

Check Sheet

- 1) 材料とは何か簡明に説明しなさい。
- 2) 材料を物にする過程について簡明に説明しなさい。
- 3) 有機材料と無機材料を簡明に説明しなさい。
- 4) 金属と非金属を簡明に説明しなさい。
- 5) セラミックスを無機材料との違いを踏まえて、簡明に説明しなさい。
- 6) プラスチックを有機材料との違いを踏まえて、簡明に説明しなさい。
- 7) 人の材料を列挙しなさい。
- 8) 人の知覚に関する材料とは何か考えなさい。

1.1 節 材料の定義

<要点>

材料とは、人に有意義な物を作るための“大元”になる物質である。

<基本>

「材料 material」という単語は、日本ではあまり厳密に定義されていないようだ。例えば材料学会等のホームページでは、「材料」を定義しているページは見当たらない。

用語としての定義は、「その物 object ができ上がる元 source になっている物。それを加工して何らかの製品 product を作る際のその加工 manufacturing, forming の対象とする物」となっている。一方、材料の類義語に「素材」や「原料」がある。これらについてもついでに同じように調べてみると、素材とは「ある物をつくる際の元になる材料。特に芸術作品の材料。」であり、原料とは「物品を作ったり加工したりする元になる材料。生産をするのに用いる素材。」だった。ちなみに「原材料」という単語もあり、これは「製品の原料となる物。原料と材料。」だった。こうして見ると、「素材」の説明に「材料」という単語が使われ、「原料」の説明文に「材料」と「素材」の両方の単語が使われているので、どうやら「材料」という単語が大元の単語のようだ。

一方、巻末に工学部の学生に有効と思われる材料系の書籍をいくつか紹介するが、一部の書籍では物質 matter と人 human being とを関係付けて「材料」を定義している。それらをまとめると「材料とは、人との関係の中で、所定の特性 property を所定の用途 use に用いられる物質」等となるのだろう。ついでながら物と物質もニュアンスが異なる。生命や精神と対照的に「物」と言う場合には「物質」と言うことが多い。

どうやら、「材料」という単語は大学生以上の者には既に知った単語であり、今更説明等の必要はないとみなされているようだが、本書は初心者向けの教科書だ。まずは「材料」を定義しておきたい。以上を考え合わせ、本書では材料を「人に有意義な meaningful 物を作るための大元 primary source となる物質」と定義しておきたい。ここで有意義と言ったその心は、工学とは人に有意義な物を作ったその学問だという思いにある。つまり、本書で扱う材料は、何か人の役に立つ物に仕立て上げられるべきとなる。

さらに、類義語の「素材」と「原料」についても、以下の通り定義しておきたい。つまり、「素材」とは大元ではなく、いろいろなレベルでの物を作るための物質とする。また、「原料」とは作る物を工業製品として意識した場合の材料や素材のこととする。なお、原料に raw material という英単語をあてている文献もあるが、著者はここまで細かく英語で使い分けている例を知らない。



私たちの身の回りの全てのものは何かの材料から成り立っています。その材料が何なのかをわかりやすく学ぶためのテキストです。

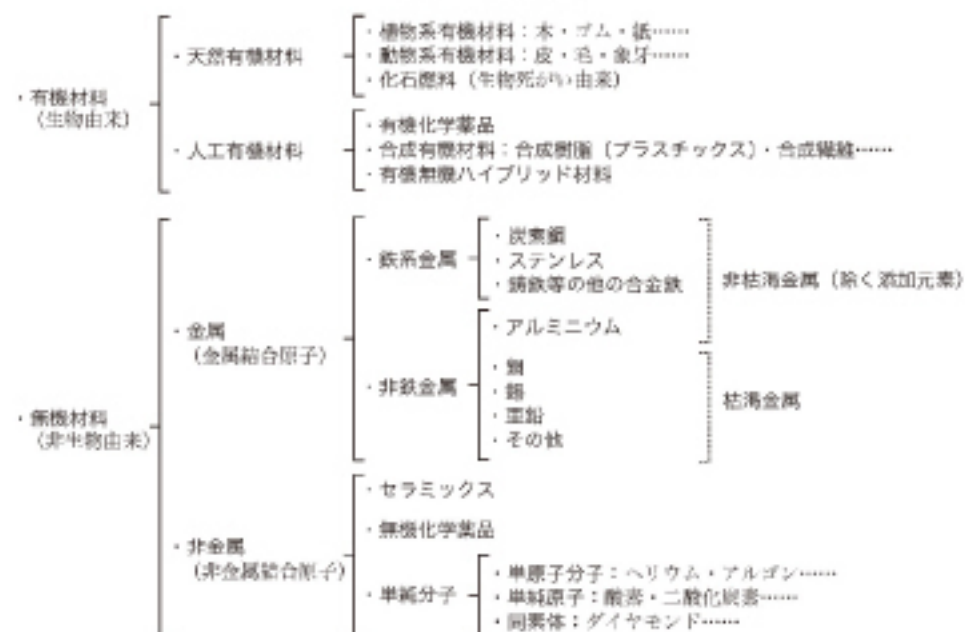
1.3 節 材料の分類



<要点>

下の通り材料を分類してみよう。諸君の気になる材料がどこに分類されるか、いろいろ探してみよう。

表 1-1 材料の分類



<基本>

1.1 節で述べたような多種多様な材料を極力多く読みたいという思いが、この教科書にはある。しかしランダムに見ていっても記憶に残らないだろうから、工夫をしたい。分かった材料は心に残るだろう。「分かる」事は、「物を他の物と分けてそれらの違いを認識する」事である。と言う訳で、先ずは分類してみようと思う。

材料を分類するためには、観点が必要である。用途ごとに分けても良いし、機能ごとに分けても良い。ここは初めて材料を知るということで、種類観点での分類をしてみたい。

まず、有機材料 organic material と無機材料 non-organic material に分けるのが一つの解りやすい分類方法だと思う。有機の「機」の意味は、「機能」である。高級で複雑な機能を持つ物は生物と関連する物が多い。本書では、有機材料を生物由来材料と定義する。一方、無機材料はその補集合である。この結果、他の書物で言われるように、炭素原子を主体とした高分子は有機材料に属することになる。炭素原子は長鎖状あるいは網状に連続分子を作ることができる

ので、有機材料主体でできている生物は、お陰でさまざまな能力を持っているのである。有機材料には、木、ゴム、紙、皮、毛、象牙、化石燃料、有機化学薬品、プラスチック（合成樹脂）、合成繊維、有機無機ハイブリッド材料等がある。有機材料については、第9章に記述する。

さて、次に無機材料を更に分けてみよう。代表的な無機材料は金属 metal である。無機といっても機能が全くない訳ではなく、金属にはそれぞれの特徴があるので、第5章から第7章でゆっくり比較したい。金属は、化学的には金属結合 metallic bond 【⇨第3章1節】から成る材料であり、展性 malleability、塑性 plasticity、延性 ductility に富み機械加工しやすく、電気と熱を良く伝え、不透明な金属光沢を持ち、常温において固体（水銀 mercury Hg だけ例外）で、水溶液中では陽イオン ion となる。一般的に金属と言われている材料はもちろん、それ以外にも実は金属はたくさん存在する。非金属はその補集合である。

金属を更に分類してみよう。今は鉄器時代 the Iron Age 【⇨発展】であり、地球に鉄 iron Fe はふんだんに含まれる。鉄はさまざまな作り込みができるので、安価な割には性能が良く、広く用いられる。そこで、金属を鉄系金属と非鉄金属に分けてみよう。鉄系金属には純鉄、鋼鉄、鋳鉄、そしてステンレス鋼等の合金鋼等がある。鉄系金属については、第5章に記述する。また、非鉄金属にはアルミニウム aluminum Al や銅 copper Cu 等がある。Fe と Al は枯渇しないと言われている金属であり、また Fe、Al 及び Cu は最も身近な3金属である。非鉄金属については第6章と第7章に記述するが、特に第6章では Al と Cu を Fe と比較しながら説明していきたい。

一方、非金属には、セラミックス、無機化学薬品、単原子分子等がある。セラミックスと無機化学薬品の区別が曖昧なところもあるが、例えばセラミックスとは狭義には主成分が金属酸化物 metal oxide、広義には半導体 semiconductor や無機化合物 inorganic compound の成形体等も指し、無機化学薬品とは塩酸や硫酸等を指す。これらについては、第8章に記述する。また、二酸化炭素 CO₂ や炭酸カルシウム CaCO₃ 等、C 原子を含んでいても機能が単純な分子は、有機材料ではなく無機材料に分類する。

なお、より厳密に分類すると上記は単体材料であり、これらを複数合わせて成す複合材料、あるいは接合材料も存在する。一般的には、接合材料とは複数の材料同士の接触面が単純な平面に近い物で、複合材料とは複雑な物である。大抵の場合、組み合わせる材料同士は特性が異なり、複合材料で複数の特性を有するいわゆる機能材料として製造されることが多い。

<発展>

●用途別分類と機能別分類

材料の分類は、観点によりさまざまに可能である。<基本>では種類別分類をしたが、用途別分類や機能別分類も有効である。1.1 節で述べた通り、人との関係の中で所定の特性を所定の用途に用いられる物質が材料であるとする、少なくとも特性つまり機能と、用途の観点があるだろう。種類別分類は材料製造の立場で分類しており、用途別分類は完全なる使用者の立場での分類、機能別分類は使用者や機器製造者の立場での分類とも言える。用途別分類と機能別分類は、一部重複する部分もある。分類の観点は、材料を用意(開発)するのか、材料を使うのか、材料を選ぶのか、等と立場を明確にすると分かりやすくなる。

用途別分類では、例えばパネ用材料、工具用材料、軸用材料、磁性用材料、振動用材料、ベルト用材料、ロープ用材料、光機器用材料、構造用材料、耐環境用材料等に分けられる。それぞれの用途にはそれ相応の特性を持った材料が必要である。それぞれの材料として従来の代表的な例を次に挙げておこう。なお、○系とは鉄系金属の分類であり詳細は第5章を、新たに表れた元素については第2章を参照されたい。

2.2 節 周期律表



<要点>

原子はビッグバンで宇宙に拡散され、さまざまな元素が星の発生、成長あるいは崩壊と関連しながら生成されてきた。 ${}_{26}\text{Fe}$ は最も安定した元素であり、地球には ${}_{26}\text{Fe}$ 、 ${}_{8}\text{O}$ 等がたくさん含まれる。天然に存在する最も重い元素は、 ${}_{92}\text{U}$ (${}_{94}\text{Pu}$) である。

1 H																	2 He														
3 Li	4 Be																	10 Ne													
11 Na	12 Mg																	18 Ar													
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr														
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe														
55 Cs	56 Ba	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Uub	113 Uut	114 Uuq	115 Uup	116 Uuh	117 Uus	118 Uuo

図 2-1 周期律表

<基本>

ビッグバン big bang により、陽子、中性子及び電子が大量に放出された。ただし、陽子と電子を合わせたような中性子は、陽子と電子に分解しやすく、数は当初は少なかった。陽子と中性子が衝突により連結し、ビッグバンから 100 秒後には安定したヘリウム原子核 ${}^4_2\text{He}$ ができ始め、陽子やヘリウム原子核は電子を取り込み、10 分後には水素 hydrogen ${}^1_1\text{H}$ とヘリウム helium ${}^4_2\text{He}$ が個数比 12 : 1 でできた。この後更に衝突が繰り返され、さまざまな陽子と中性子の数の組み合わせを持った原子が多種多様にでき上がった。

原子における陽子と電子の数は基本的には同一なので、中性子の数に関わらず陽子(電子は過不足を直ぐに起こすので基準としては不適切)の数でそれぞれの原子に名前を付けた。これが元素であり、元素を原子番号順に並べると似た化学的性質を持った元素が周期的に現れ、電子軌道とも明瞭に対応させられる。この配列表を、元素周期律表という。1862年に鉱物学者ド・シャントルワ De Chancourtois が 24 元素を原子量順に円柱周りに並べたのが、最初の元素周期律表である。元素周期律表は、未発見の元素の性質を予想するのに役立った。

地球に最も多く存在する元素は鉄 iron **Fe** である。**Fe** の原子核は最も安定しているのも、宇宙の元素創生過程において **Fe** 原子が残留しているのもである。また、地表に最も多く存在する元素は酸素 oxygen **O** である。太陽系の材料となった宇宙塵の中に **O** は多く含まれており、やはり地球の主材料となった。即ち、重い **Fe** は地下に、軽い **O** は大気に、そして酸化物 oxide は地殻に集合した。軽金属のアルミニウム aluminum **Al** も地表に集まった。珪素 silicon **Si**、**Al**、**O** は、地殻を構成する主元素である。図 2-2 に宇宙の元素組成を、また表 2-4 に地球の主組成元素比率を示す。

チェックシートの空いている箇所は、いずれも覚えておくと結構役立つ元素である。こんなにいきなり覚えられない諸君の為に、これだけは、という元素を列挙しておく。まず水素 ${}^1_1\text{H}$ 、炭素 carbon ${}^6_6\text{C}$ 、窒素 nitrogen ${}^7_7\text{N}$ 、酸素 ${}^8_8\text{O}$ 。これらは有機材料の主要元素である。次に ${}_{26}\text{Fe}$ 、 ${}_{13}\text{Al}$ 、銅 copper ${}_{29}\text{Cu}$ 。これらは主要三金属元素である。また、銅から下に金銀銅が縦一直線に並んでいるのは面白い。そこで ${}_{29}\text{Cu}$ 、銀 silver ${}_{47}\text{Ag}$ 、金 gold ${}_{79}\text{Au}$ も覚えてみたい。そしてついでだが、 ${}_{29}\text{Cu}$ と ${}_{79}\text{Au}$ の両隣には、これまた有名な元素が居る。そこで、ニッケル nickel ${}_{28}\text{Ni}$ 、 ${}_{29}\text{Cu}$ 、亜鉛 zinc ${}_{30}\text{Zn}$ の 3 つと、白金 platinum ${}_{78}\text{Pt}$ 、金 ${}_{79}\text{Au}$ 、水銀 mercury ${}_{80}\text{Hg}$ の 3 つもセットで覚えてみよう。そう、周期律表に「エ」の字ができた。あと、錫 tin ${}_{50}\text{Sn}$ と、平成 23 年 3 月 11 日の大震災で発生した原子力発電所の津波トラブルで一躍有名になったセシウム cesium ${}_{55}\text{Cs}$ を覚えよう。これで結構物知りになった筈だ。なお、**Al** と **Fe** の原子番号が 13 と 26 と、「1 倍半分の関係になっていることも注目だ。

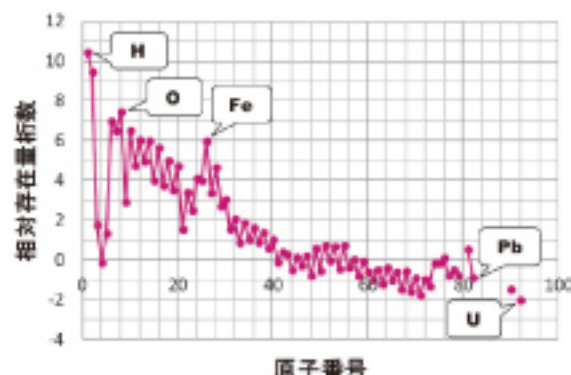


図 2-2 宇宙の元素組成

表 2-4 地球の主組成元素比率

元素	Fe	O	Mg	Si	S	Ni	Ca	Al
含有率	35.	28.	17.	13.	2.7	2.7	0.6	0.4

<発展>

● 枯渇金属

金属が採掘し尽くされた状態を金属枯渇と言うが、広義には消費が生産を上回り不自由する状態も含む。つまり、埋蔵量が少ない金属でも使わなければ枯渇しないし、大量に埋蔵された金属でも大量に消費すれば枯渇する。使用量は制御可能なので、制御できない埋蔵量が枯渇の要因になっていると言える。

厳密には、金属の資源量を完全には把握できない。石油にしても、過去にオイルショックが発生し、また真上から石油を吸い上げる垂直井 vertical well では採掘し尽くし、新しい油田は無いと言われていたりもしたが、相変わらず生産が続き、ある部分は産油国の意思に基づいて生産量が決められたりもしている。存在しても見つからない鉱脈もあれば、見つかっていても現代の技術では採掘できない鉱脈もある。主な金属の埋蔵量は一説によると、**Fe** が 2,340 億 ton、**Al** が 230 億 ton、クロム chromium **Cr** が 37 億 ton、マンガン manganese **Mn** が 6.8 億 ton、**Cu** が 3 億 ton、チタン titanium **Ti** が 3 億 ton、**Zn** が 1.4 億 ton であり、マグネシウム magnesium **Mg** 及び **Si** が多量と言われている。

4.2 節 引張試験



<要点>

引張試験は、最も基本的な評価試験である。平行部に標点を設け、負荷している荷重値と標点距離の変化を測定する。

<基本>

材料は、壊れたら用を為さなくなる。壊れないまでも、変形したら用を為さなくなることも多い。材料が壊れたり変形 deformation したりするのは、外から力を掛けて、それに材料が抵抗しきれずに負けたからである。外からの力を外力 (supplied / external) force と称する。

外力に対して材料がどの程度抵抗できるかを評価する試験の内、最も基本的な試験は引張試験 tensile test である。試験片の中央に幅狭の平行部 parallel portion l を設け、その中に2つの標点 gauge mark を設け、引張力 tensile force F と、それにより標点距離 (extensometer) gauge length が伸びた量 Δl を測定する。図 4-1 に試験イメージを示す。試験の結果得られる F - Δl グラフの処理と解釈については、次節で述べる。

機械工学科を卒業した学生は引張試験を体験し、得られる結果を解釈できる必要がある。日本では ISO 6892 に準じて JIS Z 2201 で、良好な引張試験のための金属引張試験片形状を定めている。表 4-1 に、各試験片を分類する。比例試験片 proportional test piece は標点距離と平行部の断面積の平方根の比が 5.65 の試験片である。また、定形試験片 non-proportional test piece は寸法を定めた試験片である。他にも、古来より用いられてきた日本独自の試験片もある。試験片両端を試験装置のチャック (治具) grip section で固定し、引っ張る。

板状材料は、一般的には板状試験片とする。1号片、5号片、13号及び14B号片の寸法を

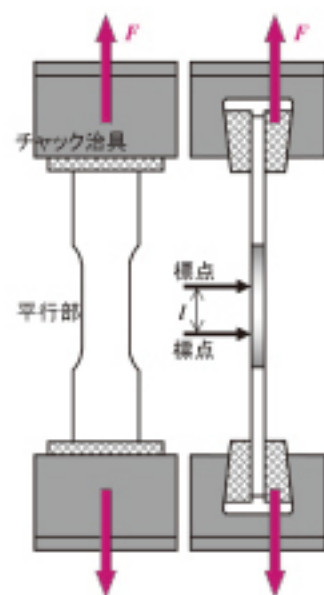


図 4-1 引張試験イメージ図

表 4-1 JIS に定める引張試験片形状規格番号一覧

試験片形状	板状	棒状	管状	円環状	線状
比例試験片	14B	2 14A	14C	14B	
定形試験片	1A, B 5 13A, B	4 8A ~ D 10	11	12A ~ C	9A, B

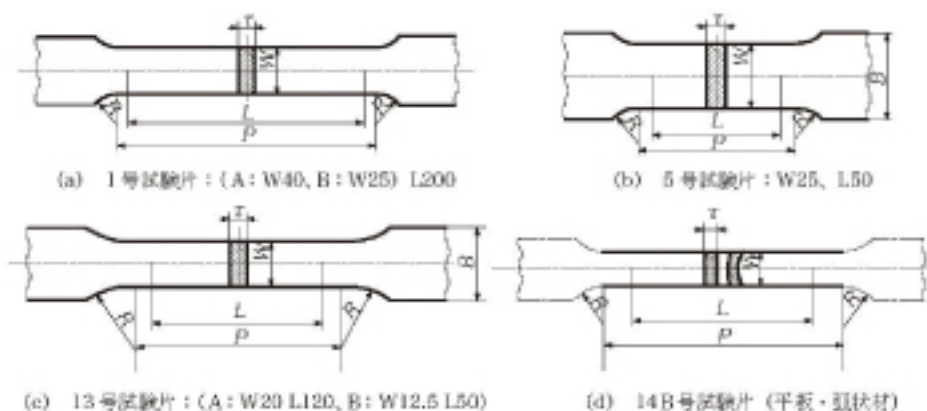


図 4-2 板状引張試験片

図 4-2 に示す。いずれも、 L が標点距離で、 P が平行部長さである。

また、棒状材料や厚板材料は棒状試験片とすることが多い。14A号試験片の寸法を図 4-3 に示す。 L が標点距離で、 P が平行部長さである。平行部の加工は、概してバイトで研削する。

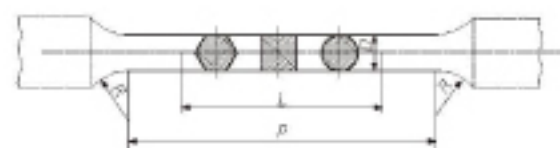


図 4-3 棒状引張試験片

<発展>

● 鋼管の引張試験

鋼管の引張試験は、細い物や特殊な事例では管のまま軸方向に引っ張る。この時には、JIS11号または14C号試験片を用いる。この方法は試験片を載せて作る必要が無いので簡単であるが、鋼管は伸びながら縮径するので材質の引張試験結果よりかなり伸びが良くなってしまふ。解釈に注意を要する。

鋼管表面の純粋な引張特性を検査する場合には、試験片を切り取りそれを引っ張る。この時には、JIS12号試験片を用いる。平行部は鋼管の両端がそのまま残るので、引っ張るうちにこれが平らになって来ることもある。厚く等してこれを平らにすると、そこで加工硬化が発生する。両方向の正確な試験は難しい。



図 4-4 鋼管引張試験片

10.1 節 生体のレベル感

<要点>

生命の最小単位は細胞である。細胞が集まり組織と成し、組織を組み合わせて器官ができる。器官を有機的に連結して生物ができ上がる。DNAは細胞でなく、生物ではない。

<基本>

え、ウイルス性の風邪だって？ 養生して下さい。ところで、ウイルスは生物だろうか？

答えから言うと、生物ではない。生物の定義は、生物学においては次の2点を満たす物である。

- ・(環境等に応じて)変化できる物
- ・(自らが風化して死滅する前に)増殖できる物

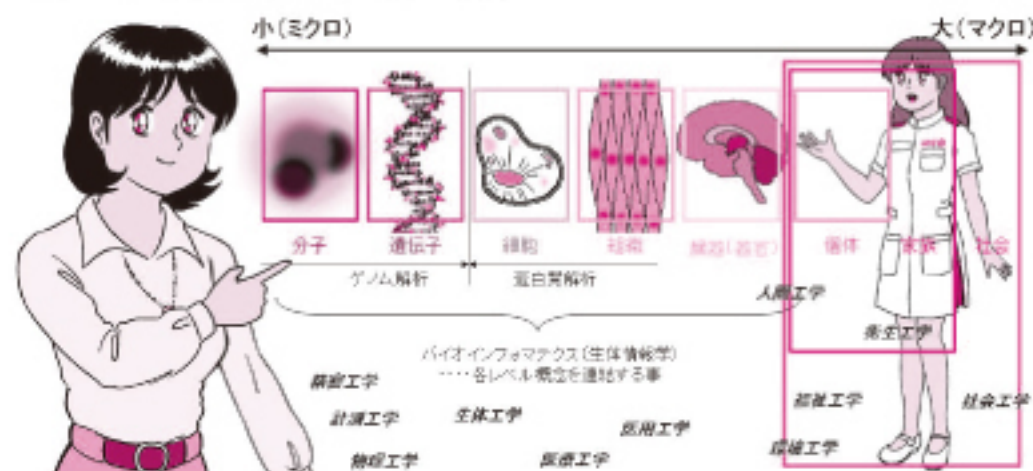
ロバート・フック Robert Hooke がコルク【⇒9.2節】を顕微鏡観察して、細胞を発見した。単細胞生物もいることから解るように、細胞 cell は既に生物である。細胞の中には、ミトコンドリアという動力源と、核という制御装置があり、細胞膜で自分の空間を確保し、そして細胞膜を介して物質交換して生命活動を維持している。

生物は進化した。その結果、より複雑な生命活動ができるように細胞が分化し、多細胞生物ができた。細胞は集合し、全体としてある機能を果たすようになる。これを組織 tissue と称する。人体においては、組織は上皮組織 epithelium tissue、結合組織 connective tissue、筋組織 muscle tissue、神経組織 neural tissue の4種類ある。組織がいわば部品として組み立てられ、器官 organ を形成する。各器官は生命活動に必要な具体的な活動を分担し合う。そして器官が集合して互いに機能を連結し、人間ができる。

一方、細胞を細かくしてみよう。実は細胞を物理的に分解すると、細胞膜、ミトコンドリア、核等のバラバラな部品となり、生物学的には意味をなさなくなる。そこで、次に核の本体であるデオキシリボ核酸 deoxyribo nucleic acid, DNA を持つてくるのが普通である。DNA はデオキシリボース deoxyribose (五炭糖)、塩基、及びリン酸 phosphoric acid H_3PO_4 の化合物であり、蛋白質の種類や組み立て方法を指示する設計図である。細胞は DNA によって作られたと考えるのである。実はウイルスは DNA(またはリボ核酸 ribo nucleic acid, RNA)である。さて、DNA は生物だろうか？ DNA はそれだけでは蛋白質を作れない。外からあるエネルギーを得た時に、その DNA が未だ壊れていなければ蛋白質合成を始めるが、それも蛋白質の材料が周囲にあってできることである。つまり、生物の条件である増殖を自発的にできないので、DNA は生物ではない。したがって、ウイルスは生物ではない。最小生命単位は細胞である。



ウイルスは自分で増殖できないからこそ他の細胞の中に入り、その細胞のエネルギーをもらい増殖する。その際、核の DNA とウイルスの DNA が喧嘩するのだ。大方の場合、長い方が勝つ。DNA は情報である。自分であるという情報をより多く残した DNA が、自分の再生を図るのである。即ち、ウイルスに体の一部を乗っ取られ、体内で戦闘状態となる。ある時は燃るべき細胞の機能を果たせず、またある時は望まない物質をウイルスに合成される。体調制御が行き届かなくなり、毒素や細胞破壊等により炎症が起こる。ウイルスはタンパク質につき 40℃前後で増殖するので、体は体温を上げてウイルスの駆逐を試みる。するとエネルギーや水分消耗が起こり、だるくなる。これが風邪である。



<発展>

●ウイルスと細菌

さて、ウイルスが生物でないとすると、ビールス、バクテリア、細菌は生物だろうか？ 答えを言うと、バクテリアと細菌は生物で、ビールスは生物ではないのだ。

賢明な諸君は既に気づいていたかも知れない。なぜこれらにアルファベットを付していないのか？ 実は、ウイルス virus とビールス virus は、全く同じ物を指す。ウチン語読みでウイルス、ドイツ語読みでヴァールスである(オーストリアの首都ウィーン Wien のドイツ語読みはヴィエナである)。また、バクテリアは(真正)細菌 bacteria のことである。細菌は細胞であり、培養液に浸せば自己増殖する。他の細胞は要らない。まあここは材料の教科書なので、生物の世界は遠目に見るだけにしよう。

さて、風邪を引いて病院に行くと、大きく2種類の薬を処方されるだろう。1種類目は対症療法薬、即ち症状を緩和する薬である。消炎鎮痛剤、抗アレルギー剤、胃腸薬等であり、病気のものを治す訳ではない。2種類目は病気そのものを治す薬であり、抗癌剤、抗生剤、場合によってはステロイド剤等がこれに当たる。風邪で抗生剤が処方される場合とされない場合がある。これは君の症状と、君が掛かった医師の性格に依る。抗生剤は様々な原理で蛋白質合成を阻害し増殖や生命活動を阻害する薬なので、生物にしか効かない。即ち、ウイルス性の風邪には抗生剤は直接効かない。処方されたとすると、風邪で免疫力が落ちて二次感染しないように備えたのである。二次感染は細菌感染がほとんどなので、抗生剤が効く。勿論、抗生剤は、君の体の中にある善玉細菌まで殺してしまう。抗生剤を飲むと下痢をしやすくなるのは大腸中のビフィズス菌も減ってしまうからである。

11.1 節 光



<要点>

光は、可視電磁波である。電磁波は、波長が長くエネルギーの小さいものから、電波、赤外線、可視光線(光)、紫外線、X線等に分類されている。

<基本>

電磁波 electromagnetic radiation は素粒子光子 photon の移動として捉えられ、粒子性と波動性の両面を持つ。電磁波には速さ speed、エネルギー energy 及び量 quantity の概念がある。真空 vacuum 中の速さは 299,792,458 m/sec であり、物質中では遅くなる。エネルギーは波長 wavelengths (光学は周波数ではなく波長で議論する)と対応し、波長の違いを人は色の違いとして認識する。また量は光子の数に対応し、明度や照度等の指標値と関係する。

表 11-1 に示す通り、電磁波は長波長 long wavelength (低周波 low frequency)側から順に分類される。最も長波長の電波 radio wave, RW は通信用として有効であり、赤外線 infrared ray, IR は熱を伝える。赤外線は赤色に近い近赤外線 near infrared ray, NIR、少し離れた中赤外線 medium wavelength infrared ray, MWIR、かなり離れた遠赤外線 long wavelength infrared ray or far Infrared ray, LWIR or FIR に分類される。一方紫外線 ultraviolet, UV は近紫外線 near ultraviolet, NUV と遠紫外線 vacuum ultraviolet, VUV に分類され、近紫外線は作用によって更に 3 種類に分類される。遠紫外線は地表には届かない。紫外線より短波長の電磁波は、電子軌道の遷移により発生する X 線 X-ray と、原子核エネルギー準位の遷移により発生する γ 線 gamma-ray に分類される。それぞれの境界波長は曖昧である。

様々な物体から発せられる電磁波は様々な波長であり、単一波長の場合もあれば、複数または連続波長の場合もある。太陽光は広範囲にわたる連続波長電磁波であり、可視光線の波長領域を完全に網羅する(白色光 white light)。水平線レベルにおいて 1kW/m² の熱量を与えるが、内訳は紫外線 32W/m²、可視光線 445W/m²、赤外線 527W/m² である。短波長の光程屈折せず、吸収されやすい。したがって、選んだ大気は短波長の光をより散乱させる scatters ので、白色太陽光が大気を横切る距離が短い昼は青く、長い夕方は赤く見える。太陽光をプリズム prism で分光する disperse と、可視領域に全観に亘るスペクトル spectrum が見られる。

<発展>

●可視光線

可視光線 visible spectrum、即ちいわゆる光 light とは、人の目 human eye で見える電磁波である。光の波長範囲 rage of wavelengths は概して 390nm ~ 750nm (周波数範囲 band of frequency は概して 400THz ~ 790THz) である。波長と周波数の換算については<発展>に記載する。人間の目が最大感度 maximum sensitivity を示す波長は概して 555nm (周波数は 540THz) である。

人は波長に対応して異なる色を認知する。可視光線は人間の都合により定義された物理概念であり、個人依存性もある。昆虫等他の動物に見えている光の一部は人間には見えないうし、別の者が赤と言った

光を自分も赤に感じるとも限らない。植物は受粉を助けてもらうために紫外光を反射し、蜂等の昆虫はそれを見て花蜜に寄ってくる。鳥は雌雄で異なる紫外の色合いの羽毛を持ち、雌雄を判別するために 300 ~ 400nm の紫外光を認識できる。猫は赤外線光を感知し、夜間活動できる。人間の見え目の色彩とはまた異なる風景を他の生物は見ているのである。人間は視覚に頼っているが、視界が全てではない。

表 11-1 電磁波の分類

名称	略称	波長	周波数範囲 [Hz]	特徴
電波	RW	1mm ~ 100km	3000 ~ 30000000	電波法で定義される
極長電波	ELF	100km ~ 1000km	3 ~ 3000	電波法の適用外
極短電波	SLF	10km ~ 100km	3000 ~ 30000	電波法の適用外
長電波	LLF	100km ~ 1000km	3000 ~ 30000	電波法の適用外
短電波	SLF	100km ~ 1000km	3000 ~ 30000	電波法の適用外
中電波	MF	100m ~ 1000m	300000 ~ 3000000	AM放送
短電波	HF	10m ~ 100m	3000000 ~ 30000000	短波放送
超短電波	VHF	1m ~ 10m	30000000 ~ 300000000	FM放送、VHFテレビ放送、航空無線
超短電波	UHF	10cm ~ 1m	300000000 ~ 3000000000	地上デジタル放送、1000MHz帯、衛星LAN、GPS、衛星放送、携帯電話機、無線LAN、デジタルテレビ放送
超短電波	SHF	10mm ~ 100mm	3000000000 ~ 30000000000	衛星LAN、衛星テレビ放送、衛星放送、衛星LAN、衛星LAN、衛星LAN、衛星LAN
超短電波	EHF	1mm ~ 10mm	30000000000 ~ 300000000000	衛星LAN、衛星テレビ放送、衛星放送、衛星LAN、衛星LAN、衛星LAN、衛星LAN
赤外線	IR	1000nm ~ 1mm	300000000000 ~ 3000000000000	可視光線と電波の中間領域
遠赤外線 (ファイナリー)	FR	1mm ~ 100mm	3000000000000 ~ 30000000000000	熱伝達による伝導
中赤外線	MWIR	2.5mm ~ 25mm	12000000000000 ~ 120000000000000	熱伝達による伝導
近赤外線	NIR	700nm ~ 2.5mm	120000000000000 ~ 1200000000000000	熱伝達による伝導
可視光線	VL	380nm ~ 780nm	750000000000000 ~ 7500000000000000	380 ~ 780nm で定義される
紫外線	UV	10nm ~ 400nm	7500000000000000 ~ 75000000000000000	
近紫外線	NUV	300nm ~ 400nm	75000000000000000 ~ 750000000000000000	
遠紫外線	VUV	10nm ~ 300nm	750000000000000000 ~ 7500000000000000000	
真空紫外線	VUV	10nm ~ 300nm	750000000000000000 ~ 7500000000000000000	
X線 (短波紫外線)	XR	10pm ~ 10nm	7500000000000000000 ~ 75000000000000000000	
γ 線	GR	< 10pm	> 75000000000000000000	

<発展>

●光の波動性

質量 mass の振動現象を意味する波動は、式(11-1)及び(11-2)の如くニュートン力学で記述できる。 ρ 、 $\Delta\rho$ 、 $\Delta\rho_{max}$ 、 f 、 t 、 θ 、 E はそれぞれ単位体積当たりの振動媒体の密度 density、その変化量、振幅 amplitude、周波数 frequency、時刻 time、位相ずれ、振動エネルギー energy を示す。

$$\Delta\rho = \Delta\rho_{max} \sin(2\pi ft + \theta) \dots\dots\dots (11-1) \quad E = 2\pi^2 \rho f^2 \Delta\rho_{max}^2 \dots\dots\dots (11-2)$$

一方、光の波動性は電磁波の伝播現象に付随する性質なので、アインシュタインのいわゆる、式(11-3)の如く光子のエネルギーを振動数と関係付けることにより光電効果を説明できるという事実に基づく。即ち、エネルギーは質量と周波数の積の形を探らず、振幅の概念は無い。 E_c 、 v_c 、 m_c 、 f_c 、 n_c はそれぞれ、光子 1 個のエネルギー、光速、光子質量、対応する周波数、対応する波長である。また h はプランク定数 Planck's constant で、値は 6.6260689633×10⁻³⁴J·sec である。光の波動式(11-3)と振動の式(11-2)は、本質的に異なるのである。

$$E_c = m_c v_c^2 = hf_c = h \frac{v_c}{\lambda_c} \dots\dots\dots (11-3)$$

単色光の電磁場の振動は式(11-4)で表記できる。 A_e 、 $A_{e,max}$ 、 A_m 、 $A_{m,max}$ はそれぞれ、電場 electric field の振動、磁場 magnetic field の振動、電場振幅、磁場振幅である。電場と磁場は、同じ方向に進み、振動方向が 90°異なる横波である。式(11-4)と式(11-1)は同形だが、意味することは違う場と質量と異なる。

$$A_e = A_{e,max} \sin(2\pi ft), \quad A_m = A_{m,max} \sin(2\pi ft) \dots\dots\dots (11-4) \quad \lambda = \frac{v}{f} \dots\dots\dots (11-5)$$

周波数 f は 1 秒当たりの振動数なので、1 振動数当たりの波長 wavelength λ を乗じると、波動の伝播 transmission 速度 v となる。即ち、式(11-5)が成立し、式(11-3)の右辺への変換が導かれる。