

特別講演 I

健康と水を科学する

松山大学薬学部長・岐阜薬科大学特任教授 葛谷 昌之

1. はじめに

我々の生活に最も身近な物質の一つである水は、極めて簡単な分子構造 ( $H_2O$ ) をもつ化合物である。このような簡単な分子構造であっても、古来より「水は万物の源」と言われてきたように、生命の営みの多くが水の様々な性質に負っている。

生体成分であるタンパク質・酵素や細胞自身も、水との強い相互作用によってその形状と機能が維持されている。それらは、アルコールの殺菌作用、子供が熱中症やしもやけに罹り易いとか、癌細胞が高温に弱い (癌の温熱療法) などの事実と結びついている。体内に含まれる各種ミネラルも、水と様々な相互作用をして水和イオンとなり、その生理活性を發揮している。これらの例からもわかるように、水の特性が生命維持や健康増進に直接関与していることが理解出来る。また、医薬品の中で、錠剤、散剤、顆粒剤やカプセル剤などの経口投与の固形剤は、特殊なケースを除いて常に水とともに服用することが指示されている。薬が体に吸収され (血液中に取り込まれること)、その効能を發揮するために、水は、薬の補佐役としてもなくてはならないものであることがわかる。

健康長寿は、いつの時代も、人々の共通の願いである。今日、いわゆる健康ブームを迎え、かつてないほど人々の健康への意識が高まる中、水に大きな関心が集まっている。生命と健康の維持に不可欠な物質はいろいろあるが、中でも、よく知られているように、動物の三大栄養素は、タンパク質、脂肪、炭水化物 (PFC) であり、ビタミンとミネラルの副栄養素を加えて、5大栄養素と呼ばれている。そして最近では、それらに水を加えて、6大栄養素とも言われるようになってきている。

昨今の健康ブームの到来は、基本的には、高齢社会となり、健康を気遣う年代層の人々が増えたためであろう。高齢社会の到来は、慢性型疾患への疾病構造変化による長期投薬・複数医療機関受診の増加につながり、患者への服薬指導や薬歴管理の重要性とともに、医療費の高騰や保険財源の縮少を来している。これが、今日、医療費削減の緊急性が叫ばれる所以の一つである。それだけに、患者のQOL (生活の質) と医療費削減を含む低侵襲性医療が現代医療の基本的方向となり、在宅医療、二次予防医療 (早期発見・早期治療) を含む予防医学が益々重要になっている。

そんな中、多種多様な健康補助食品 (サプリメント) とともに、健康に役立つといういろいろの名前の名水・機能水も登場している。我が国では、「水と空気はただ」という感覚が普通であったが、今日では、天然ミネラルウォーター、海洋深層水、磁気や電気や鉱物で処理した機能水など、いろいろな水が市販されるようになった。それと同時に、いわゆる「水ビジネス」が台頭してきている。日本人のミネラルウォーターの消費量、過去15年間で約1.4倍に急増している。(図1)

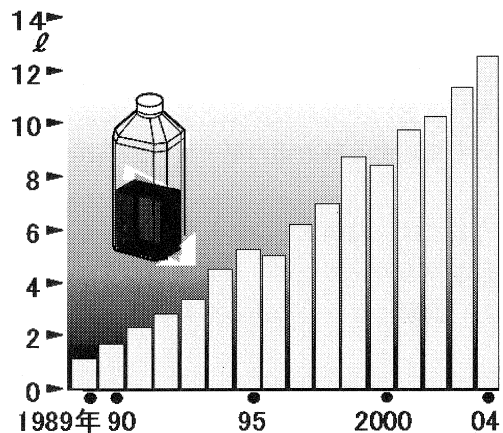


図1. ミネラルウォーターの1人当たり年間消費量

そもそも、水は、多くの業種の産業にとって不可欠なものである。勿論、大量のコンクリート製品が造られる建設業界も例外ではない。コンクリート構造物を造るには、大量の水が使われるが、千差万別である水質についてまだまだ十分注意が払われていないと云う。水の本質を理解した上で使用するようになれば、コンクリート製造時に問題になるいろいろな不具合も除くことが出来るようになるかも知れない。さらに、最近、機能水の一種である磁化水を使ってコンクリートを練り混ぜると、圧縮強度などに優れたコンクリートが得られると言う報告もある。

本稿では、最も身近な液体で、最も謎に満ちた物質である水の基本的性質を知るために、その物理化学的特性を概観し、健康と水との関わり合いについて概説する。

## 2. 水の物理化学特性

水は、極めてありふれた液体であっても、液体間で比較すると、極めて特殊な液体である。例えば、地球上の液体の中で、水は、気体も含めてモノを溶かす力が大きく、とくにミネラルのような無機塩類を溶かす力は、水が最も大きい液体である。古くから、一番風呂は体に良くないと言われてきた。これはより純粋な水は体内からミネラルを吸い取る力がより大きいためであろう。超純水を大量に飲むと死に至ることもあると言われている。したがって、様々なミネラルが水とイオンの形で豊富に溶け込んでいる温泉水が健康のためのいろいろな効能をもつことは、科学的にも理解出来る。

このように、モノを溶かす能力が極めて大きい水の特異な性質は、図2に示す水の結晶構造からもわかるように、水は空孔の多い液体（熱を貯えやすいので比熱が大きく、よく縮む）であり、この空孔（半径3.5 Åの球に相当する）にいろいろのモノが入り込むことが出来るからである。例えば、100ccのアルコールと100ccの水を混ぜ合わせると200ccにならず、約190ccに縮んでしまう。

純水をきれいな容器に入れ、ゆっくり冷やすと-30℃位でも凍らない（過冷却水という）。この容器に少し刺激を与えると、ほとんど瞬時に氷になり、温度は0℃に上昇する。この時、温度が上昇するのは、液体から固体に変わる際に放出される熱量（潜熱）のためである。18世紀には、水は代表的な液体と見なされていたので、物質の状態変化を記述する熱力学の第一歩が、これらの実験に基づいた水の状態変化によって始まったのである。

今日では、超純水と言われる水がつけられているが、分析手段の発達によって”科学におけるゼロは益々遠のいている”と云えるように、純粋というのは、微量物質の検出能力にも依存するので難しい問題になりつつあるとも言える。

### 2-1. 水の集合体物性

我々のまわりで日常起こっている現象を少し注意してみると、さまざまな物質が温度の変化によって、気体、液体あるいは固体に変わること気づく。例えば、水は常温で、液体であるが、熱す

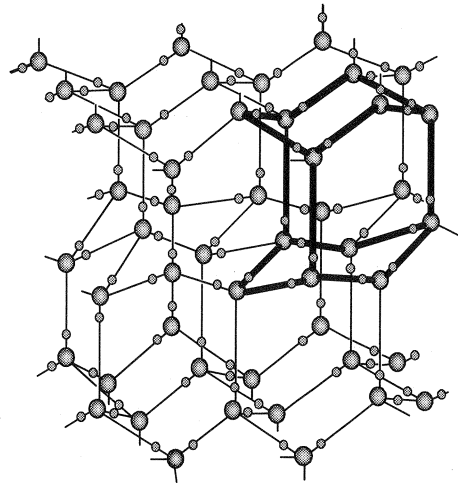


図2. 水の構造

ると水蒸気 (気体) になり、零度以下に冷やすと氷 (固体) に変わる。このような変化は、一重に分子間に働く力が違うことによって起こる。すなわち、分子間に働く力は、固体、液体、気体の順に小さくなる。これは、固体は液体より分子間の距離が小さく、分子間により強い力が働いて自由に動き回ることが出来なくなるからである。

すべての物質は引力と反発力をもっているが、それらの作用範囲は分子の直径の3-4倍程度あり、これ以上離れると力はほとんど働かなくなる。分子の間に働く主な力には、クーロン力、水素結合、ファン・デル・ワールス力がある。

水は代表的な極性分子で、他の多くの極性分子と水素結合を作りやすく、また水分子相互間での水素結合形成によりいろいろな大きさや形状のクラスターを形作っている。そのため、多くの物質に特異的に付加したり、いろいろな反応を起こしたりする性質がある。

## 2-2. 水和物

水がいろいろな化学物質に付加することを水和と言う。水和は、有機無機を問わず、極性分子から無極性分子まで様々な化合物で起こることが知られている。例えば、セメント (石灰石、粘土、けい石、その他の微量成分) の水による硬化は、身近なところでよく見受けられる代表的な無機化合物の水和である。セメントは、水と接するとアルカリ性のもとになる水酸化カルシウム (消石灰) を生じる。しかし、硬化したモルタルやコンクリートにおいては、その表層の微細な空隙に存在する消石灰が、空気中の炭酸ガスと反応して、中性の炭酸カルシウムになるため、皮膚と接触してもアルカリ性による炎症を起こすことはない。また、セメントを大気に接した状態で放置すると塊を生じて使えなくなる「風化」と云う現象が起こる。これも、空気中の水分との緩慢な水和反応とそれに続く炭酸化反応によって起きているに他ならない。

水和反応に始まるコンクリートの硬化は、終わるまで何10年とかかるそうだが、その強度は、大体28日で最終強度の80%くらいになると云う。

## 2-3. 吸着水

固体・気体界面や固体・液体界面に気体分子や溶質が吸着されるとき、固体内部への吸着質の吸収を伴うことがある。吸着と吸収が同時に起きる現象を吸着と云う。コンクリート構造物でも、高分子固体でも、これが気体と接しているときには通常吸着ではなく、吸着が起きている。

無機多孔質体や有機高分子の孔内に吸収された水の状態は孔径によってかなり変化することが知られている。孔径が大きいと常態の水で吸着しているが、孔径が小さくなると凝縮した形で吸着を起し、物性も常態水と比べて著しく変わったものとなる。このような細孔に吸着された水は定温でも凍りにくいことが確認されている。nm( $10^{-9}$ m) オーダーよりも大分大きい径のガラス管内や、 $1\mu\text{m}$ ( $10^{-6}$ m)程度の小滴の液体水も $-41^{\circ}\text{C}$ 付近まで凍らないことが知られている。

また、固体内に存在する水で吸着水とは異なる水がある。気体や液体分子が一団となって固体中に取り込まれることを吸蔵と云う。気体が固体の気相酸

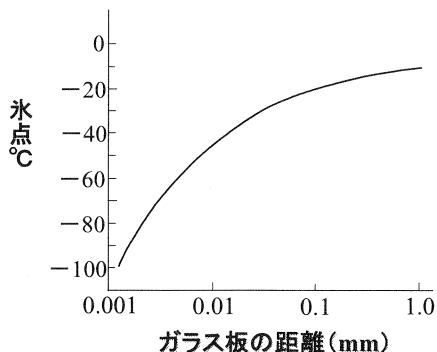


図3. ガラス板の距離と氷点の関係

化還元の際に固体中に閉じこめられる場合や、結晶を生成させるとき母液が結晶中に含まれたりするのがその例である。また沈澱剤を加えて沈澱が析出するとき、共存物が不純物として含まれる現象も吸蔵と云う。吸蔵水は 100°C に加熱しても除去することはできない。吸蔵水は固体や沈澱物の内部に吸蔵されている水であり、固体孔内に収着されている水とは異なっている。

#### 2-4. 構造化水

大きなエネルギーで結合しているイオン結晶が、水の中で容易く解離してイオンが出来、常温でも安定に存在出来るのは、水分子がイオンを取り囲んで大きな安定化エネルギーを生じるためである。水がイオンを安定化させる現象も水合と云い、そのために生じるエンタルピー（熱容量）をイオンの水和エンタルピー（水和熱）という。水分子は、もともと僅かながら、 $H^+$  や  $OH^-$  として電離しているが、この  $H^+$  や  $OH^-$  の水和エンタルピーは特別に大きいことがわかっている。

$H^+$  と  $OH^-$  イオンの濃度の積は、水のイオン積（自己プロトリス定数）と知られている。よく知られているように、水のイオン積は 25°C で  $1.0 \times 10^{-14} (\text{mol} \cdot \text{dm}^3)^2$  で、これに基づいて水溶液の酸性、塩基性が水素イオン濃度 (pH) として表わされている。このイオン積は常に一定であるので、それを使って異なる温度の pH、例えば、0°C、25°C、100°C の水の中性のときの pH を容易に計算することができる。その値は pH7.48、pH7.0、pH6.1 のようになる。すなわち、pH7 が中性というのは 25°C のときの話で、水は温度により状態が変わることを理解しておく必要がある。ちなみに、コンクリートを練るのに同じ水を使ったとしても、冬と夏では異なった結果が出る可能性があることを示唆している。

一方、体内の細胞などは、金属イオンのバランスによって浸透圧の調節を行っている。イオンに限らず、水に溶けている極性物質のまわりの構造化水の存在によって浸透圧が生ずるのである。このように、ナトリウムイオンは細胞外液に多く存在し、逆に、カリウムイオンは細胞内液に多く存在することも理解できよう。また、構造化水はタンパク質などの生体成分の三次元構造の保持やその機能発現、さらに温度変化に対する保護作用としても、大いに役立っている。この構造化水は、細孔内に閉じこめられた水と同じように、極低温まで凍らないことも知られている。

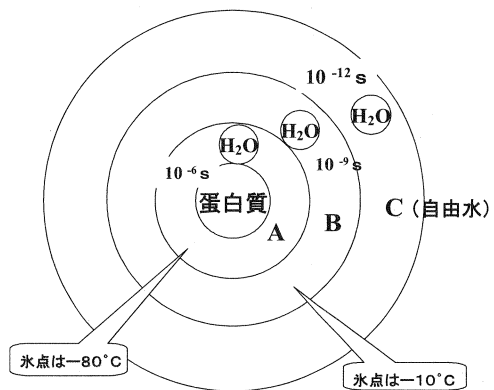


図4. 蛋白質のまわりの水の状態

### 3. “みず” と 水

一般に、一つの分子構造が与えられた時、どの物質もそうであるように、温度と圧力が定まれば、すべての物理化学定数は、自ずと定まる。例えば、“みず” は、その相図からもわかるように、蒸発曲線、融解曲線、昇華曲線が交わる水の三重点 (4.58mmHg, 0.01°C) はただ一つの定点である。すなわち、“みず” は、一種類しか存在しないはずである。しかし、実際には、おいしい水とか体に良い水とか言われるように、いろいろの水が存在している。

大気に曝された水は、pHが中性の7でない。空気中の炭酸ガスなどが溶け込んで酸性に傾いている。また、魚は水中に住んでいる。これは、“みず” に酸素が溶け込んでいるおかげである。水は、

電気をよく通すし、過冷却水になりにくい。これらは、ミネラルを中心とした種々イオンが微量に溶けているからに他ならない。私たちが、日常生活で、見たり、飲んだり、入浴したりする水は、正確には、 $H_2O$ という分子構造の純粋な”みず”ではない。すなわち、クリーンであっても、ピュアでない。これが、おいしい水とか健康に良い水など、いろいろの水が存在する理由である。通常、水は、”みず”と同じように、無色透明・無味無臭である。もし溶存物質の中心である水とミネラルイオンに色がついていたら、或いは、味や臭いがついていたら、今日のように、いろいろな名前のついた水は登場していなかったであろう。したがって、”みず”はミネラルなどの水和イオンの優秀なキャリアーと見なすことが出来、”くすり”と薬の関係(私たちが服用する薬、例えば、各種の錠剤は、”くすり”が錠剤から放出される速度や時間を調整して、有効性、安全性を高めるため、いろいろの医薬品添加物(助剤)が含まれている。原薬としての”くすり”は数%以下しか入っていない錠剤も数多くある。)に似ていると言える。

自然界におけるすべての系の安定状態は、エネルギーを低くする方向(安定化)とエントロピー(個々の成分の自由行動による乱雑さ)を大きくする方向とが釣り合って存在しており、「エネルギー = エントロピー x 温度」の関係がある。すなわち、一定の温度と圧力の下では、エネルギーとエントロピーの関係はある比率の上に存在している。例えば、”みず”は、水分子が互いに集合して安定になろうとする方向と一つ一つの水分子が自由に動き回ろうとする逆方向との離合集散の結果である。

酸素と水素の化学結合から成り立っている水は、その分極構造によって、大きな水素結合網を形成し、特殊な集合体物性を発現している。私たちは、原子と原子との相互作用の中で、最も強力なものを化学結合と称し、原子間を実線で表している。勿論、化学結合した化合物であっても、激しく振動しているし、高分子のような巨大分子も、局所的には、ミクロブラウン運動による揺動を繰り返している。一方、水が分子間でダイナミックな離合集散を繰り返しているのは、点線で表す水素結合という弱い相互作用のためである。それだけに、水の科学は、ミネラルなどが、質と量の多少を問わず溶存しているの、複雑な系となって真の理解を難しくしている。このために、いろいろの議論が生まれることになる。

#### 4. 水の吸収

細胞膜を形成する脂質二重層は基本的には水を通しにくい。しかし、細胞表面には、水だけを選択的に効率よく通す膜タンパク質で出来た水チャンネル(アクアポリン)が、動植物を問わず細菌から哺乳類まで、普遍的に存在していることが知られるようになった。現在まで、植物では30種類以上、哺乳類では13種類のアクアポリンが確認されている(図5)。

この水チャンネルは、”水の穴”という意味からアクアポリン(AQP)と呼ばれている。AQPは、砂時計のように水通通路をもち、その中心付近で最も狭くなるような漏斗状の構造をしている。その最も狭い部分は水の分子のサイズに近い大きさになっており、水より大きな分子などはこのフィルターを使って選別されると考えられている。

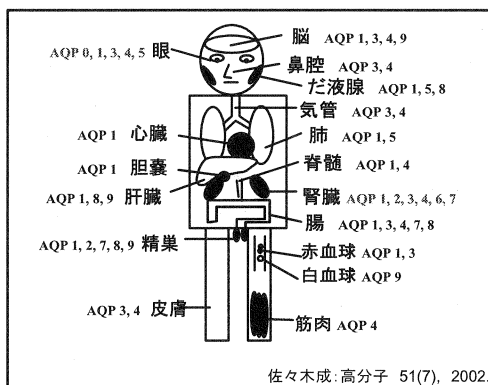


図5. アクアポリン(AQP)の全身分布

最近、細胞膜を高速で水を透過させるAQPの分子メカニズムが明らかにされた。水が細胞膜を高速で透過するのにも関わらず鎖状になって流れる水のうち、流れる水分子の向きが常に一つだけ変化して、水の鎖は一度は必ず切られることなどが明らかにされた。(図6)なお、AQPの構造と機能が明らかになったのは、たかだか14年前(1992年)のことであり、その成果は、2003年度のノーベル化学賞の受賞対象となった。

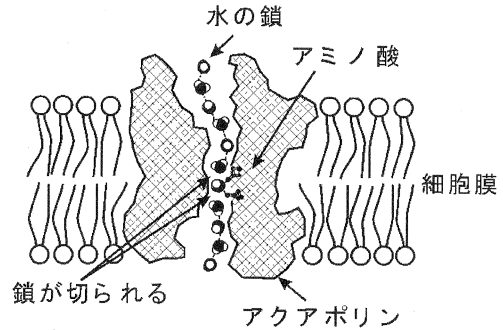


図6. アキアポリンの模式図

K.Murata et al., Nature, 407,599 (2002)

## 5. 水による治療効果

水を飲むことによって、疾病の治療や症状が改善されるという、水自身が薬としての治療効果や症状改善効果を発揮することも数多く知られている。例えば、水は利尿剤、下剤、発汗剤、解熱剤などとしての効果を持つ。これは、水の希釈効果、温度(体温)調節効果やミネラル補充効果などによるものである。

正常な尿の成分は、水分が90～95%であるが、体で代謝された窒素、尿素、アンモニアなどの有機成分やナトリウム、カリウム、クロールなどの無機成分などの老廃物などが含まれる。さらに、体に入った毒物、薬物、微量金属なども、尿によって排泄される。したがって、適切な水分の補給によって利尿効果を促進させることは、健康維持に大切であるだけでなく、種々の治療効果として役立つ訳である。

日射病で代表される熱中症も、水分の補給が、症状回復・治療の直接効果を発揮する。私たちは、日常生活の中で、寝ている時も含めて、常に発汗している。それが運動時となると、大量の汗をかき、体内から水分を外へ出し、血液中の水分濃度が低下する。このような脱水状態の中で、体調不良に陥った状態が熱中症である。したがって、その回復には、水分の補給が不可欠である。しかし、水分だけを補給し過ぎると、かえって危険な状態を招くこともある。それは、発汗で失うのは、水分だけでなく、塩分も一緒に外に出されてしまうからである。汗の成分の大部分は水であるが、その他に、塩化ナトリウムが約0.65%(通常時)から血液の浸透圧とほぼ同じの0.9%(運動などによる大量発汗時)、尿素0.08%、乳酸0.03%などが含まれている。したがって、水分を補給するときには、一緒に塩分を摂ることが大切である。薄い塩水に、エネルギー補給も兼ねた糖分を混ぜて飲みやすくしたものが、スポーツ・ドリンクである。

## 6. 天然ミネラルウォーターや“機能水”は、健康補助食品の水版

わが日本列島は、雪を抱く、森林による保水力がある山々が多く、地下水も豊富であり、加えて火山帯でもあるので、軟水、硬水を問わず飲料用の名水や浴用の温泉水に恵まれている。

太古の昔、人々が病を癒すために天然自然の石を削り、石粉末としたものを薬として用いていたことが多くの古書に記されているという。現在の日本列島が誕生する過程で幾度となく繰り返された火山活動により、国歌「君が代」に歌われているように、天然・自然のさざれ石(薬石)が造られ、ミネラル豊富な温泉水や天然ミネラルウォーターの宝庫となったのであろう。このような自然の恵みから、それらを利用する生活習慣・知恵が古くから根付いても不思議なことではない。我が国には、2800ヶ所以上の温泉地がある。

今日、統合医療という言葉をよく耳にする。西洋医学と東洋医学の融合に加え、健康食品や音楽療法・マッサージなどの物理的療法を組み合わせた融合医学のことである。東洋医学の代表格の一つが漢方薬(生薬)である。もともと植物は、動物に比較して、遙かに強い生体防御能を持っている。危険が迫っても動物のように逃げも隠れも出来ない植物は、生命にとって過酷な自然環境(活性酸素、紫外線、その他の変異原)に耐えながら、芽を吹いた場所で、生き続けなければならないからであろう。したがって、すべての植物は、生体防御のための様々な生薬成分を含んでいる。正しくは、進化の過程でその様な成分や機構を獲得した植物だけが、この地上に生き延び、現存していると云える。

硬水・軟水の硬度は、溶存するカルシウムイオンとマグネシウムイオンの濃度を基準としている。水の硬度によって、飲み物や食べ物の味が変わることはよく知られている。硬度の単位は国によって異なっているが、一般には、水1リットル中にカルシウムとマグネシウムの量を炭酸カルシウムの量に換算した合計値(mg/l)が200mg/l以上含む水を硬水という。硬水は、石鹼の泡立ちを悪くしたり、飲用すると下痢を起こし易いことなどが知られている。

硬水以上の濃度のイオンを含む人工ミネラルウォーターが医薬品として使われている例もある。今日、食習慣などの変化によって大腸癌が、胃癌を抜いて日本人の死亡の主役になろうとしている。現在、最も正確な大腸癌検診は、大腸内視鏡による検査である。しかし、この検査を受けるためには、前処置として2リットルの下剤で腸の中をきれいにしなければならない。本下剤は「ニフレック」と言う医薬品名でよく知られており、年間約165万人に投与されている医薬品である。本剤は、塩化ナトリウム、塩化カリウム、炭酸水素ナトリウム、無水硫酸ナトリウムなどが調合されており、高濃度の人工ミネラルウォーターの一種と言える。

ところで、カルシウムを摂取補給するために、固形の骨(主成分:リン酸カルシウム)を食べて、体に吸収されるのだろうか? 消化器官内に入った骨の一部は、腸内細菌の助けによって崩壊分解するが、通常は、たかだか10%前後が水和カルシウムイオンとなって吸収されるのみである。また、固形のミネラルである薬石の粉末は、どうだろうか? 勿論、それらの体内吸収率は高くはなかったに違いない。しかし、私たちの消化器官内では、平均値的に、胃がpH=1.2-3.0、小腸は6.8-7.7、大腸は7.7-8.0と強酸性側からとアルカリ性までの変化があり、薬石の一部が溶解水和して、吸収されたとしても不思議ではない。その意味で、(天然)ミネラルウォーターは、ミネラルが初めから水とイオンの形で存在しているので、効率よく吸収され、健康を守る天然・自然の機能水ということができる。

一方、今日、よく耳にする”機能水”は、水にさまざまなタイプの微弱エネルギーを印加処理することによって、人の健康が増進されたり、動植物の成長が促進されるという保健薬のような新しい機能が付与された加工水である。

これら”機能水”を別の見方をすれば、水自身もつ安定平衡状態の集合体構造から別の平衡状態の集合体構造に移った水であり、それは、ミクロのレベルで溶けている水和イオンとの新たな相互作用の発現によって、準安定状態として存在している水ということが出来るだろう。事実、種々の方法で製造された”機能水”に共通していることは、クラスターの大きさが通常の水より小さくなっていることである。細胞表面の水チャンネル・AQPの構造と機能から類推しても、また、数多くの臨床的調査研究結果の蓄積からも、小クラスター集団から成り立つ”機能水”が、生体の新陳代謝を助け、健康維持に役立つ作用があることは間違いないと言えるだろう。

今日、各種の機能水の中で、電解水が最も広く知られている。電解水には、アルカリイオン水と

酸性水があり、いずれも厚労省から健康の維持・増進に役立つ医療効果が承認されている。この種の機能水は、水中に溶存している陰陽両イオンが電気分解によって分離し、イオン分離水になったものである。電解アルカリイオン水は、陰イオン側のほとんどを $\text{OH}^-$ にした陽イオン水のことである。逆に、電解酸性水は、陽イオン側のほとんどを $\text{H}^+$ にした陰イオン水のことである。電解水のイオン濃度と質は、すべて電解に使う原水のミネラル成分に依存しているので、原水自身がバランスのよい適切なミネラルを含んでいることが、より良質の”機能水”を生成させる鍵である。

いずれにしても、種々の水とイオンは、近年、その研究領域は大きく広がり、単に溶液の化学だけでなく、生命現象から癌の研究にまで深い関係をもつようになっている。

## 7. おわりに

小分子の集団としての水は、地球上に普遍的に存在し生命維持に欠かせない物質である。しかし、特異的な物理化学的性質を有し科学的に解明されていない部分も残されており、それ自体が高度な学術研究の対象として興味深い。また、生命現象の複雑かつ精密なメカニズムの中で水は常に脇役としてなくてはならない存在である。この事実は生命科学の研究領域において、水の研究は継続性ある展望が保証された研究と位置づけられる。これらの学術的興味と並行して社会の経済活動に先導された研究例も多く存在する。特に昨今の健康ブームを反映して、企業を中心とした水に関する研究はその機能と機能付与を意図した方向に広く展開されている。しかし、これらの機能の根拠は水素結合ネットワークまたはイオン雰囲気を作り出す水クラスターの構造とその生理作用に帰着されるため、この分野の研究の特段の進展には物理化学的方法を駆使したミクロの視点からのアプローチが必要がある。そして、これらの研究は、科学的論証に立脚した学術的方法論によるところが大きいと、大学と企業等が積極的に共同参画することが望まれる。