

# 生活に関わり深い 水を化学する

Ver.1.0.0

鹿島 長次

(2011.10)

## 目次

<b>1. まえがき</b> .....	<b>3</b>
水を制するものが天下を制す .....	3
三水(雫)の付く常用漢字は 111 字 .....	6
<b>2. くの字型に酸素と水素の結合した水分子</b> .....	<b>9</b>
電荷を持つ微粒子からなる原子には電荷なし .....	9
同位元素は重さだけが異なる原子 .....	12
電子を受け取れば陰イオン、失えば陽イオン .....	14
結合により安定化する原子 .....	17
共有結合はイオン結合性を兼ね備えている .....	20
33%イオン結合性を持つ水の結合 .....	23
<b>3. 太陽に照らされて「地球は青かった」</b> .....	<b>27</b>
波長の長さで変わる光エネルギーの大きさ .....	27
紺碧に見える深水の水も掬えば無色透明 .....	30
赤外線で調べる宇宙の水の存在 .....	32
水を元気に躍らせて「チ～ンしましょう」 .....	35
<b>4. 水は一風変わった液体</b> .....	<b>37</b>
物質の持つエネルギーは 2 種類 .....	37
物質の状態を左右する分子間力と運動エネルギー .....	38
水は凍り難く蒸発し難い液体 .....	41
凍らせたまま煮詰めてつくるインスタントコーヒー .....	44
暖め難く冷め難い水 .....	46
分子の絡み合いで大きな粘性と表面張力 .....	48
0℃では凍らない海の水 .....	51
<b>5. 水と油</b> .....	<b>55</b>
化学反応は恋愛ゲームの如し .....	55
天秤のように鋭敏に傾く系の平衡 .....	56
水の中での物質の挙動 .....	58
酸と塩基は水素陽イオンを出すものと受け取るもの .....	62
酸にも塩基にもなる水 .....	66
仲の悪い水と油 .....	67
油の仲間を水の仲間にする石鹼 .....	70

水と油の間のまとめ役.....	73
溶媒だけ通す半透膜.....	76
<b>6. 多くの偶然の上に生まれた水の惑星.....</b>	<b>78</b>
地球から逃げ去った小さな分子.....	78
二酸化炭素の固定化を援ける水.....	81
水に支配される地球の気候と自然.....	85
生物の誕生は海の中で.....	86
細胞は界面活性剤でできたフラスコ.....	88
水の分解で作られるブドウ糖.....	91
生物の活力はブドウ糖が持つ化学エネルギー.....	93
牛を食べると豚になる.....	96
水に溶解難い油を溶かす水.....	99
カルシウム濃度で変わる水の硬さ.....	101
<b>7. 高が水、然れど水.....</b>	<b>104</b>
くの字型の分子が網目状に絡み合った水.....	104
あらゆる自然現象や日常生活に関わる水.....	105
<b>索引.....</b>	<b>108</b>

## 1. まえがき

### 水を制するものが天下を制す

地球は赤道上の半径が 6380km、表面積  $5.10 \times 10^8 \text{ km}^2$  の若干つぶれた球状の天体ですが、その 70.8% が海に被われています。水は良く知られているように  $0^\circ\text{C}$  で氷になり、 $100^\circ\text{C}$  で水蒸気に状態の変化する物質ですから、水温が  $0^\circ\text{C}$  よりもはるかに下がれば地球は凍り付いて液体がなくなりますし、 $100^\circ\text{C}$  を大きく超えれば液体のない砂漠のようになります。しかも、これらの状態の変化には大きなエネルギーの移動を要しますから、気温が  $0^\circ\text{C} \sim 100^\circ\text{C}$  の範囲を外れることはありません。そのために地球の気候は温暖で、生物にとって極めて適した環境となっています。

このような温暖な気候の地球上に生物が誕生したのは約 38 億年前でしたが、地表がこのようにほとんど海に被われていますから、その後 33 億年間にわたり生物は海中だけに棲息していました。そのため、生物の身体の約 70% は海水のような成分の水で構成されていますが、生物が約 5 億年前から徐々に上陸するようになっても、その生物の身体の組織は海中に棲息していた時代のものからあまり変化していません。実際、陸上に棲息する哺乳動物などの生物の身体を構成する物質においても海水のような成分の水が約 70% を占めています。極めて乾燥していて水の少ない砂漠に棲息する駱駝やサボテンでも、体内に大きな水がめのような組織を持っていますから、身体を占める水の割合はほとんど異なりません。

人間も哺乳動物の一種ですから、身体の成分の約 70% が水で占められており、液体の水を細胞膜と呼ばれる膜で包んだ組織になっています。成人は 1 日に尿や便などで約 1.5L の水を排泄し、約 1L の水を皮膚や肺から蒸発させていますから、合計 2.5L の水を毎日補給しなければ体内の水分量が減少して脱水症などを発症し、生命を維持することが出来ません。さらに、洗面や入浴の他に食べ物や食器や衣類を清潔にするための生活用水を必要とします。そのために、現代では図 1-1 に示すように水道の蛇口を捻るだけで水が常時利用できるような水道が完備されるようになっていますが、水の無いところには人間は生活することが出来ません。

幸い日本国内の降水量は気象庁の観測では最も少ない北海道網走で年平均 840mm、最も多い和歌山県尾鷲で 4100mm です。日本中どこでも多くの雨が降りますから、人間が通常生活するうえで十分な水が天から供給されています。しかし、サハラ砂漠から北東アフリカの地域やアラビア半島やパキスタンやアンデス山脈の山中やゴビ砂漠などでは年間降



図1-1 蛇口から滴る水

水量が 100mmに満たない地域もあります。特にツタンカーメン王が祀られていたことで有名なエジプトの王家の谷の付近では年間に 1mmにも満たない降水量しかありません。日本のように水の供給に困らない地域では、人間は何も考えることなく当たり前のこととして十分な水を使って生活していますが、ほとんど降水量のない地域では、生命を維持するための水を得るためにいろいろと知恵を絞り、また争いをしなければならなかったと思われまます。この生きるための努力が早くから文明を発達させる結果となったようで、降水量の少ない地域を流れる大河の畔にエジプト文明やインダス文明やマヤ文明や黄河文明が生まれたのではないかと考えられます。

文明が発達するに従い人間の必要とする水の量は増えてゆきますが、天から降ってくる降水量は変化しませんから、人口の集約と共に水の不足が生じます。ローマの年間降水量は日本よりは若干少ない 730mmほどですが、古代ローマ帝国の時代からローマの市内には多くの人が集まって大都市を形作っていましたから、十分な生活用水を得ることが出来ませんでした。そのために大規模な土木工事をして郊外から水道を引いていました。著者は 20 年ほど以前にエルサレムで催された学会に参加しましたが、その折にカイサリア国立公園で十字軍の造った水道の遺跡を観光しました。イスラエルの地中海沿岸は年間降水量が 530mmしかありませんからローマ帝国の土木技術を持ち込む必要があったようで興味深いものでした。

また、著者はカンボジアのアンコールワットを数年前に観光しましたが、そこに点在しているクメール文明の洗練された多くの遺跡に感動すると共に、ジャングルの中に繰り広げられている植物と人間のせめぎ合いの激しさに圧倒されました。この地域の年間降水量は 1500mm ですが、その大部分が雨季に集中しており乾季には降水がほとんど認められませんから、図 1-2 に示すような水道の施設が併設されていました。雨季には有り余るほどの水に恵まれており、周囲にも多くの沼地が点在しているジャングルですから、このような水道施設を眼にしたときに強い意外性を感じました。

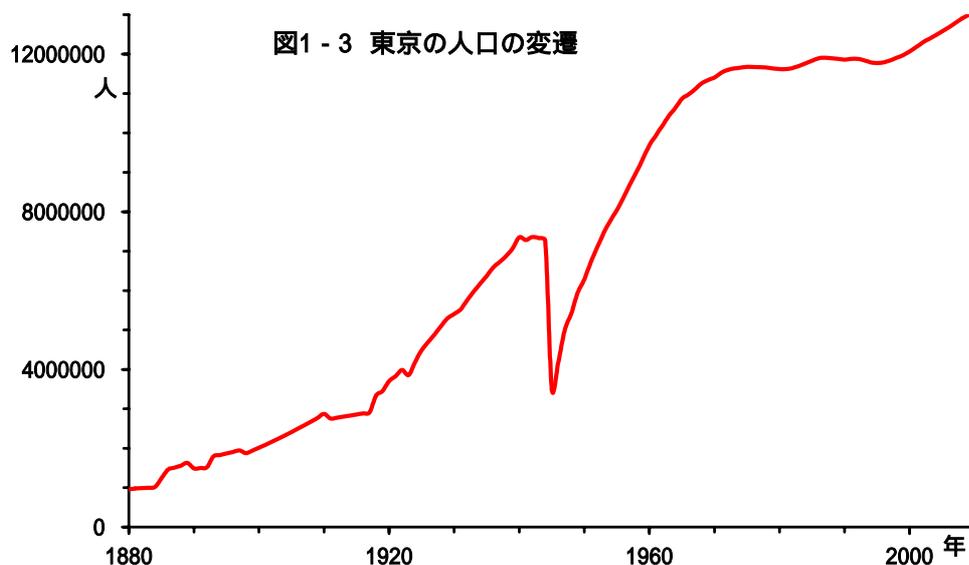
徳川家康が江戸に政治の中心を移すと共に、江戸は人口が飛躍的に増加して大都市に成長しましたので生活用水が不足するようになりました。杉本苑子が小説の主人公に取り上げた庄右衛門と清右衛門の玉川兄弟は、江戸が最も栄えた元禄時代（17 世紀）に多摩川上流の羽村から江戸の四谷まで約 50 km の長い水路を作り、水道として玉川上水を完成しました。明治維新の後も東京の人口は約 100 万人程度でしたから、玉川上水を改良して羽村



図1-2 アンコールの水道施設

で取水し淀橋に浄水場（現在の都庁の所在地）を作った程度で東京の水道は運営されてきました。しかし、昭和の時代になると政治的にも経済的にも東京への中央集権が進みましたから、図 1-3 に示すように人口が急激に増加し、それに連れて東京の生活用水の量も増加しました。その結果 2008 年の 1 年間には、東京都水道局は  $1.58 \times 10^9 \text{m}^3$  の水を配水しました。これに対して東京都の面積が約  $2190 \text{km}^2$ 、平均年間降水量が  $1460 \text{mm}$  ですから、島嶼部を除いて東京都内に降る雨の総量は  $3.2 \times 10^9 \text{m}^3$  と概算できます。このことは東京都に降る雨の半分以上を利用しなければ、東京の生活用水を賄うことは出来ない計算になります。しかし、梅雨や台風の季節に集中して降る雨は利用が困難ですし、降っても直ぐに蒸発する雨水も利用できませんから、降水量の 50% を利用することは不可能です。そのために、多摩川の上流に小河内ダムを造って多摩川水系の水を無駄なく完全に東京都の水道に供しましたが、需要に追い付かず荒川水系と利根川水系の水も加えて現在の東京の生活用水を賄っています。

ゴビ砂漠から黄海まで流れる黄河は中国の人々に豊かな恵みを与えてきましたが、しばしば洪水の大きな被害ももたらしてきましたので、黄河文明が発祥し発達してきましたが、その過程で歴代の中国の皇帝は黄河の流れを治めることが最も大切な仕事でした。また、武田信玄は南アルプスや八ヶ岳を流域に持つ釜無川に信玄堤を築いて洪水の被害を減らすことができたために、武田の赤備えと呼ばれる強力な軍隊を備えることができました。そのため古くから「水を制するものが天下を制す」といわれてきました。このように水の不十分な地域に文明が発祥し、文明の発達と共に水の使用量が増加してきました。現在はまだほとんど塩分を含まない水だけを利用していますから、需要に対して生活用水の供給量はかなり逼迫しています。著者の子供の頃には水と空気は無限に存在し、無料で使える物質と考えていましたが、水資源などという言葉が新聞を賑わすほどに水はいまや貴重な資源で有効に利用しなければならなくなっています。

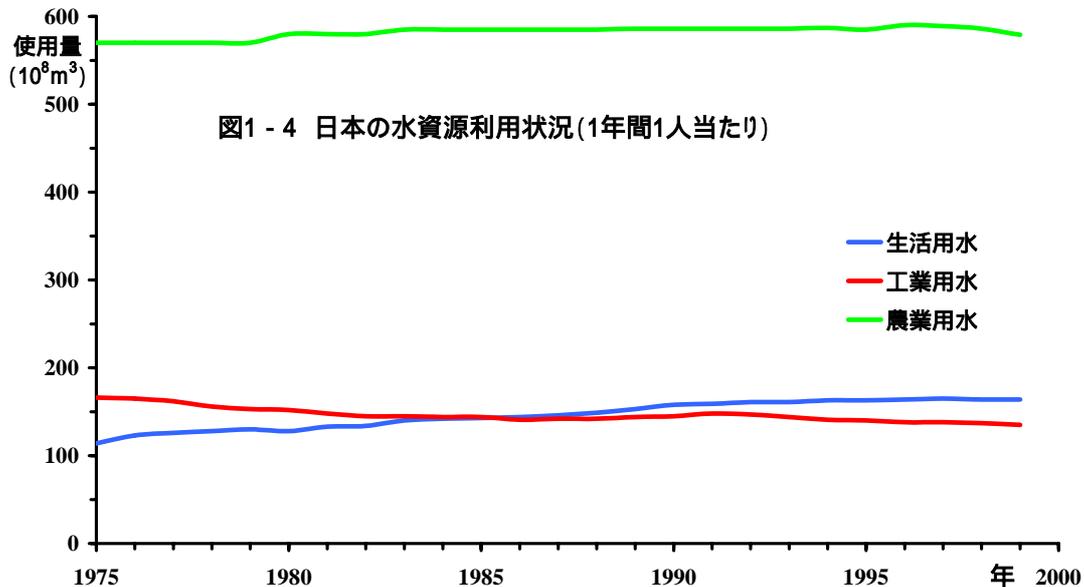


### 三水(氵)の付く常用漢字は 111 字

黄河流域で生まれた黄河文明は意味を持つ表意文字の漢字を発明しましたが、その多くの漢字が日本に輸入され日本語を形作ってきました。しかし、その文字数は数万に及ぶために、情報処理などの点で複雑になり過ぎて利便性が悪い状態になっています。幸い日本語では仮名文字と呼ばれる表音文字を併用していますから、実際的にはそれほど多数の表意文字を必要としません。そこで現在、2136 字の漢字が常用漢字として日常生活で用いられていますが、この中で水と氷と尿と泉の他に、三水(氵)の付く漢字の汁、汚、汗、江、池、沖、汽、決、沈、沢、没、泳、沿、河、泣、況、治、沼、注、泥、波、泊、泌、沸、法、泡、油、海、活、洪、浄、洗、浅、染、津、洞、派、洋、消、浜、浮、浦、浸、浴、流、涙、浪、酒、液、涯、渴、溪、混、濟、洪、淑、涉、深、清、淡、添、婆、涼、渦、温、減、湖、港、滋、湿、測、渡、湯、満、落、湾、滑、漠、源、溝、準、滯、滝、塗、漠、滅、溶、演、漁、漆、漸、漬、滴、漂、漫、漏、瀉、潔、潤、澄、潜、潮、激、濁、濃、薄、濯、藩、濫、瀨、藻の 111 字と共に雨、雪、雲、霧、電、雷、零、需、震、靈、儒、霜、霧、露の 14 字の雨冠の漢字が水に関係のある漢字として含まれています。これらの中には既に水とは関係した意味を失っている決、況、治、法、涯、濟、淑、添、婆、漠、準、演、藩などの漢字も含まれていますが、大部分は未だに水と密接な関係の意味を持った漢字として用いられています。ちなみに、水と同じように地表を覆っている土に関する土偏の漢字は 46 字しか含まれて居ませんから、如何に水が日常生活に密接に関わっているか分かります。

夕暮から就寝までの我が家の日常的な行動を振り返ってみますと、お米を水で研ぎ、同量の水を加えてご飯に炊き上げます。レタスやセロリや胡瓜などの野菜は水で洗って刻みサラダ皿に盛り付けます。豚の薄切りに生姜と醤油と酒を加えて味を付けて、フライパンに油を引いて焼きますと豚の生姜焼きになります。鰹出汁の入った汁に豆腐を入れ醤油と塩で味を調べて澄まし汁を作ります。沢庵漬を二切れ付けて夕食の用意完了です。食器を洗い、食卓を拭き清めて夕食の後片付けの終了です。食後は熱いお湯で淹れた番茶を飲みながらテレビをのんびりと見ます。お腹が落ち着いた所でお風呂にお湯をためて入浴し、その日の疲れを取ります。カミさんはその日の汚れの付いた下着や靴下を洗剤と共に洗濯機に入れて水を注いで洗濯します。寝る前に口を漱いでトイレで尿を排泄して、一日の活動が終わります。多少の語呂合わせもありますが、このわずかな数時間ほどの間の行動を記述するために、三水(氵)の付く漢字が多く用いられていることから、極めて多くの行動で水の関与していることを暗示しています。しかも、この間に調理に 20L、食事の後片付けに 10L、洗濯に 50L、入浴に 120L、トイレの水洗に 20L ほどの水を使用していると見積もることができます。実際、我が家では約 15m<sup>3</sup> の水道水に相当する水道料金を毎月支払っています。

1 つの家庭を見てもこのように多くのことに水が関与し、大量の水が生活用水として消



費されています。東京都水道局の総配水量  $1.58 \times 10^9 \text{m}^3$  を東京都の総人口  $1.26 \times 10^7$  人で消費しているのですから、東京の住人が1年間に1人当たり約  $125 \text{m}^3$  の水を消費していることになりませんが、世界の人々は1年間に1人当たり約  $63.5 \text{m}^3$  の生活用水しか消費していません。このほかに日本人全体としては1年間に1人当たり食糧を生産するための農業用水に約  $450 \text{m}^3$ 、鉱工業に用いられる工業用水に  $128 \text{m}^3$  が用いられています。日本人は便利で贅沢な文明生活を享受していますから、炊事や洗濯や水洗トイレや入浴や洗顔などに大量の水を必要以上に消費しています。国土交通省が報告している「日本の水資源白書」によれば、図1-4に示すように1975年の水資源の利用量に比較してその後の25年間に、農業用水の増加量はわずかに2%とほとんど変化がありませんが、生活用水は43%も増加しています。これに対してこの25年間に回収して再利用する技術が進歩したために、工業用水は19%も節約するようになっていました。このため日本人が利用する水資源の総量は3%の増加に留まっています。

日本は比較的降雨量の多い地域ですから、現在までに水資源が危機的に不足する事態には至っていませんが、日常生活が贅沢になれば生活用水の使用量も増加しますし、鉱工業が発展し拡大すれば工業用水も増加します。さらに、世界の人口の増加に伴う食糧不足に対する食糧増産のためには多くの農業用水が必要になると考えられます。しかし世界の降水量が大きく変化することは考えられませんから、水資源の節約か、無限に存在する海水の水資源への有効利用を考えなければなりません。そのためには地球を覆っていて身の回りの何処にも当たり前存在している水の性質を改めて見直すことが肝要と考えられます。

地球上に大量に存在する水は極めて簡単な構造の化学物質ですから、本書では水の性質を化学の知識を織り交ぜながら調べて、日常生活を取り巻く種々の物質や現象や利用法などを水の性質と関連させて、独善的に見てゆこうと思います。さらに、地球が水の天体で

あり、水が地球上の天然自然の現象に大きく影響を与えていることや生物が水なくしては誕生も進化もありえないことも水の性質を通して化学的に考えてみたいと思っています。日常生活を取り巻く水が簡単な分子でありながら極めて特異な性質を持つ化学物質で、その水の性質を改めて考え直すことで、何か一つでも化学の研究や教育に役立つものが見つけ出せば良いと思っています。また、逆に水に関する化学的な技術や知識が日常生活を豊かにする新たな水資源の有効利用の技術や知識を生み出す助けになれば、本書はさらなる意義を持つことになると思われます。