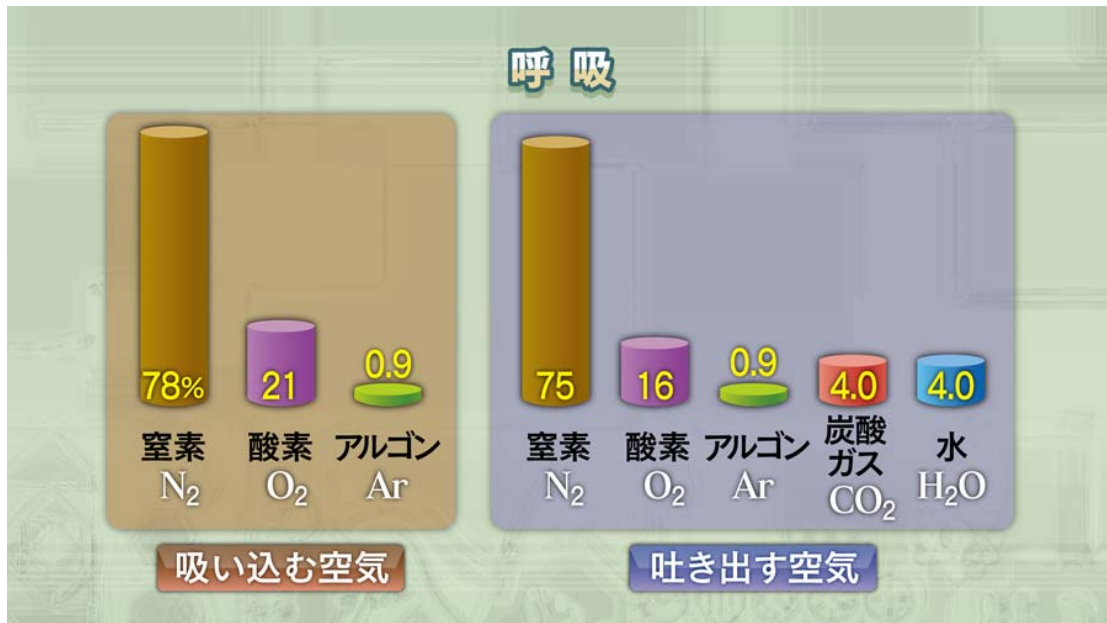


「基礎化学(11)」第1回 化学の世界



(1) 人間は、刻々と**酸素分子**を体の中に吸い込み、そして**二酸化炭素分子**を吐き出している。1分間に12~20回、1回につき約450 mLの量が入り出している。ほとんど意識せずにこの**呼吸**という生命活動を行っている。空気中の酸素分子の割合は21%で、78%は生命とは直接関わりのない窒素分子である。窒素分子は、化学反応をするにはあまりにも安定であるが、窒素原子は生体にとっては必須の元素である。窒素を生体に取り込むルートについてはここでは触れない。

(2) 酸素分子の役割は、生化学の体系化の中で明らかにされた。私たちが呼吸で吸い込んだ酸素分子は、直接に**二酸化炭素**に変換するわけではない。呼吸という意味では、酸素分子は**電子**と**プロトン (H⁺)**をもらって**水分子**になっている。これに関わるすべての反応機構は非常に複雑であるが、現在では有機化学や生化学の教科書に記載されている当たり前の事実でもある。私たちの生命活動は、まさに化学反応のシステム化が高度に出来上がっている結果といえる。ヒトの体はまさに化学そのものであり、化学反応のシステム化が生命維持の本質とも言える。

<<<<<呼気の中に二酸化炭素 (CO₂)が含まれていることを示す実験>>>>>

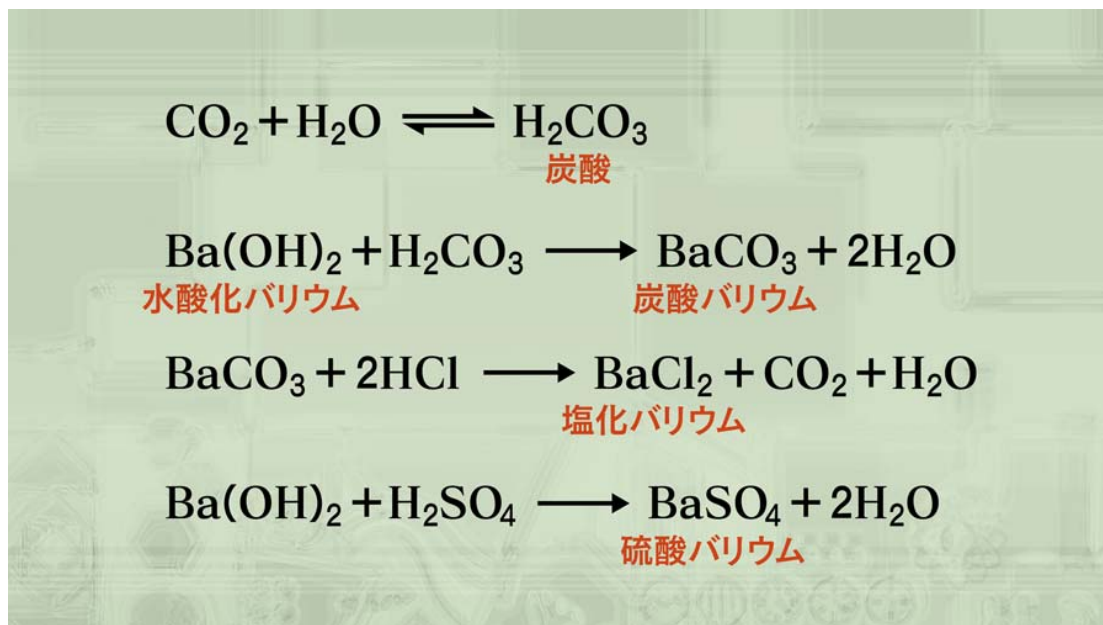
(1) 先ず、ドライアイス昇華させ、その気体を普通の水に通す。沈殿らしきものは何も生成しない。ペーパー試験紙を浸けると、少し赤っぽくなる。

(2) 一方、水酸化バリウム = Ba(OH)₂の水溶液にドライアイスの気体を通すと、白く濁る。

(3) 同じく水酸化バリウム = Ba(OH)₂の水溶液に呼気を吹き込むと、白い沈殿が生成

する。

(4) あらかじめ酸素、窒素、およびアルゴンを、それぞれ、水酸化バリウム = Ba(OH)₂ の水溶液に吹き込んで何の変化もないことを確認してある。



(1) 実験で行った反応をまとめてみる。呼気中の二酸化炭素は水に溶解すると、図の第1番目の式のように、一部が水と反応して炭酸と呼ばれる化合物 (H₂CO₃) に変わる。炭酸は文字通り酸であるが、非常に弱い酸で、かつ不安定である。生成しても反応式の左向きの分解反応で、二酸化炭素と水に戻ってしまう。ペーハー試験紙の色の変化は弱い酸性であることを示していた。

(2) ドライアイスと呼気からは白い沈殿が生成した。2番目の式のように炭酸が水酸化バリウムと反応して炭酸バリウムが生成した結果である。炭酸バリウムは水に溶けない。

(3) ところで、ビールや炭酸飲料は栓を抜くと小さい気泡を発生する。それは二酸化炭素の泡である。ソーダ水の水酸化バリウムの水溶液と混ぜてみよう。同じように白色沈殿が生成する。

(4) (関連の話題) 胃のレントゲン写真を撮影するときには、硫酸バリウムを飲んでから行う。図の1番下のように、硫酸バリウムは水酸化バリウムと硫酸の反応で生成する。やはり水に溶けない。胃のレントゲン検査では、硫酸バリウムの代わりに炭酸バリウムではだめなのだろうか？

(答え) だめである。(その理由) 炭酸バリウムは水酸化バリウムと非常に弱い酸である炭酸との中和反応で生成した化合物である。もし、これを硫酸バリウムの代わりに飲んで、炭酸バリウムが胃の中に達すると、炭酸よりは圧倒的に強い酸である胃酸=塩酸によって簡単に分解して塩化バリウムを生成し、遊離する炭酸は直ちに分解して、二酸化炭素と水に変換されてしまう。この塩化バリウムは、ヒトにとって毒であり、危険に曝されることになる。

一方、硫酸バリウムは、水酸化バリウムと、塩酸よりは強い酸である硫酸との反応生成物なので、胃の中でHClと反応して塩化バリウムを生成しない。

<<<<人工呼吸の化学的根拠>>>>

(1) さて、呼気中には16%の割合で酸素が残っている。この数字から人工呼吸の処置の際、呼気を患者の口へ吹き入れることによって酸素を供給出来ることがわかる。

(2) 過呼吸症候群という、呼吸を必要以上に行うことがきっかけになって発症する病気がある。手足や唇の痺れ(しびれ)、動悸、目眩等の症状が特徴である。この原因は次のように理解される。

(3) 激しく呼吸をすると呼気中の二酸化炭素の割合が増大して、その結果、動脈血の二酸化炭素の割合が減少する。二酸化炭素は血液に溶け込んで図の1番上のように一部炭酸に変化している。炭酸は酸であるから血液がアルカリ性に傾くことを防いでいる。血液がアルカリ性に傾くと、手足や唇の痺れ(しびれ)、動悸、目眩等に加えて息苦しさを覚えることもあり、ヒトはこの時「酸欠状態」と間違えて判断し、ますます激しく呼吸をするように指示してしまう。つまり、症状はどんどん悪くなる。このような場合に最も効果的な対処法は「ペーパーバック法」といって、紙袋で口と鼻を覆いその中で呼吸をさせる方法である。

(4) すなわち、二酸化炭素を含む自分の呼気を戻すことによって血液中の二酸化炭素の濃度を上昇させるのである。

(5) ヒトの体は実に精密に制御されていて、その狂いは生命にとって危険であることを知っておくべきである。しかも、その制御の基本はこの例のように化学反応である。

(6) 血液のpHは、CO₂が血液に溶込んで炭酸となり、その炭酸の部分解離の量によって調節されている。CO₂とH₂Oの反応によるH₂CO₃の生成、H₂CO₃の解離によるHCO₃⁻とH⁺の生成、これらはすべてケミストリーである。

血液のpH調節

二酸化炭素-炭酸水素イオン緩衝システム



$$[\text{H}^+] = 4 \times 10^{-8} \text{ mol/L} ; \text{pH} = 7.40(\pm 0.03)$$

図に示してある化学反応がその調節機構である。炭酸の量が必要以上になれば、炭酸は、炭酸脱水酵素の働きで左向きに、二酸化炭素と水に戻される仕組みが出来上がっている。

(1) 化学は、ナノスケール ($10^{-9} \text{ m} \sim 10^{-12} \text{ m}$: nm~pm) レベルの大きさである分子の構造・反応性・物性に関する体系的知識を提供する学問であると同時に、分子が集まって眼に見えるレベルとなっても、そのような同じ知識で扱うことができる、物質とその変化を扱うサイエンスである。

(2) 上に述べた血液のpH調節の仕組みは、まさにナノスケールの分子での話である。二酸化炭素、水、炭酸、炭酸水素イオン、プロトン等の分子1個を眼で見えることは出来ないが、例えば水分子が 6×10^{23} 個集まれば 18gの物質として、眼に見える無色透明の液体の物質として認識出来る。しかし、ナノスケールでの記述の内容は変わらない。

(3) 血液の量は、体重 70kg のヒトで約 5kg である。図に示したナノスケールでの血液の pH 調節の仕組みは、基本的には 5kg の血液にそのまま拡張できる。この認識は、非常に重要である。

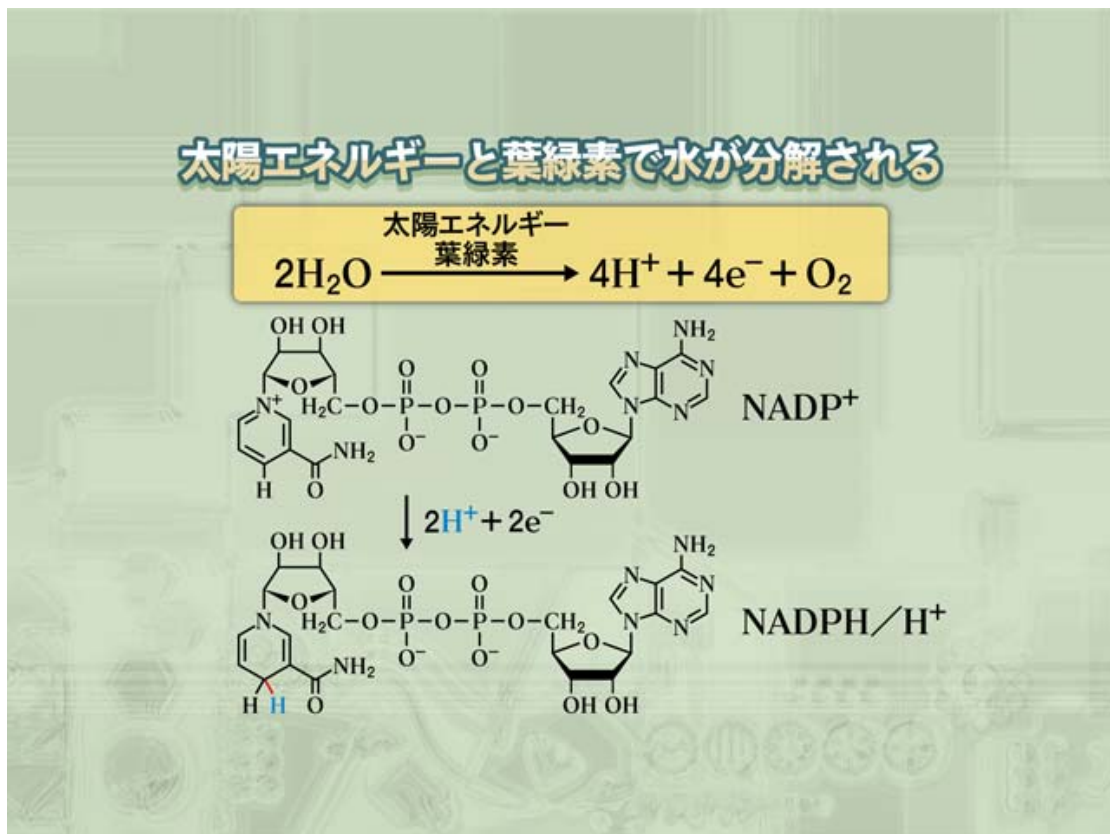
(3) ところで、ガソリンや灯油を燃焼させると二酸化炭素と水が発生する、これももちろんケミストリーである。燃焼という化学反応で、化石燃料からエネルギーを取り出す基本的な戦略である。わが国のエネルギーの 80%はこの方法で得ている。先ほどまで、私たちは無意識に呼吸によって絶えず酸素を取り入れていること、取り入得た酸素は体の中では水に変換されていることに目を向けて、それに関わるケミストリーを眺めてきた。では、呼気中の二酸化炭素はどこで生成したのであろうか。灯油の燃焼のような反応が進行しているわけではないことは確かである。

(4) その答えを簡単に言うと： 「酸素が体の中では水に変換さる」、この反応と連携して進行する、例えば「クエン酸回路」と呼ばれているエネルギー生産プロセスの中で、カルボン酸と呼ばれる有機化合物の「脱炭酸」、すなわち二酸化炭素が脱離する反応で生

成している となる。

(5) ヒトを含め動物は酸素分子と食餌によって取り入れるグルコースと脂肪および一部のアミノ酸を代謝して生命を維持するためのエネルギーを得ている。その結果、排泄する二酸化炭素と水は、植物が太陽エネルギーと葉緑素の助けを借りて、グルコースへ、あるいはデンプンやセルロースに変換すると同時に、酸素分子を生産している。

(6) この植物のプロセスによって年間に固定されるCO₂の量は約 4000 億トンだと言われているが、大気中のCO₂の総量は 2 兆 7、500 億トンであるから、その 7 分の 1 が固定されている、つまり植物は大気中の炭素を 7 年間で総入れ替えしていることになる。植物は驚くべき力を持っていると言えよう。



<太陽エネルギーと葉緑素で水が分解される>

(1) 人間を含め動物は、酸素分子と食餌によって取り入れるグルコースと脂肪および一部のアミノ酸を代謝して生命を維持するためのエネルギーを得ている。その結果、排泄される二酸化炭素と水は、植物が太陽エネルギーと葉緑素の助けを借りて、グルコースへ、あるいはデンプンやセルロースに変換すると同時に、酸素分子を生産している。

(2) この植物のプロセスによって年間に固定されるCO₂の量は約 4000 億トンだと言われているが、大気中のCO₂の総量は 2 兆 7、500 億トンであるから、その 7 分の 1 が固定されている、つまり植物は大気中の炭素を 7 年間で総入れ替えしていることになる。

(3) 葉緑素は太陽エネルギーの助けをかりて水二分子を4個のプロトンと電子4個および1分子の酸素に変換している。プロトンと電子は、NADP⁺をNADPH/H⁺に変換するために使われ、生成したNADPH/H⁺は、二酸化炭素を原料とするグルコース合成プロセスの中で還元剤として使用されている。

(4) 植物は、ヒトが酸素をプロトンと電子を用いて水に変換しているのとまったく逆のプロセスをいとも簡単に行っている。人間は、太陽光の助けを借りても、水を分解して酸素と水素陰イオンに変換することが出来ない。水の分解には、強力に電子を供給できる電気分解に頼るしかない。

(5) もし、太陽光の助けを借りて植物と同じ反応を実現する、つまり葉緑素と同じ働きをする化合物を発明したら、人類史上の最大の発明になるであろう。植物が持っている化学に依存する力量は驚くべきことである。

(6) 植物が持っているこの可能性に挑戦している化学者が、おそらく世界中で、今この瞬間に研究を遂行している。動物と植物の相互依存関係を支えている化学が、地球生物の進化の中で力を発揮してきたと言えよう。

(7) 元素は勝手に反応する。分子どうしても条件を整えばやはり、勝手に反応して新しい分子を与える。そのようにして地球上に生まれた多種多様な分子が集まって組織体を作り、それが機能を所有し、突然変異を繰り返して、細胞のような生命と呼ばれるものにまで進化した。だからこそ、化学を学ぶ意味があると考えられる。

(8) 先人達は、自然界で起こっている現象を観測して、金属を鉱石から取り出す知恵を獲得し石器時代から銅や鉄の文明へと移行し、植物を煎じて飲めば痛みが和らぐことをきっかけにアスピリンの発明につながり、ノーベル賞の基金を提供したアルフレッド・ノーベルのダイナマイト工場で働いていた狭心症のヒトが帰宅すると発作が起こり、工場にいと発作が起こらないことから、ニトログリセリンの狭心症治療薬としての可能性が見いだされたが、このような事実の積み重ねと、「それは何故か」と問いかけ続けた多くの化学者の弛まぬ努力の結果、化学という学問の体系が出来上がったのである。

(9) 偉大な化学者、特に17世紀から20世紀にかけて化学の体系化に大きな寄与をした人々、例えば、ボイル、シャルル、ドルトン、アボガドロ、ラボアジエ、メンデレーエフ等の先駆者達を含め、数えきれない人々の努力によって、私たちは、今、化学の真髄に触れることが出来るのである。

(10) 地球も、生物を含めて地球上のすべての物質は、元素から出来ている。元素という、必然的に分子を形成する粒子が集まって地球を形成した。核物理学の発展によって素粒子の姿が次第に明らかにされ、原子核の形成と元素の生成の道筋が見える時代に私達は生きている。

(11) 現在、地球にあるほとんどすべての元素は地球誕生の時に存在したものである。放射性同位元素と呼ばれる、放射壊変をする元素以外の元素はそのまま現在でも存在している。つまり資源は有限である。地球の内部が想像を絶する高温高压と言っても核融合が進行して元素が生成する程ではない。

元素の周期表

1																	18	
1	H 水素 1																	He ヘリウム 2
2	Li リチウム 3	Be ベリリウム 4											B ホウ素 5	C 炭素 6	N 窒素 7	O 酸素 8	F フッ素 9	Ne ネオン 10
3	Na ナトリウム 11	Mg マグネシウム 12											Al アルミニウム 13	Si ケイ素 14	P リン 15	S イオウ 16	Cl 塩素 17	Ar アルゴン 18
4	K カリウム 19	Ca カルシウム 20	Sc スカンジウム 21	Ti チタン 22	V バナジウム 23	Cr クロム 24	Mn マンガン 25	Fe 鉄 26	Co コバルト 27	Ni ニッケル 28	Cu 銅 29	Zn 亜鉛 30	Ga ガリウム 31	Ge ゲルマニウム 32	As ヒ素 33	Se セレン 34	Br 臭素 35	Kr クリプトン 36
5	Rb ルビウム 37	Sr ストロンチウム 38	Y イットリウム 39	Zr ジルコニウム 40	Nb タンタル 41	Mo モリブデン 42	Tc テクネチウム 43	Ru ルテチウム 44	Rh ロジウム 45	Pd パラジウム 46	Ag 銀 47	Cd カドミウム 48	In インジウム 49	Sn スズ 50	Sb ヒ素 51	Te テルル 52	I ヨウ素 53	Xe キセノン 54
6	Cs セシウム 55	Ba バリウム 56	La ランタニド 57	Hf ハフニウム 72	Ta タンタル 73	W タングステン 74	Re レニウム 75	Os オスマニウム 76	Ir イリジウム 77	Pt プラチナ 78	Au 金 79	Hg 水銀 80	Tl タリウム 81	Pb 鉛 82	Bi ビスマス 83	Po ポロニウム 84	At アスタチン 85	Rn ラドン 86
7	Fr フランシウム 87	Ra ラジウム 88	Ac アクチニド 89	Rf ルンゲウム 104	Db ドブニウム 105	Sg シグマウム 106	Bh ブヘリウム 107	Hs ヘンリヒウム 108	Mt ミーテネウム 109	Ds ダウソニウム 110	Rg ロゼンフェルトウム 111	Cn クニヒウム 112	?	113				
ランタニド (Lanthanides)			6	Ce セリウム 58	Pr プラセオジム 59	Nd ネオジム 60	Pm プロメチウム 61	Sm セミウム 62	Eu ユークリウム 63	Gd ガドリウム 64	Tb テルビウム 65	Dy ジスプロシウム 66	Ho ホウメチウム 67	Er エルビウム 68	Tm テルミウム 69	Yb ytterbium 70	Lu ルテチウム 71	
アクチニド (Actinides)			7	Th トランシウム 90	Pa プロトアクチニウム 91	U ウラン 92	Np ネプツニウム 93	Pu プルトニウム 94	Am アメリシウム 95	Cm カリフォルニウム 96	Bk バークリウム 97	Cf カリフォルニウム 98	Es エイスンシュタイン 99	Fm フェルミウム 100	Md メンデルレーヴィチウム 101	No ノボロジウム 102	Lr ルンゲニウム 103	

(1) 現在、原子番号 113 の元素まで知られている。原子番号 112 の元素はドイツの「重イオン科学研究所」で 1996 年 2 月 9 日に造られた元素で、2010 年 2 月にコペルニシウムと命名された。原子番号 113 の元素は、わが国「理化学研究所」で 2004 年 7 月 23 日に合成された元素で、2011 年 3 月の段階では名前は未定である。しかし、これらの元素は、その半減期（質量が元の半分になる時間）が、それぞれ 0.00028 秒および 0.0003 秒と非常に短くて、造られても、あっという間に原子番号の低い既存の別の元素へと崩壊してしまう。原子番号 95 以上の元素は実際に使われることはない。特に、原子番号 104 以上の元素は、半減期が 0.00017~65 秒と非常に短く、サイクロトロン等を使用して人工的に合成あるいは観測された元素である。



(1) 各元素がどのように実際に使われているかを一覧表にまとめたものが、文部科学省から「一家に一枚周期表」というキャンペーンとともに発刊され、誰でも Website からダウンロード出来る。「一家に一枚周期表」というキーワードで検索すれば簡単にアクセスできる。

(2) 元素があればその本来の特性によって化学反応が進行し、分子が生成する。もちろん、反応するためには温度・物質の量・圧力などが影響する。分子が他の分子と反応して新しい分子を形成するとともに、分子が多数集まると組織体を造ることも分子の持つ本質的な性質である。ヒトの体を構成する 60 兆個の細胞を守る細胞膜等は、まさに分子によって構築されている組織体である。

(3) 人間は、このような元素や分子の性質を自らの誕生以来知ろうと努力を継続し、遂に、目には見えないナノスケールの世界を正確に記述できるようになった。このようにして体系化された学問がケミストリー＝化学である。

(4) 化学の体系を学習すれば、人間が化学反応の統合体であることが理解できる日が必ず来る。石油から合成される物質の性質や、合成法を知ること可能であり、エネルギー問題や環境問題、電池の世界、医薬品の世界を知るためには、化学なしでは不可能であることも次第にわかってくるはずである。

「基礎化学」では化学の世界を理解し、それを他の人に伝えるための最低限の約束事を学習する。つまり、これがないと、これまで触れた様々な問題に関わって行けない。英語に例えれば、単語と文法を学習すると思えばよいであろう。

