

- どんな言葉(単語)も、何か共通なものを見出す過程でつくられたことをまず確認する / 2
- 特に、分類用語はまず注目している点を明確にする / 4
- 認識の歴史的発展の中でとらえる / 5
- 長い用語は文章だと思って解析する / 7
- 輸入文化であることから考えてみる / 8
- 古くから使われている物質名はなぜそう呼ばれていたのかを考えてみる / 11

第2章 構造と反応 13

- 構造をとらえる / 14
- 反応をとらえる / 17
 - (1) 反応式で考えてますか? / 17
 - (2) 反応の型からとらえてみよう / 19
 - (3) 結合を媒介している電子の動きから反応をとらえてみよう / 20
 - (4) 反応の理論を活用して理解しよう / 21

第3章 電気陰性度 23

- 電子からみた結合……もっと多くの原子核に愛されたい!? / 25
- 原子核からみた結合……もっと多くの電子を! / 27
- 結合形態の推定法 / 29
- 結合の切れ方の推定法 / 30
- 水酸化物の酸性・塩基性の推定法 / 32
- 酸化還元反応のとらえ方 / 33

第4章 周期表 37

- 電子配置を知る / 39
- 比較の仕方を知る / 42
 - (1) 第一イオン化エネルギー(電子の出にくさ) / 43
 - (2) 共有結合半径(電子の大きさ) / 44
 - (3) 電気陰性度 / 45
 - (4) 単体の融点と沸点 / 46
 - (5) 第1, 第2周期と他の周期 / 46
 - (6) 化学式 / 49

**第5章 エンタルピー, エントロピー
とギブズエネルギー 51**

- 内部エネルギー / 52
- 微粒子間の位置エネルギーの様子 / 53
- 微粒子の運動エネルギーの様子 / 54
- 反応や状態変化で出入りする熱のルーツ / 55
- エンタルピー / 56
- エントロピーと変化を進める駆動力 / 58
- エンタルピーと変化を進める駆動力 / 62
- ギブズエネルギーと変化の方向 / 63

第6章 速度と平衡 67

- 反応が進むための基本条件の確認 / 68
- 速度からみる / 69
- 平衡に至るのはどんなときか / 73
- 化学平衡の法則 / 75
- 平衡定数を使って考える / 77
 - (1) どちらへ向かって反応が進むかを判定する / 78
 - (2) 平衡状態での濃度を求める / 81
 - (3) 酸・塩基の強さの比較と反応の行方の判断 / 83
- 平衡移動の法則を使って考える / 85

第7章 二相間平衡 89

- ◆ 平衡を支配する因子 / 91
- ◆ 溶質の平衡 / 91
 - (1) 分配平衡 / 91
 - (2) 気体の溶解平衡 / 92
 - (3) 固体の溶解平衡 / 95
- ◆ 純溶媒の平衡 / 98
- ◆ 溶液中の溶媒の平衡 / 102
 - (1) 凝固点(融点)降下 / 104
 - (2) 蒸気圧降下 / 105
 - (3) 沸点上昇 / 106
 - (4) 浸透圧 / 107

第8章 電気化学 109

- ◆ 酸化還元反応から電流をつくり出す装置 / 111
- ◆ 電気用語と化学用語 / 113
- ◆ 電池 / 115
- ◆ 電気分解 / 120
- ◆ 電気化学と私たちの生活 / 121
 - (1) 電池の利用 / 121
 - (2) 腐食 / 122
 - (3) 電気分解 / 123

第9章 化学計算 125

- すべては量の単位を確認することから始まる / 126
- 量には絶対量と単位あたり量がある / 127
 - (1) 絶対量 / 127
 - (2) 単位あたり量 / 128
- 関係式には定義式と自然認識を反映した式がある / 129
- 自然認識の深化とともに見出された関係式 / 130
 - (1) 微粒子の混合物の粒子の数を求める計算 / 130
 - (2) 構造に関する計算 / 132
 - (3) 化学反応での物質の変化量に関する計算 / 134
 - (4) 気体の量計算 / 136
 - (5) 熱化学計算 / 141
 - (6) 反応速度論の計算 / 144
 - (7) 平衡定数を使った計算 / 145
 - (8) 希薄溶液に関する計算 / 145

第10章 無機反応 147

- 型でとらえる / 148
 - (1) 「～生成反応」 / 148
 - (2) 酸化還元反応 / 155
 - (3) 分解反応 / 160
- 均一系と不均一系の違いを意識する / 160
- 工業化学と実験室化学の違いを意識する / 162
- グループ別に分けて反応を理解する / 164
 - (1) 金属単体の反応 / 165
 - (2) 非金属単体の反応 / 168
 - (3) 陽イオンの分離と決定 / 169
 - (4) 気体の発生と検出 / 171
 - (5) 両性元素の反応 / 173
 - (6) 元素別の反応 / 174

第 11 章 有機化学 177

◆ まず基礎知識を学ぶ / 178

- (1) 炭素の結合の仕方 / 178
- (2) 分子間にはたらく力 / 180
- (3) 結合の切断と生成の仕方 / 183
- (4) 酸性度 / 185

◆ 構造の違いがわかる / 187

- (1) 命名法 / 188
- (2) 異性体の分類 / 189
- (3) 構造異性体の求め方 / 190
- (4) 幾何異性体の有無の判定法 / 193
- (5) 鏡像異性体の有無の判定法 / 193

◆ 構造と構造の変換関係がわかる / 194

- (1) 反応名について整理する / 194
- (2) 結合の切断、生成の姿をおさえる / 197
- (3) 生成物として2つ以上の異性体が考えられるとき、どちらが主かおさえておく / 202
- (4) 無機試薬のはたらきに注目する / 205
- (5) 構造変化の流れをとらえる / 207

◆ 有機物 X の構造決定をとらえる / 209

- (1) 構造決定の流れと情報の性格をとらえる / 209
- (2) 有機物 X の構造決定問題の解法をとらえる / 212

◆ 天然有機物、高分子化合物をどのように学ぶか / 217

- (1) 天然有機物 / 217
- (2) 合成高分子化合物 / 221

第 12 章 歴史的視点と現在からの視点 223

◆ 混合物と化合物 / 225

◆ 倍数比例の法則 / 226

◆ 気体法則 / 228

◆ 電子配置、原子核の構造 / 233

◆ ボルタ電池 / 234

第1章

化学用語

化学は文、つまり言葉（単語）をつなぎ合わせてできたものを使って語られます。図や写真などももちろんよく使われますが、その場合にも、文や用語が添えられていないと意味がはっきりしません。ですから、化学がわかるようになるためにはまず、化学に関する文を構成している用語、特に酸や塩基などの化学用語の意味やイメージがとらえられていることが必要です。そのためにはどんなことに注意を払えばよいのでしょうか。まずはこのことについて考えてみましょう。

◆ どんな言葉(単語)も、何か共通なものを見出す過程でつくられたことをまず確認する

まず、「化学用語」といわれる特殊な言葉でなく、私たちが日常的に使っている言葉、例えば“馬”“犬”などの名詞、“大きい”“小さい”“赤い”などの形容詞、“落ちる”“倒れる”“走る”などの動詞はどのようにして生まれたのか考えてみましょう。

生物も含めて自然は多様な物質からできています。生物が生き続けるためには周りにある物質を使ったり取り込んだり、逆に体外に排出したりしなくてはなりません。そのために生物は環境物質が発する情報をキャッチし、何を取り込んだらよいのかなどを時々刻々と判断しています。高等動物の場合、環境が発する情報を目や耳、鼻、肌などでキャッチし、それを脳に伝え、次の行動のための判断を下しています。脳の能力が優れたヒトは、このような判断を日常的に何度も繰り返しているうち、雑然とした環境の中に何か共通なものがあることを次々と見つけてきました。まず、食用になる植物や動物を環境の中から見つけ出し、それら一つひとつを他と区別するために例えば“シカ”的に名前をつけたでしょう。それは集団生活している人々の間の共通の言語として保持されていくことになったでしょう。初めはこのように、生活にとって大切でかつ互いに似ている一群のものに対し、次々と名前(名詞)が与えられていったと考えられます。また、“大きい”“小さい”のような物に対する基本的な形容用語(形容詞)も、かなり早くから人々の間で使われるようになったでしょう。さらに、シカを追うような行動の中で“とまる”“はしる”“おちる”“たおれる”のような動作に対する共通の姿をとらえた用語(動詞)も徐々に獲得していったと思われます。

このようにして人類が言葉ゼロの状態から言葉を豊

富にしていったということは、同じく言葉ゼロの状態の人間、つまり赤ちゃんがどのようにして言葉を獲得していくかを観察することによってもわかります。例えば赤ちゃんにリンゴをわからせたいとき、リンゴを10個ぐらい買ってきて「これリンゴ」「これもリンゴね」「これもリンゴよ」…と次々とリンゴを見せると同時に“リンゴ”と発音します。そうしているうちにある日、見せられた物体がリンゴという共通の名をもっていることがわかるようになります。それ以降、どれを見てもリンゴであることが認識できるようになります。少し成長した頃、リンゴに限らず、いろいろな物を落とす動作を繰り返し見せると、赤ちゃんは「キャッキャッ」と笑います。そのときに「リンゴ落ちたね」「○○落ちたね」としつこく言い続けると、いつしか赤ちゃんは下方向への物の動きに対してつけられた“落ちる”という動詞の意味がわかるようになります。このようにして、動きについて共通の姿を指し示す用語も獲得していくようになります。“赤”“青”“黄”などの色がわかるのは2~3才にかけてです。これも「このボール赤いね」「このリンゴ赤いね」と何度も繰り返し聞かされることにより、やっとあるとき“赤”的意味がわかるようになります。共通な物やことを気づかせようとするこのような強いはたらきかけが脳が急成長するときに行われるため、言葉ゼロであった赤ちゃんがわずか2~3年の間に多くの言葉を獲得することができるようになります。

私たちは、成長すると実にたくさんの用語が使えるようになります。それは、密度の濃い人間の集団がこれらの用語を使って社会生活を営み、それぞれが生まれたときからすぐ、シャワーのようにこれらの用語が与え続けられるからです。もしこのようなはたらきかけがまったくなかったら、現代の人間の子どもといえ

ど、原始時代の人間と同程度の判断力しかもち得ないでしょう。

人類は言葉ゼロの状態から出発しました。私たちが日常使っている豊富な用語はすべて人類の長い歴史のある時点でつくり出され、その後共有されていったものです。原子、分子、酸、塩基のような化学用語とて例外ではありません。これらもほんのここ200年ほどしか科学的な裏付けをもっては使われていないのです。ですから、化学の学習中に新しい化学用語に出会ったとき、これらの定義をただ読んでなんとなくわかった感じですませるのではなく、私たちが新しい用語に出会ったときに一般にすべきことと同様、どんな点に注目して共通なものを見出されたときにつくり出された用語であるかをまずは確認することが大切です。

■ 特に、分類用語はまず注目している点を明確にする

化学では、物質と反応が膨大に登場します。これらをどう分類し、整理するかがまず第一に重要なことです。[原子、イオン、分子]のような微粒子の分類、[元素、金属元素、典型元素、両性元素、族、周期]などの元素の分類、[酸、塩基、塩]などの化合物の分類、[気体、液体、固体]などの状態の分類、[酸・塩基、酸化還元、沈殿、分解]などの反応の分類などたくさんの分類が登場します。これらは一見して明確に意味がわかる場合があります。でも、分類している観点をはっきりさせておかないと、少し複雑なことを扱うときすぐに混乱します。

例えばコロイドでも、分子コロイド、会合コロイド、分散コロイド、親水コロイド、疎水コロイド、保護コロイドなどがあり、これらをただ並べて覚えるだけでは理解は深まりません。ところが、コロイド粒子の

でき方に注目すると[分子, 会合, 分散]に分かれ, 水に分散するときの表面の水和状態に注目すると[親水, 疎水]に分かれます。保護コロイドは親水コロイドが疎水コロイドを保護して分散状態をよくするときに使われる用語です。

次の用語を整理し, 区分できますか?

付加, 還元, 重合, 縮合, 酸化, 置換,
ニトロ化, 脱離, 閉環, ジアゾ化

■ 認識の歴史的発展の中でとらえる

私たちは現在「原子が存在し, その離合集散が物質の変化である」ということにほとんど疑いをもっていません。でも, わずか約200年前にはほとんどだれもこのように考えていなかったのです。原子を直接見た人はだれもいません。このようなだれにも見えない, 感じられない物の存在のうえに組み立てられた説明は多くの人にとって納得できるものではありません。現在の認識を300年前に主張しても笑われただけでしょう。したがって, 約200年前に原子の存在を認めざるを得なくなるような証拠が発見されたということは, 人類の認識の発展にとって革命的な事件であったわけです。このような「原子の存在状態が見えた」「分子の存在状態が見えた」「水中での食塩の存在状態が見えた」「原子の内部構造が見えた」というようなミクロな状態での物質の存在状態が見えていく歴史は実にドラマチックな過程であったわけです。したがって, 化学を学ぶとき, この過程を追体験していくことは, 「見えないものがどのように見えるようになったか, 無からどのように有を生じたか」を知るわけですから, 実に面白いことであり, 用語の理解を深めるうえでとても意味のあることなのです。このような歴史的な考察があって初めて他の化学用語の定義の発展もとらえ

<粒子のでき方で分類>

分子, 会合, 分散

<表面の水和状態で分類>

親水, 疎水

☆1つの原子に注目し,

・結合原子の数の増減を見る

(増) (不变) (減)

付加 置換 脱離

・酸化数の増減を見る

(増) (減)

酸化 還元

☆反応する分子全体に注目し, 形態変化を見る

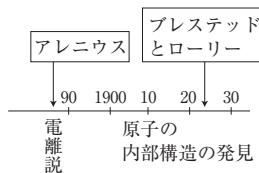
重合, 縮合, 閉環

☆変化する原子や原子団が何かを示す

ニトロ化, ジアゾ化

(☞第11章)

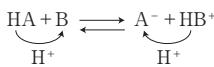
<酸・塩基の定義>



アレニウス



ブレステッドとローリー



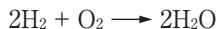
<酸化の定義>

過去：酸素が結合すること

現在：電子を奪うこと

ることが可能になります。例えば、水中で電圧をかけなくても食塩がイオンに分かれて存在していることが“見えた”からこそ「酸は電離して H^+ を出すもの」というアレニウスの酸の定義が出てきたのです。その後、原子の内部構造が明らかになって H^+ が原子よりはるかに小さい陽子であることがわかったからこそ「水中に H^+ は存在せず、ただキャッチボールされるだけだ」という考え方が登場し、ブレンステッドとローリーによる新しい酸の定義が提出されるようになったのです。同様に、酸化還元の定義が、酸素原子や水素原子の移動から e^- (electron: 電子) の移動へ変化していったのも、原子の内部構造が確定し、 e^- をもとにした結合の理論が発展してきたからです。このように、化学用語には、認識が歴史的に深まっていく展開を視野に入れて初めてその意味が深く理解できるものが、特に重要な用語の中にはあります。

ただ、このような認識の深化に重要な役割を果たした事実や法則——例えば質量保存の法則、定比例の法則、倍数比例の法則、気体反応の法則、アボガドロの法則など——の歴史的意義を知ることはたいへん意味のあることですが、私たちが問題を解くときにこれらの法則を直接引っ張り出して使うことは一般には必要ありません。例えば、



と書く中に、上の例で挙げた法則はすべて含まれていますから、これらの反応式を使って量計算すればよいのです。法則を歴史的にとらえることと、問題を解くとき法則を使うかどうかは切り離して考えることに注意しましょう。