

# 水—このありふれた不思議で貴重な物質

九州大学名誉教授 高 島 良 正\*

## 1. はじめに

昔、ギリシャの自然哲学者は水は宇宙構成の四元素（水、空気、火、土）の一つと考えた。そのように水は万物の根源となるように身の回りに広く存在している。しかし銀河系に存在する無数の星の中で表面が満々たる水で覆われているのは地球だけであり、地球は水の惑星と言われる。空気もまた地球上の最もありふれた物質であるが、それは目で見ることはできず、風の動きでその存在を知ることができるものである。それに対し、水は地球上で気体、液体、固体の状態で存在し、自然界で非沸騰型蒸留（蒸発散）によって精製された水が常に供給され河川となり海をつくっている。このように水は身近にいろいろな様態で存在するので、同じ化学物質に水、氷、雲、雨、雪、霜、露、霞、雹など多様な名前がつけられている。一方、水にまつわる言葉にも、水入らず、水入り、水商売、水掛け論、水に流す、寝耳に水、みずみずしい、我田引水など多数あるが、これは日本独特のもので、たとえば英語やドイツ語にはあまりない。日本語には本来微妙にニュアンスの違う言葉が多いが、特に水にかかわる言葉が多いのは、古来水田を利用した稻作文化と密接な関係があると考えられる。

水は地球表面に豊富に存在する物質とは言

え、世界中どこにでも十分にあるというわけではない。中国やアフリカには広大な砂漠があり、砂漠化は人口増による無秩序な森林伐採などで一層進行しつつあるという。今でも世界人口約62億人中約20億人が恒常的な水不足に直面し、約10億人は安全な飲料水も確保できないでいるという報告がある。

我が国は、豊葦原瑞穂の国と呼ばれ山紫水明の国であるから、比較的水に恵まれているが21世紀半ばにもなると、世界の水をめぐる争いに巻き込まれるやも知れない。

## 2. 水の不思議・特異性

水はありふれた物質であり、化学を勉強し始めたらまず $H_2O$ を水の分子式と覚え誰も知らない者はない。筆者も化学を本格的に勉強しようと理学部化学科に入学したが、当時は水が化学的に重要な物質で、水と係わりをもつとは夢にも思わなかった。しかし化学を勉強し始めると、結晶水や錯形成が関与する無機化学分野でも、またタンパク質が関与する生化学、有機化学分野でも重要な役割を果たすことがわかり、多くの化学者が水に関連した研究を行っていることがわかってきた。最初の学生実験で硫酸銅の調製をやったが、この時はブルーのきれいな結晶ができるが、これには $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ という5つの結晶水が

\* (財) 九州環境管理協会 理事長

含まれているからで、結晶水を取り除けば単なる白い粉末に変わってしまうことに驚いた。また福岡市郊外の糸島半島の石切場で、玄武岩を割ると中の空孔に少量の水が入っているのを観察した。これは処女水（juvenile water）と呼ばれるもので何億年も前、地下のマグマから排出された熱水が岩石中に取り込まれたものであることを知り、太古に思いをはせ不思議な感じがした。水の化学的特異性はいくつもあるが、特筆すべきは、1) 温度による密度変化、2) 大きい熱容量、3) 大きな溶解能力、4) 水素結合、である。水の密度は0°Cから温度上昇と共に大きくなり4°C付近で最大となりその後は下降する。また0°Cの氷は分子間に間隙の多い格子状となり密度は低く、温度が下がるにつれ密度は大きくなり液体の水より小さい。従って固体の氷は液体の水に浮くが、通常他の物質ではみられない特異な性質である。もしも、氷が水に沈むのであれば現在のような地球環境は生じなかつたであろう。一方4°Cで水の密度が最大になる現象については未だに納得のゆく説明がなされていない。次に水が大きい熱容量をもつということは暖まり難く冷め難いということであり、これも地球の急激な気候変動を抑える役割を果たしている。更に水の大きな溶解性は、いろいろな物質を溶かして移動し、生物の活動に大きく寄与している。たとえば汚染物質を容易に溶解して流し出す力をもっている。水はあらゆる物を溶かすといわれているが、そのことは田舎の古い観

音堂の周りの石に雨露が落ちて丸い滑らかなくぼみができているのを見たら、はっきりわかる。

最後に水素結合<sup>1)</sup>について述べると、水素結合は化学結合の中で最も後でわかった結合様式である。水素結合の存在がわかってから、水自体や水溶液その他水分子が係わっている物質の特性も次第に明らかになってきた。すなわち、電気陰性度の大きい酸素原子は水素原子の電子を引きつけ、水分子の酸素原子はわずかに負に、水素原子は正に帶電し、電気双極子を形成する。そのため正電荷部と負電荷部とに引力が働き水自体といくつかの分子が結びつきクラスターを形成するし、また水以外の分子ともゆるく結合することができる。

### 3. 地球の水の量と循環

地球上の水は海洋水、河川水、地下水、降水などからなる。それらの量については幾つかの見積もりが報告されている<sup>2)</sup>。海洋の面積やその平均水深（約3800m）、密度1.03として計算すると海洋水の総量は14.1億kt（13.7億km<sup>3</sup>）となるが、これが地球の水の約97

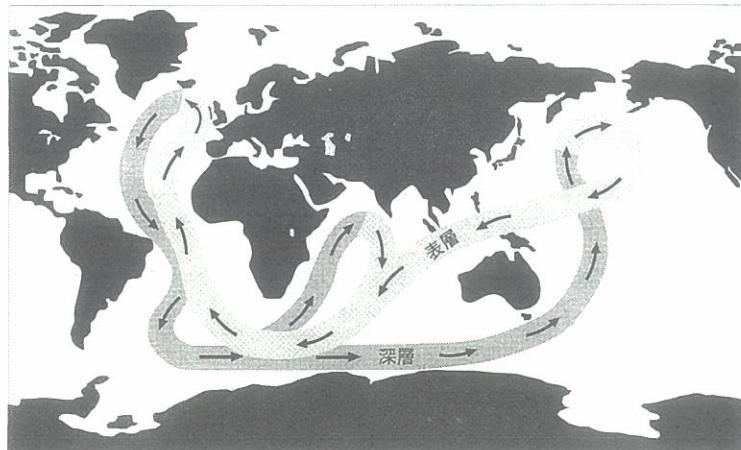


図1 地球規模海水循環のコンベヤベルトモデル

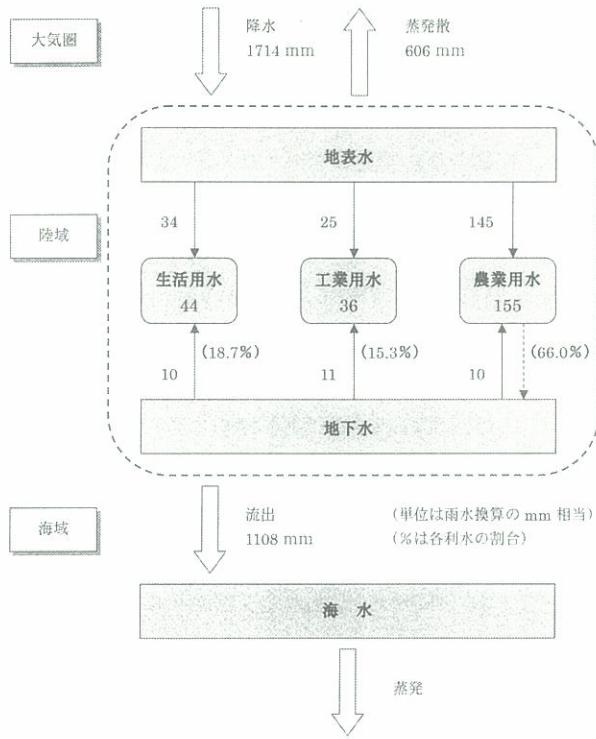


図2 日本の水循環と利水の概要

(武田 育郎, 水と水質環境の基礎知識, オーム社より引用し作成)

%を占め、残りが淡水である。しかし淡水も南極や北極の氷であったり、地下深く存在して利用できないものもあり、人間が実際利用できる淡水は全水量の0.01%に過ぎず、それが雨、河川、湖、などを循環している。地表の淡水の中で最大のものはバイカル湖の水で実に全体の20%になる。バイカル湖は火山性でない大きく深い湖であるが、流域面積が日本の1.5倍に対しそこに住む人口はわずか500万人であるから汚染が少なく透明度の高い清澄な水をたたえている。

海洋の表層約100mの範囲内は風などの影響でかなり活発に流動しているが、海洋水の本体は図1に示すようなコンベアベルトモデルによって全世界を約2000年かけてゆっくり循環している。大西洋のグリーンランド沖の冷た

い塩分の高い水は沈みながら南極海の水と一緒にになりインド洋から太平洋の密度の低い海水と混じりアラスカ付近で上昇し、またインド洋大西洋へと流動する。このような巨大流動に加えて、それぞれの海域、たとえば日本海のようなところにも小規模な循環流が存在する。

淡水の循環は、地表、植生などからの蒸発散により大気中の雲となり、またそれは雨となり地表や海面に落ちる。一方海洋表面からの大量の蒸発水も雲となり雨となり地表に降水をもたらし、水は河沼水となったり一部は地下水として地中に貯えられる。

淡水の利用<sup>3)</sup>は図2に示すように生活用水や農業、工業用水として使われるがその量は国によって大きく異なる。水田で主食の米を作り、しかも工業国日本では農業用水、工業用水がかなり

の部分となり生活用水18.7%に対し農業用66.0%，工業用15.3%になっている。生活用水は生活の向上と共に上昇傾向にあるので、これから日本の日本では水資源の確保が重要課題となる。

#### 4. 水資源と水質悪化の問題

水は食料やエネルギー資源と同様に、人が生きてゆくために極めて重要な資源である。国連や世界銀行はかなり前から水資源の現況と将来予測をしており、21世紀半ばより前に世界は水危機に直面するであろうと警告している。もしも、複数の国を流れる国際河川をめぐって水確保の問題が生ずれば国際間の紛争の火種になりかねない。水は世界共通の命をつなぐ資源と心得、国際協調が求められる。

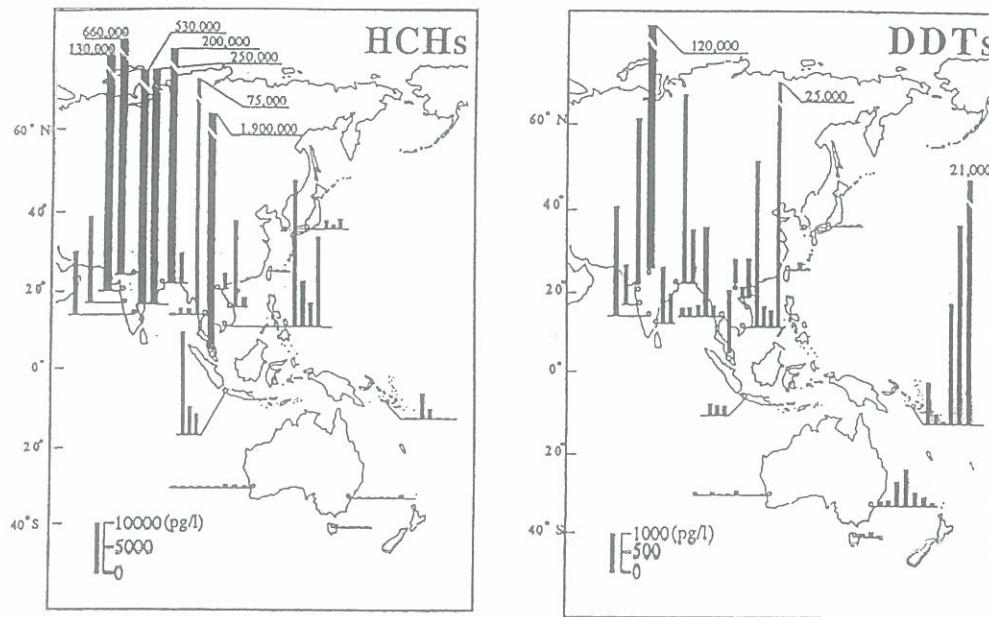


図3 有機塩素系殺虫剤HCHとDDTによるアジア・オセアニアの水質汚染  
(田辺信介, 化学と工業49巻9号より引用)

### 海洋汚染

海洋は広大で希釈効果が大きいので昔はいろいろなものが海洋投棄されていたがロンドン条約によって廃棄物の海洋投棄や海上焼却が禁止されている。廃棄物の由来する公害病はごく一部の限られた地区では起こっているが、世界全体にわたる影響はない。しかし汚染は確実に起こっており、黒潮にのって回遊するイルカやアザラシの体内の有機塩素化合物を分析すると広範囲の海洋汚染が観測される(図3)<sup>4)</sup>。

また1989年のアラスカ沖のブレイヤ号の座礁、1997年の日本海島根沖でのロシヤの貨物船ナホトカ号の事故などでみられた原油流出で海洋動植物に甚大な被害を受けたが、人々による回収と海の自然回復力で元の状態に復元された。一方放射性物質汚染について言えば古くは南太平洋マーシャル諸島での核実験や英国セラフィールド核燃料再処理工場での

プルトニウム漏出事故などがあり、近年は1993年ロシヤはウラジオストック沖の日本海に放射性廃棄物を投棄したり、それ以前に2基の原潜の原子炉も投棄したと報ぜられた。しかしこれらの物質による汚染も局地的でかつ時間経過と共に希釈され、現在では明確に検出することは困難である。実際、1992年から1994年にかけてフランスで大西洋、インド洋、太平洋の表層水を広範にCs-137、Sr-90などの放射性物質を調査したが、1例を図4に示すように海や緯度などによる違いはあるものの、量的には4ベクレル/L以下で、自然レベルの放射性物質の量<sup>5)</sup>を勘案して、問題になる量ではなかった。

### 河川、湖沼の汚染

人の生活用水は殆ど河川や湖沼に依存しているので、それらをクリーンに保つことは極めて重要である。もちろん使用するまで、い

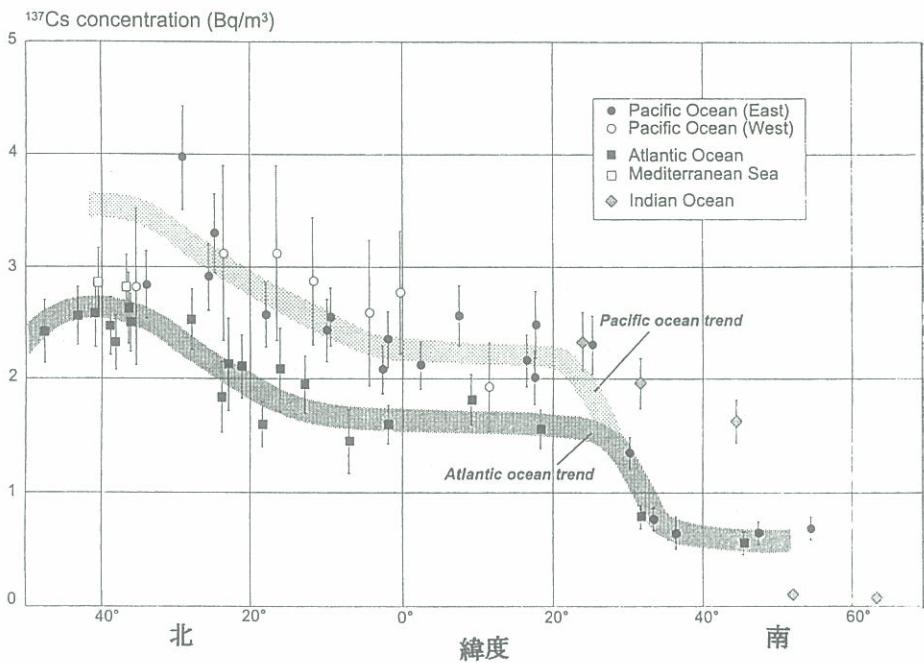


図4 太平洋、大西洋及びインド洋の<sup>137</sup>Cs濃度（1992～1994）

いろいろな手段で浄化は行われるが、ひどく汚染された水の浄化には費用がかかるし、また除去できない汚染物が含まれることもある。

日本の琵琶湖は約1400万人が依存しているが、洗剤などが原因のリン、窒素などの濃度が一時大きく増大した。また100万人が依存している霞ヶ浦も同様である。海外では中国雲南省、昆明の南にある大きな湖（滇池）が工場の重金属汚染で水源として利用できなくなった。工業発展の著しい中国では過去の日本と同様、工場排水の大半が未処理のまま川へ放流されているので、大都市では河川がにょう程水質が悪化している。また中央アジアのアラル海では流入する河川の水を農業用に取り過ぎ、琵琶湖の100倍もあった水面は1/3まで落ち漁業が壊滅した。更に、東南アジアの6か国を流れるメコン川や、ヨーロッパ7か国を流れるドナウ川などは上流に位置する国と下流に位置する国との間でしばしば水の利用

法や汚染をめぐって対立することがある。

#### 地下水汚染

地下水は土壤や砂層でろ過されたものであるから、清浄なはずであるが近年しばしば地下水汚染が報道される。それはテトラクロロエチレン（PCE）やトリクロロエチレン（TCE）など化学物質による汚染で、これらのものは有機塩素化合物で脱脂性にすぐれ、クリーニングや半導体集積回路の洗浄に使われたものが地中に漏れ出したものである。発がん性があるため国は有害物質に指定し、水道水の水質基準を0.01mg/Lと定めている。米国では穀倉地帯の地下水が農業用に使われ水不足が起こりつつある。深い層の地下水を急激に汲み上げると天然のヒ素が溶け出てくることもあるし、あまり広範囲に地下水を取ると地盤沈下を起こす心配もある。地下水を増やすには雨水を地下に浸透しやすくする必要

があるが、都市の舗装化で、雨水の浸透率は東京23区ではわずか10%，福岡でも30%程度であるといわれる。地下水の減少は土地を乾燥させ、ヒートアイランド現象の一因になるので、これからは透水性舗装を普及させ、屋根の雨水は下水に流すのではなく地下にしみ込ませるようにしなければならない。

## 5. 飲料水と各種機能水

### ミネラルウォーター

日本の水道水は衛生的にも、またおいしさにおいても飲料水として十分であるが、近年人々は飲料にはミネラルウォーターを使う人が多くなった。それは特に健康を考えてのことであろうが、ミネラルウォーターというのは特定水源より採取され、ろ過、殺菌された水で、地下滞留中に溶け込んだミネラル分( $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ )が比較的多い水である。ミネラル分の1リットル当たりの合計量を水の硬度と呼ぶが、一般的に日本の水は硬度が低く(軟水と呼ぶ)、ヨーロッパは硬度の高い硬水が多い。水道水も適度の硬度を持っているので、前夜から汲み置きし残留塩素を除くか、2~3分煮沸するなどして適当な温度にして飲めばミネラルウォーターに頼らなくともすむはずである。

### 機能水

機能水というのは通常の水をある方法で加工、調整し、特定の目的に達するようにした水である。ある方法には、1) 岩石、鉱物、セラミックスのような無機物質と接触させる方法、2) 電解法、3) 磁気処理法、4) 遠赤外線法、高周波線処理法などがあり、得られる機能水は殺菌・消毒、食品加工、植物成長促進、半導体洗浄などに用いられている。

### 海洋深層水

海洋深層水は一般に海面から約200m以深の水で、そこでは太陽光が届かず光合成を行う植物プランクトンがないなくて、プランクトンや魚の死骸などを栄養源としているバクテリアだけがいる。バクテリアは無機栄養塩を放出するので、海洋深層水中には無機栄養塩が多量含まれている。

1985年当時の科学技術庁はアクアマリン計画<sup>6)</sup>を作つて海洋深層水の研究を始め、1989年、高知県に海洋深層水研究所を創設した。現在は日本各地で海洋深層水を採取するところがあり淡水化されたものは健康飲料として市販されている。九州では鹿児島県の甑島にある。海洋深層水の起源は極付近で冷やされた水が沈み込み流れてきたもので、太陽光にも影響を受けないので温度が低い。高知県室戸の水は9°Cである。また地上の化学物質汚染の影響も受けず、有機物はバクテリアによって分解しつくされているので腐敗も起こらない。すなわち、清潔で栄養豊富な冷たい水で、しかも大量採取が可能であるから飲料用だけでなく海藻や魚類の増殖・生産など多方面に利用すべく研究されている。

## 6. 福岡の水事情

日本は温帯域にあり、一般的に言えば水に恵まれた国である。しかし国の面積が狭いので川は小さく、雨が降ってもすぐ海に流れさる割合が多く、毎年のようにどこかで渇水が起こっている。特に福岡県は、沖縄県、広島県などと共に渇水の起こりやすい県である。福岡でも特に福岡市を中心とする22市町村は人口の伸びも大きく、常に渇水のことが心配されている。この地域で給水を受ける人口は1990年が約184万人、1995年が204万人、

2000年は219万人と次第に増大しており、また生活の質の向上と共に1人当たりの水の使用量も増大している。

福岡での最も深刻な渇水は1978年に起こり、給水制限日数が287日に及び、最小給水時間は5時間であった。その時は大学では水を使う化学実験ができず教育上も支障を生じた。その後も1989年、1994年にかなりの渇水があったが、それらの折はダムがより良く整備され、筑後川導水（1983年開始）もできていたし、また市民も節水要領などを理解していたので1978年の時程深刻な渇水にはならなかった。

福岡管区気象台が調べたところによると、過去20年くらいの九州北部の降水量とエルニーニョ現象の間には規則性があり、エルニーニョ現象が終息した翌年は必ずと言って良い程、梅雨期の雨量が低いという結果が出た。福岡渇水の時は、特に降水量低下が酷かった年である。（12回のエルニーニョ現象中11回がこの規則にあてはまる）そしてまた、これは一般的に言えることではないかも知れないが、長崎の大水害（1982年）、九州を通過した大型台風（1991年）、鹿児島豪雨（1993年）はエルニーニョ現象発生の年であった。エルニーニョ現象というのは、通常は東寄りの貿易風で西太平洋上に吹き寄せられるはずの暖水が貿易風の弱まりでペルー沖など東太平洋上に移動する現象のこと、異常気象の主な原因になっている。このエルニーニョ現象が頻繁に起こるようになったのには地球温暖化が関係しているのではないかと言われている。そうであれば地球温暖化は水資源にも影響を与えていくことになる。

#### 水危機への対応

迫りくる21世紀半ばの水危機にどう立ち向

かうかは、人類生存の将来にかかる重大事である。福岡市は過去の度重なる渇水経験を生かし、給水側も水利用者側も節水、水の有効利用に努め、1998年段階で1人当たり1日の給水量が306リットルで全国平均の386リットルよりはるかに低くなり、今、水道利用の福岡方式と呼ばれ全国の模範になっている。しかし、更に将来の事を考え節水と有効利用を引き続き推し進めなければならない。地球温暖化が進めば、これまで以上の異常気象発生も予想されるので、引き続きダムの建設も行われているが、ダム建設の場所も殆どなくなっている。最後の「切り札」としては海水淡水化がある。海水淡水化は、沖縄とか香港など土地に恵まれないが海がすぐ近くにあるような所で以前から行われている。

淡水化はポンプで海水を汲み上げ、簡単なろ過装置でゴミ等をろ過した後、逆浸透法の脱塩装置（イオン交換膜）を通して塩分を除去する方法である。長崎県のハウステンボスでは日量1100tの淡水化装置が最初からつくられ、リゾート全体に給水しているが、1994年佐世保市渇水の時は大変役に立った。福岡市は1994年から国の援助を得て淡水化事業を計画し、調査中である。日量5~10万tの大型のものとなる予定である。しかし海水淡水化装置で作った水は普通の水道水より数倍の値段になるし、電力エネルギー消費も大きいので、あくまで渇水で止むを得ない時に使用するようすべきである。またこの淡水は臭いもないが味もおいしいものではない。

#### 7. おわりに

水は身の回りにありふれた物質であるが、不思議な性質を持ち、生活する上で貴重な物質であることを概説した。人は体中に60~70

%の水を保持し、いつまでもみずみずしく生きるよう努めなければならない。

## 参考文献

- 1) 松浦, 高島, 田中:無機化学(廣川書店), p.33
- 2) K.Rankama :Geochemistry (published in Chicargo), p.264
- 3) 武田:水と水質環境の基礎知識(オーム社), p.5
- 4) 田辺:化学と工業(日本化学会), 49卷9号, p.1230
- 5) P.Guegueniat, P.Germain & H.Metivier : Radionuclides in the Oceans (Institut de Protection et de Surete Nucleaire), p.81
- 6) 谷口:化学と工業(日本化学会) 52卷3号, p.262