

バイオカフェレポート 「21 世紀地球市民の水とのつき合い方」

吉野輝雄

はじめに

私の専門は有機（糖質）化学。理系でない学生に「水を通して自然と人間についてを考える」という（構造式は H_2O 以外を使わない）講義を約 25 年続けてきた。学生も興味をもって来て、学生からの質問やレポートから刺激を受け、私も水の面白さにのめりこんでしまった。水はありふれた物質か？「化学と工業」（日本化学会の機関誌）の最新号（7 月号）で「水はどこまでわかっているのか」という特集を組まれるほど、実は、自然環境や人体の中の水の挙動など、わかっていないことだらけ。水は今も化学のトップテーマの一つだ。

「水はユニークか？」を考えるために簡単な実験をしよう：2つのコップの水に氷を入れる。一方は底に沈み、他方は表面に浮いた。皆さんの見慣れている景色はどちら。氷が底に沈むなんておかしい？いいえ、自然界に存在する 99%以上の物質は固体になると底に沈む。氷が水に浮く方が異常な現象で、水のユニークさがここに現れている。

実験の種明かしすると、水の密度は 1、アルコールは 0.786、氷は 0.917。氷が沈んだ方の液体はアルコール。納得？

「水は無味・無臭、どこにでもある最もありふれている物質だ」、という認識は正しいだろうか？実は、これは学生に課していた最終試験問題。学生のユニークなレポート（答案）を HP に公開しているのでご覧頂きたい。

(<http://subsite.icu.ac.jp/people/yoshino/waterstage.html>)。学生の発想にはいつも感心させられ、面白い。

地球は水の惑星

地球は表面の 71%が水で覆われ、多様な生命が存在している。8つの太陽系惑星の中で地球にだけ大量の液体の水が存在する。水が液体として存在する温度は 0-100°C（1気圧として）。水星表面の平均温度は 300°C、金星は 200°C、地球は 15°C、火星- 50°C、火星よりも外側の星ではもっと低くなる。温度は太陽からの距離と関係し、地球との距離は水が液体として存在できるちょうど良いことになる。月と太陽の距離が地球との距離と余り変わらないのに海がないのは、月のサイズが小さく引力が 6 分の 1 だからだ。地球と月は同じ頃にできたのだが、月の水は宇宙空間に飛散し水のない衛星になったと考えられている。地球は太陽からの距離と大きさが水を保つのにちょうど良い条件を満たしているのだ。46 億年間、地球上の水は循環し総量は変わっていない。これが地球の水の際だった特徴だ。石油は枯渇し、ウランもなくなるだろうが、水の総量は変わらない。けれど、水不足の時代がやってくる。

月の表面温度は毎日、マイナス 180°C と 110°C の間を変化している。地球の一日の温度変化が小さいのは水があるから。水は比熱が大きく、冷えにくく温まりにくいので、地球の一日の温度変化は小さく抑えられている。地球環境には水が大量にあるので、平均温度 15°C！水のユニークな性質によって地球環境が支えられていることが分かる。

地球は生命の星

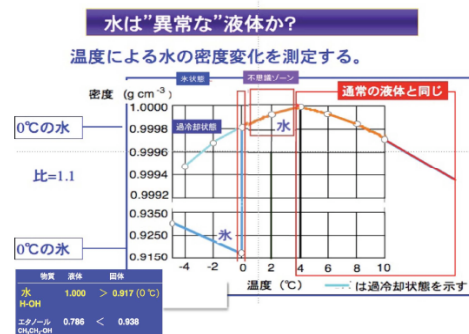
生命は 34 億年前に海の中で誕生した。有機化合物、核酸塩基、液胞ができ、複製できるようになったとき、コアセルベートという原始細胞ができたと考えられている。海の中は紫外線で守られ、複数の細胞が複合した多細胞生物へと進化（複雑化）していった。

23億年前、光合成をするシアノバクテリアという生物が登場し、二酸化炭素と水から体内で糖をつくり、酸素を作り出した。酸素濃度が20%もある惑星は地球だけで、他の惑星では1%以下だ。酸素は呼吸や燃焼に必要なだけでなく、金属の腐食や物質の分解に使われる。また、酸素は上空でオゾンとなって地球上の生命を紫外線から守っている。宇宙誕生を元旦とすると、人類（ホモサピエンス）誕生（50万年前）は大晦日の午後11時、エジプト文明（8000年前）は午後11時59分、産業革命200年前は夜中の12時の1.5秒前となる。人間は地球では新参者なのだ。だから環境とつきあうとき、自然への畏れを持っているべきではないか。あらゆる生物が共生できる社会をつくるのが人間の基本的責任ではないか。

水の三態

水の融点、沸点は異常に高く、分子は小さい（分子量18）のに凍りにくく、蒸発しにくい。つまり熱変化し難い物質だ。また、表面張力が大きく、凝集力（分子間力）が大きく、毛管現象で高いところに昇れる。水は何でも溶かす。沸点が高く蒸発しにくいのは、分子間引力が大きいからだ。

水温があがると膨張し密度が小さくなるのが普通だが、水は0~4℃までは逆に密度が小さくなり、4℃で密度が最大となる。0℃で氷になると11分の1だけ液体の水の密度が小さくなる。だから約9%の氷がオンザロックとして水の上に出る。凍ると膨張するので厳冬に水道管が破裂し、岩の隙間に入った水が凍り岩が割れる。水は異常（ユニーク）な性質を持つことが分かる。



自然環境との関係

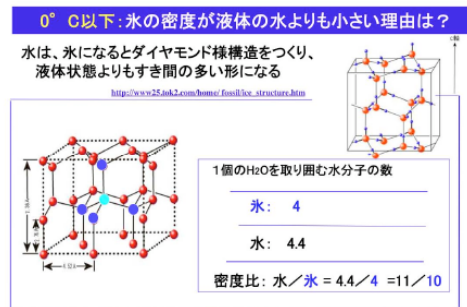
水は水に浮く。厳冬マイナス20℃の釧路湖でも中は凍っていない。表面だけ凍り、湖底には4℃の重い水があるので魚は死なない。もしも氷が湖底にたまと、春の光がさしても、底まで光は届かず魚は死んでしまうだろう。氷を解かすのには大きな熱が必要なので湖はいつまでも冷たいままのはずだ。

水、シリコン、ビスマスだけが、固体になると軽くなるという変な性質を持つ。氷の結晶構造はダイヤモンドに似ている。氷は隙間の多い構造で、水分子の周りに4つの分子が集まっている。液体では4.4個。つまり、氷の密度は11分の1だけ小さくなる。

水は表面張力が大きく、毛細管作用によって親和力の大きな紙や木綿を濡らし隙間にしみ込む。高さが100メートルにもなるメタセコイヤの木は、水が毛細管現象で6メートルまで昇り、さらに親水性の植物繊維の表面を濡らそうとする性質と葉から蒸散する力によって、木のてっぺんまで水が運ばれる。

ヒトの体の65%は水（血液の63% 筋肉の76%、骨の12%が水）。ヒトは毎日20の水を取り入れ、20排出している。実は、生命活動維持には約2000の水が必要。でも2000も飲まないですむのは、腎臓が老廃物をろ過して水を使いまわしてくれるから（リサイクル）。汗をかいて体温調節をするのも、水の大きな蒸発熱のお陰。

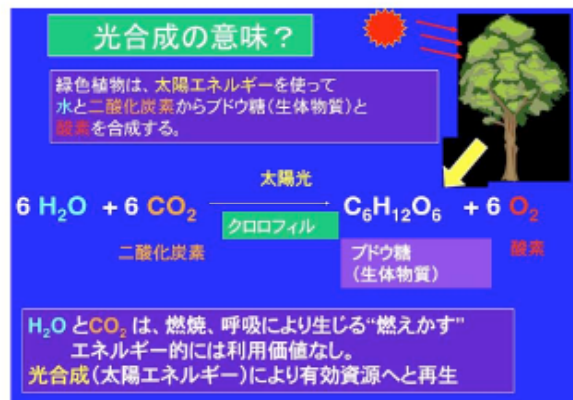
動物の毛細血管まで酸素と栄養物が運ばれるのは、水がいろいろなものを溶かし込んで運ぶことができるからだ。水ほど多くのものを溶かせるものはない。たんぱく質、糖は水に溶けて体の隅々に運ばれ、水に包まれた細胞内で生命活動を担っている。油は水に溶けな



いが、胆汁酸が界面活性剤の働きをして、油を胆汁酸でくるんで体中に運び、酵素で分解し生体物質とエネルギーをつくり出す。海のように大量な水があれば、溶けないものでも微粒子となって完全に分散し「溶けた」状態になる。例えば、水に溶けない DDT や化学物質であっても、海水中からそれらを取り入れ魚を私たちが食べると、食物連鎖を経て私たちの体に戻ってくる。

光合成

緑の植物は、太陽エネルギーを受け二酸化炭素と水からブドウ糖と酸素をつくる。逆に、枝木や石油を燃やしたり、呼吸によって熱エネルギーが放出され、同時に二酸化炭素と水を生成する。つまり二酸化炭素と水はエネルギー生産後の燃えカスなのだ。その燃えカスから有用な物質（ブドウ糖、デンプン、セルロース）を作り出すのが光合成と考えると、光合成こそが、生命を維持する価値のある有機反応と言える。



こんなにすばらしいことを道端の雑草は毎日やっている。緑の草木のことを思うと、森林破壊なんてとんでもない行為だ。ノーベル賞の根岸先生は「夢は光合成を人間の力で実現すること」といわれた。さすが！光合成の実現こそ次世代にやってもらいたい価値ある研究の一つだと思う。

人間生活を支える水

水資源とは、生活用水、農業用水、工業用水などだ。日本では年間 900 億トンの水を水資源として使っている（泳ぐ、水運など水を消費しない利用は含まれない）。GNP があがると水の消費量があがる。発展途上国でも、人口が増加し、工業化や都市化が進むと水需要も増える。日本人は、料理、お風呂、洗濯、トイレ等で 1 日一人です約 300ℓ使っている。飲み水の量は 2ℓと少ない。都会の水需要はどんどん上がってきたが、節水で 316 ℓに落ち着いている。仮に、歯磨き中に水を流しっぱなしにすると、30 秒で 6ℓ使う。これでは 21 世紀に生きる人間としては失格だ。世界平均では一人 1 日 150ℓ、アフリカは 100ℓ以下で暮らしている。世界人口が 70 億人を超える 21 世紀は、水不足が人間が直面する最大の課題と言ってもよい。

地球環境を支えている水

大部分は海水。淡水は 2.6%、生活に使われている水は 0.01%。この 0.01%の水をどう分配するのが重要な課題だ。海水の淡水化で水不足が解決するという意見もあるが、膨大なエネルギーを必要とする。技術の推進が不可欠だが、それだけでは問題は解決しないだろう。地球環境全体を視野に置いた解決策を見なければ平和な未来はない。そこで、「地球環境をつくっている水の大循環」に注目する。

地球の 71%を覆う海の水の一部が太陽熱によって蒸発し、再び地上に降る。海面から蒸発した水の中 40 兆トンが雲となって陸の方に運ばれ、陸地から蒸発した水と共に降水となる。この降水量が年間 115 兆トン。陸に降った雨の



中 40 兆トン、山地、畑を潤し、やがて川や地下水となって海にもどる。この「水の大循環」が 45 億年繰り返されている。人体の中でも水は腎臓でろ過されて循環している事を思い出そう。水にとって大事なことは循環（リサイクル）だ！。地球の水を循環させているエネルギー源は太陽熱。

循環水の仕事は偉大だ。例えば、毎年 40 兆トンの海水を淡水化している。山地に降った雨水は水力発電源となる。陸地に降る 115 兆トン淡水が「水資源」であり、生活用水、農業・工業用水、生物環境の維持、光合成に使われる。海・湖沼・川の水は大きな比熱・蒸発熱により地球を温和し、気象を支配している。また、水は大量の二酸化炭素を吸収している。

海には魚や海草が生きている。日本人は魚好き。海は大量の水が溜まっている場所でなく生命を育てている場所だ。水の景色はまた、私たちが癒し幸せな思いにしてくれる。

地球の水環境問題

今、工場による水質汚染の割合は小さくなっている。法規制により改善されたからだ。多くの工場では水を再生利用している。むしろ、家庭の生活排水が水質汚染源の最大の要因になっている。生活排水汚染の割合は減らないのは、注意はできても規制ができないからだ。だから、市民の良識が大事。市民が動かなければ環境問題解決には至らない。

70 億人の世界の人を支えるには毎年 20 兆トン余の水が必要。水の大循環により天から与えられる水の総量は 115 兆トンと限られている。どんなに水利用技術が進んでも降水量の 2 割が限界と言われている。75 億人使う水を予測計算すると、今の降水量の 2 割に近い（日本政府はあと 3,000 億トン位使えるというが）

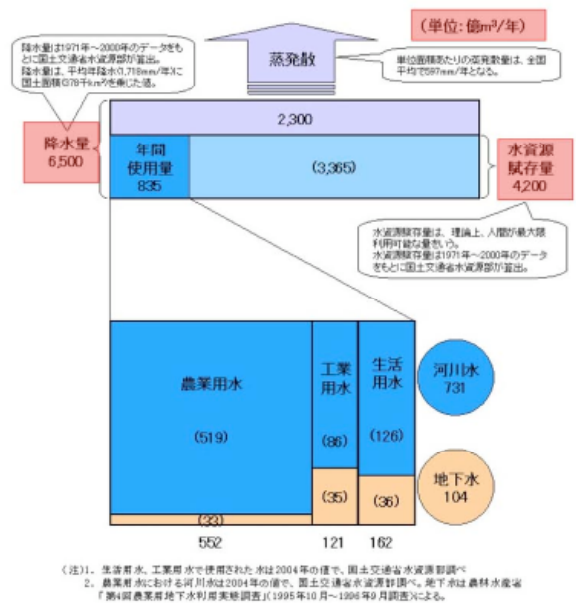
世界には雨の多い所、雨の少ない所が混在している。雨の少ない地域は危機感をもっているが、近い将来、世界的な水の危機に直面することは明らか。水の分配、共有が人類生存の大きな課題だ。

どうしたら水を有効利用できるか？雨水を貯めれば水資源となる。墨田区の国技館では、水洗トイレは雨水を利用している。日本は森林が多く、保水能力が高い。森林にはダムの 19 倍の保水能力がある。森林が豊かであれば、鉄砲水洪水が防げる。多様な地中生物が棲む事もでき、森林ハイキングもできる。森林は水問題解決のキーワード！

日本の降水量は 1,600mm。世界 3 位。ところが、日本人は一人当たりをみると水不足国。サウジアラビアより悪い状況。しかし、水不足の実感がない。輸入される農畜産物を間接水（バーチャルウォーター）として使っているからだ。日本の間接水量は年間 746 億トン！自前の 900 億トンの水に加えて間接水を使っている現状をいつまで続けることができるだろうか。

水戦争

20 世紀はエネルギー（石油、石炭）を獲得するために戦争をしてきた。しかし、80 カ国で水不足になっている 21 世紀は水戦争の時代となる、と予言されている。イスラエルの第 3 次中東戦争は民族間の領土問題のように見えるが、実はガリラヤ湖の水を得るための水戦争でもあった。インドとバングラディッシュの間にも水紛争がある。



まとめ

私は、受講生に、Think globally, Act locally! と言っている。

すなわち、環境問題は地球的・世界的視野で考え、何よりも今いる所を大事にし、自分にできるところから行動を始めることが大事だ。あなたは自然環境をどれだけ大事なものとして実感しているか？。自然がすぐそばにある浦和の農村で育った私は、都会の人と生活するようになって劣等感を持っていたが、50歳を過ぎてから、当時の田舎育ちがいかに自分の感性を育て、豊かな自然に恵まれていたのかが分かった。それが定年前にICUで環境研究メジャーの立ち上げに取り組む原動力となった。

アメリカでは、水源地を買い占めるウォータービジネスが始まっている。中国で水はエネルギー問題より大きいという。北海道の山間地が買われているという話も聞く。上流の水を買い占めて外国資本でもっていく水工場をつくるのがペイできるようになるかもしれない。水資源をビジネス材料にしてはいけないと私は思う。石油とは違う。水源地の買占めを許してはだめだ。海水の淡水化は日本が誇る技術だが、抜本的水問題解決につながるか。日本の水ビジネスは今世紀半ばまでに100兆円ビジネスになるといわれ、今、国をあげ、多くの企業が参入しようとしている。フランスも以前から水ビジネスには熱心だ。私たちはのんきすぎるのではないだろうか。

話し合い

- 石巻のヘドロだしをしてきた。海に垂れ流してきたものが陸地に戻された気がした。過去に流したものはきれいになるのだろうか？
- なる！汚水を流し続けていけば、海の浄化は遅くなるだろう。けれど、江戸前寿司が食べられるようになったという人もいる。昔のヘドロが蓄積されていても、海の中をかき混ぜられたら、プランクトンや海草の働きで浄化される。自然のしくみはスゴイ。しかし、時間がかかり、浄化の条件を整える必要がある。よどんだ川でも、流れを起こすと浄化し、清流にもどった例がある。