現代の物質観その 1
Modern view on the constituents of matter I.

Fujiwara Yoshikazu

2020 年 12 月 21 日

1　物理学の目指すもの

物理はもののことわりを追求する学問である。世の中にはいろいろな物質が存在するが、それらを細かく分けていくと、分子、原子、原子核、素粒子、quark、lepton、..... 等という細かい物質に分かれていくことが知られている。さらにそれらは、あるきまった物理法則によって支配されており、その物理法則はほんのひと握りの数の原理、原則に帰着されることがわかっている。これらのもとになる基本構成粒子とそれらを支配する基本的力学を明らかにするのがこのセミナーの目的である。 物事をより根源的な要素に分解して考えるこの様な分析的方法は、古代ギリシャのデモクリトスにもみられるが、一般に科学的方法として定着したのはルネサンス以後の西洋文明においてである。ニュートンの時代には物理学と数学は同時に発展していったし、中世の化学は錬金術であり alchemy と呼ばれていた。古代バビロニアの天文学は占星術であり、占いと政治支配の手段であった。現在我々が何気なく日常的に使っている暦や角度の測定に、古代天文学の習慣が色濃く残っているのは消して偶然ではない。これらを正しく知る事は、現在を生きる我々にも大変有益なことであると思われる。われわれは以下数回にわたって、我々が日常当たり前のこととして扱っている空間や時間についての基本的物理法則についても、人類の歴史的認識に則って見ていきたいと思う。これにより我々が現代たどり着いている自然認識についての理解を少しでも深めていくことができれば幸いである。

(大きい数、小さい数)

1, 2, 3, ... これらは通常アラビア数字と呼ばれるが、元来はインドで発見された記数

法であり、それがアラブ世界を通じてヨーロッパに伝わったものである。位取りを示す 0 (ぜろ) はインドで発見されたとされているが、これにより簡単な 10 進法による筆算の計算が可能になった。日常生活では、I, II, III, ... といった記数法もよく使われているが、これらはローマ数字と呼ばれている。ローマ数字は時計の文字盤 (図 1 参照) や本の章を表す場合にも用いられる。5 は V で、10 は X で表される。12 は XII と書く。12 を単位とする 12 進法は、時間や角度の測定に色濃く残っている。英語でも、eleven 、twelve 、thirteen 、fourteen ,,,、と 12 のところで明らかに切れ目がある。12 と言う数字は古代天文学における黄道十二宮に基づいている。これについては、また後ほど時間と暦のところで詳しく説明する。10 と 12 について、10 は 2 と 5 でしか割れないが、12 は 2、3、4、6 と 4 つの数字で割り切れる。
$10=2\times 5$
$12=2\times 2\times 3$
これらの倍数で最小のもの (最小公倍数と言う) は、$2\times 2\times 3\times 5=60$ である。実際、5-6 千年前のシュメール文明の粘土板には楔形文字で 60 進法の数記法が用いられている。(図 2 参照) また中国でも、すでに、殷王朝の時代から、干支 (えと、かんし) は甲骨文字として使われている。十干十二支の十干は 甲・乙・丙・丁・戊・己・庚・辛・壬・癸 。読み方としては、甲（コウ/きのえ)・乙（オツ/きのと)・ 丙（ヘイ/ひのえ）・丁（テイ/ひのと）・ 戊（ボ/つちのえ)・己（キ/つちのと）・庚（コウ/かのえ）・辛（シン/かのと)・ 壬（ジン/みずのえ）・ 癸（キ/みずのと）の 10 種類からなり、十二支は 子・丑・寅・卯・辰・巳・午・未・申・酉・戌・亥 (ね・うし・とら・う・たつ・み・うま・ひつじ・さる・とり・いぬ・い）の 12 種類からなっており、これらを合わせて干支と呼ぶ。これらは暦と方向を表すため、日本にも伝えられた。ある日を甲子とすると、第 2 日が乙丑、第 3 日が丙寅として 60 日で 1 周する。暦が戻るのでこれを還暦と言う。1 時間は 60 分であるし 1 分は 60 秒である。このように 60 と言う単位は日常生活にまで入り込んでいる。

数字の 0 を発見して位取りと言う概念を定着させたインド人の発明は、近代科学の発展において計り知れないものがある。ここら辺の事情は吉田洋一著「零の発見」(岩波新書刊) に詳しいが、これにより、単にいくつか 0 を加えることによっていくらでも大きな数や、いくらでも小さな数を表すことができるようになった。また例えば、125×31 を筆算で計算する事は小学生でもできることであるが、これを 12 進法で計算しようと言われると、そう容易ではないであろう。表 1 は、明治時代以降の日本の国家予算 (歳入) の推移である。

これを見ると日本語の記数法は零を 4 つつけて 4 桁ごとに、万、億、兆と進んでいくことがわかる。兆の次は 10000 兆=1 京である。これは英語で thousand の次は million、 is

図 1　永井みゆき「女の時計」Promotion video より

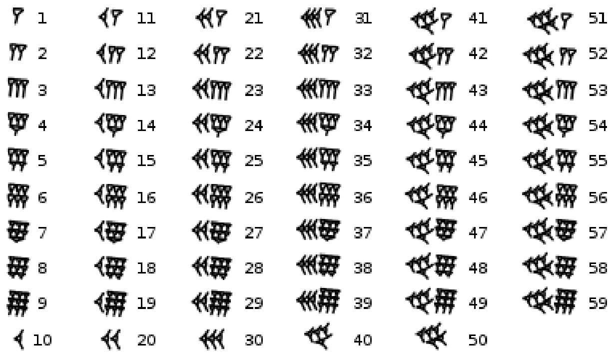

図 2　Babyronia の数字 (紀元前 2000-1000 頃) Wikipedia より

表 1　日本の国家予算 (歳入) の推移。Wikipedia より

明治元年	3444 万円	3444,0000
明治 23 年	1.1 億円	1,1000,0000
大正元年	6.7 億円	6,7000,0000
昭和元年	20.6 億円	20,6000,0000
昭和 26 年	8954.8 億円	8954,8000,0000
昭和 27 年	1.1 兆円	1,1000,0000,0000
平成元年	67.2 兆円	67,2000,0000,0000
平成 28 年	102.7 兆円	102,7000,0000,0000
…	…	…

billion、trillion と 3 桁ずつ進んでいくのとは大きく異なる。3 桁ずつであれ 4 桁ずつであれ、0 の数を数えて

$$
\begin{aligned}
10000 &= 10^4 \\
1000 &= 10^3 \\
100 &= 10^2 \\
10 &= 10^1
\end{aligned}
$$

と書けば、$1 = 10^0$ である。同様に 1 よりも小さい数も

$$
\begin{aligned}
1/10 &= 10^{-1} \\
1/100 &= 10^{-2} \\
&\cdots
\end{aligned}
$$

と表される。これと同様に便利なのが、メートル法で使われるところの、K、M、G、T、等である。例えば、長さの単位は

1 m (メーター)=1000 mm (ミリメーター)
1 km (キロメーター)=1000 m (メーター)

である。また 1 mm =1000 μ (ミクロン) である。
重さ (正確には質量) の単位は

$$
\begin{aligned}
1\ \mathrm{g}(\text{グラム}) &= 1000\ \mathrm{mg}(\text{ミリグラム}) \\
1\ \mathrm{Kg}(\text{キログラム}) &= 1000\ \mathrm{g}(\text{グラム})
\end{aligned}
$$

しかし 1 t(トン) = 1000 Kg(キログラム) は特別 (標準単位ではない)。コンピューターで一桁の 2 進数 (binary digit) は 0 と 1 であり、それを 1 bit (b: ビット) といい、一般に 8 bit を 1 byte (バイト) という。

$$
\begin{aligned}
1000\ \text{byte} &= 1\ \text{K byte}(\text{キロバイト}) \\
1000\ \text{K byte} &= 1\ \text{M byte}(\text{メガバイト}) \\
1000\ \text{M byte} &= 1\ \text{G byte}(\text{ギガバイト}) \\
1000\ \text{G byte} &= 1\ \text{T byte}(\text{テラバイト})
\end{aligned}
$$

である。

極端に大きい数や小さい数を表すのには、ログスケールが非常に役に立つ。一般に x と y を実数として、$y = 10^x$ の時、$x = \log y$ を y の log (ログ: 対数) と言う。(詳しくは、10 を底とする対数) 例えば、1000 の対数は 3、$0.0001 = 1/10000$= $1/10^4 = 10^{-4}$ の対数は -4 である。

単位系は以後数回にわたって説明するが、一番基礎になる力学の単位系は長さ、質量、時間の単位系であり MKS 単位系とはメートル、キログラム、セコンドの単位である。一方、cgs 単位系とは、センチメートル、グラム、セコンドからなる単位系である。MKS 単位系を拡張して国際単位系 (SI: system internationare、仏語) は以下の表のように基本的に 10^3 を単位に接頭辞が決まっている。

表 2　国際単位 (SI) 接頭辞。Wikipedia より

接頭辞	記号	1000^m	10^n	十進数表記	漢数字表記	short scale	制定年
ヨタ (yotta)	Y	1000^8	10^{24}	1 000 000 000 000 000 000 000 000	一秭	septillion	1991 年
ゼタ (zetta)	Z	1000^7	10^{21}	1 000 000 000 000 000 000 000	十垓	sextillion	1991 年
エクサ (exa)	E	1000^6	10^{18}	1 000 000 000 000 000 000	百京	quintillion	1975 年
ペタ (peta)	P	1000^5	10^{15}	1 000 000 000 000 000	千兆	quadrillion	1975 年
テラ (tera)	T	1000^4	10^{12}	1 000 000 000 000	一兆	trillion	1960 年
ギガ (giga)	G	1000^3	10^9	1 000 000 000	十億	billion	1960 年
メガ (mega)	M	1000^2	10^6	1 000 000	百万	million	1960 年
キロ (kilo)	k	1000^1	10^3	1 000	千	thousand	1960 年
ヘクト (hecto)	h		10^2	100	百	hundred	1960 年
デカ (deca)	da		10^1	10	十	ten	1960 年
		10000	100	1	一	one	
デシ (deci)	d		10^{-1}	0.1	一分	tenth	1960 年
センチ (centi)	c		10^{-2}	0.01	一厘	hundredth	1960 年
ミリ (milli)	m	1000^{-1}	10^{-3}	0.001	一毛	thousandth	1960 年
マイクロ (micro)	μ	1000^{-2}	10^{-6}	0.000 001	一微	millionth	1960 年
ナノ (nano)	n	1000^{-3}	10^{-9}	0.000 000 001	一塵	billionth	1960 年
ピコ (pico)	p	1000^{-4}	10^{-12}	0.000 000 000 001	一漠	trillionth	1960 年
フェムト (femto)	f	1000^{-5}	10^{-15}	0.000 000 000 000 001	一須臾	quadrillionth	1964 年
アト (atto)	a	1000^{-6}	10^{-18}	0.000 000 000 000 000 001	一刹那	quintillionth	1964 年
ゼプト (zepto)	z	1000^{-7}	10^{-21}	0.000 000 000 000 000 000 001	一清浄	sextillionth	1991 年
ヨクト (yocto)	y	1000^{-8}	10^{-24}	0.000 000 000 000 000 000 000 001	一涅槃寂静	septillionth	1991 年

参考文献

[1]「零の発見: 数学の生い立ち」吉田洋一著、岩波新書