

九州大学中央分析センター

75

センター
ニュース

平成 14 年 2 月

目 次

分析機器解説シリーズ (73)	1
動的光散乱法の基礎と応用	
トピックス	7
活性酸素消去能をもつ還元水の科学と医療への応用	
お知らせ	11

動的散乱法の基礎と応用

大学院総合理工学研究院物質科学部門

高田 晃彦・根本 紀夫

1. はじめに

光散乱は、身近に観察できる現象である。例えば、雲間から光の筋が見えるのは、空気中のほこりによって散乱された光が観察されるためであり、光散乱現象の一つである。また、空が青く見えるのは種々の波長を持つ光のうち短波長の光ほど散乱強度が強いためであり、逆に、夕方の空が赤いのは散乱されずに残る長波長の赤い光を見ることになるためである。散乱実験を行う際、吸収や発光が存在すると非常に複雑になるために、通常それらが生じない条件で実験を行う。可視光は、紫外光や赤外光と異なり、多くの物質で透明であり、この条件に適している。また、その波長はX線や中性子線より3桁から4桁程度長い領域にあるために、それらを用いた実験とは異なる空間領域(数十nm～数百nm)の情報を得ることができる。そのため、可視光を用いた散乱実験が、構造解析を行うための重要な方法の一つとなっている。

光散乱実験では、試料からの散乱光強度の時間平均値を測定し、散乱体の位置によって光の重ね合わせ方が異なることを利用して、散乱体の大きさ、形状などを調べる実験が最もよく行われている。このような平均強度を用いた測定方法は、静的散乱法と呼ばれる。一方、散乱体が熱運動をしている場合、多数の散乱粒子からなる系からの散乱光強度は、ある平均値の周りを時間とともに揺らぐことになる。散乱光強度の揺らぎは、散乱体の熱運動に基づくため、その揺らぎのデータの中には散乱体の運動の情報が含まれることになる。このような散乱光強度の揺らぎの測定を行い、系内の散乱体の運動を解析する測定法が、動的散乱法である。

2. 位相と光の重ね合わせ

光散乱法では、図1に示すように、入射光を試料系に入射し、角度 θ での散乱を測定する。通常、垂直偏光したレーザー光源が用いられる。

$$E_i = E_0 \cdot \exp(i(k_i \cdot r - \omega_0 t)) \quad (1)$$

試料中の散乱体が分極率 α を持つとき、 $P = \alpha E_i$ の電気双極子が誘起され、さらに、振動する双極子から

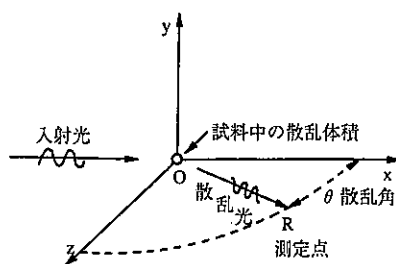


図1 光散乱測定の基本配置図

電場 E を持つ散乱光が四方に放射されことになる。この散乱光の振動数と位相は入射光と同じである。測定に供される散乱体積内には、多数の散乱体が存在するので、観測点 R で測定される散乱電場 E_s は、各散乱体からの散乱電場の和となり、散乱体の相互の位置関係によって強めあったり弱めあったりすることになる。

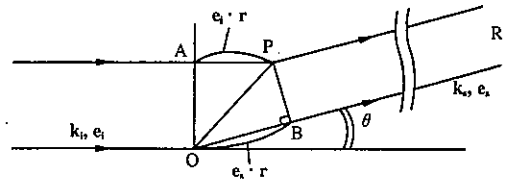


図2 二点 O, P よりの散乱電場の位相差

たとえば、2つの散乱体からの散乱を考えてみる (図2)。ここで、 $k_i = (2\pi/\lambda)e_i$ 、 $k_s = (2\pi/\lambda)e_s$ は入射及び散乱方向の波数ベクトルである。散乱点より十分離れた散乱角度 θ の位置で観察した場合、点 O 及び点 P からの散乱光の位相差は、

$$(2\pi/\lambda)(AP - OB) = (2\pi/\lambda)(e_i \cdot r - e_s \cdot r) = (k_i - k_s) \cdot r = q \cdot r \quad (2)$$

と書ける。ここで、

$$|q| = |k_i - k_s| = (4\pi/\lambda)\sin(\theta/2) \quad (3)$$

である。 $q = |q|$ は距離の逆数の次元を持ち、 q^{-1} が空間の尺度を規定することになる。したがって、このとき観察される散乱電場は、 $E_s = C_M E_0 \sum_{O,P} \exp(iq \cdot r)$ と、書くことができる。 C_M は物質定数である。一般には、系中には多数の散乱体が存在するので、

$$E_s = C_M E_0 \sum_j \exp(iq \cdot r_j) \quad (4)$$

と書け、測定される平均散乱光強度は、

$$I(q) = \langle E_s(q) \cdot E_s^*(q) \rangle = C_M^2 E_0^2 \langle \sum_{j,k} \exp\{iq \cdot (r_j - r_k)\} \rangle \quad (5)$$

となる。ここで、 $\langle \dots \rangle$ は、あらゆる配置についての平均を取ることを意味する。

いくつかの散乱体がつながってできている場合には、つながった全ての形状 (位置) についての散乱光強度の平均を取る必要があり、十分希薄な状態では、

$$I(q) = K_c M C P(q) \quad (6)$$

の形で書くことができる。ここで、 K_c は物質定数であり、 M は分子量、 C は濃度である。 $P(q)$ は形状因子と呼ばれ、物質の形状によって決まる q の変数であり $q=0$ のとき 1 となる。 $P(q)$ には粒子のつながり方すなわち分子や分子集合体の形の情報が含まれており、 $P(q)$ の解析から、その形状を決定することができる。 q が分子の大きさより十分小さい場合には、 $P(q) = 1 - (1/3)R_0^2 q^2 + \dots$ が成立し、回転半径 R_0 を求めることができる。このような平均散乱光強度 $I(q)$ から粒子の形状・大きさを決定する方法が静的光散乱法である。

3. 動的散乱法の基礎

系中にある粒子が熱運動により時々刻々位置を変化させるとき、時間とともに散乱光の干渉効果が変化するので、測定される散乱電場 $E_s(q, t)$ は他の物理量同様に時間とともに平均値のまわ

りて揺らぐことになる (図3)。この揺らぎから分子運動を研究する方法が動的散乱である。この方法では、散乱電場 $E_s(q, t)$ の時間相関関数 $S(q, \tau)$ を用いて解析が行われる。

$$S(q, \tau) = \langle E_s^*(q, t) \cdot E_s(q, t+\tau) \rangle = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T E_s^*(t) E_s(t+\tau) dt$$

$$= K \langle \sum_{i,j} \exp\{iq \cdot (r_i(\tau) - r_j(0))\} \rangle \quad (7)$$

異なる粒子 i, j が互いに独立に運動するなら、 i, j 間の相関関数 $\exp\{iq \cdot (r_i(\tau) - r_j(0))\}$ の時間平均はゼロになるので、

$$S(q, \tau) = KN \langle \exp\{iq \cdot (r(\tau) - r(0))\} \rangle \quad (8)$$

と書け、 $S(q, \tau)$ は個々の粒子が時間 τ の間にどの程度位置を移動したかにより、その値が決まることになる。粒子が静止していれば、 $S(q, \tau)$ は一定の値をとりつづけ、粒子が運動すると $S(q, \tau)$ は時間 τ とともに減少する関数になる。多くの場合、 $S(q, \tau)$ は、指数減衰曲線を描く (図4)。

$$S(q, \tau) = S(q, 0) \exp(-\Gamma(q)\tau) \quad (9)$$

動的散乱法では、この Γ を求めることにより系内の運動の解析を行う。例えば、粒子がブラウン運動を行っている場合には、拡散方程式から $\Gamma(q) = Dq^2$ が求まる。ここで、 D は拡散係数である。したがって、 Γ を q^2 に対してプロットすれば、 D を精度よく求めることができる。

最近の動的散乱の実験では、散乱電場 $E_s(q, t)$ ではなくフォトンカウンティング法により散乱光強度 $I(q, t)$ が測定されることが多く、 $I(q, t)$ の時間相関関数 $A_s(\tau)$ による解析が行われる。通常、散乱粒子は多数あり散乱光強度の時間揺らぎが Gauss 分布に従う時には、

$$A_s(\tau) = \frac{\langle I(q, t) \cdot I(q, t+\tau) \rangle}{\langle I(q) \rangle^2} = 1 + \beta \left\{ \frac{S(q, \tau)}{S(q, 0)} \right\}^2 \quad (10)$$

が成立するので、散乱光強度の測定からを求める方法が用いられる。

4. 粒径分布の測定

動的散乱が最もよく用いられる例が液体中の粒径分布の測定である。球状剛体粒子が粘度 η の溶媒中に分散して、系中を拡散運動をしているとき、粒子の半径 R_H と拡散係数 D の間には、Einstein-Stokes の式

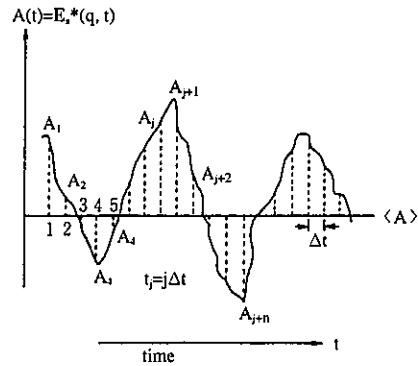


図3 散乱電場は平均値に熱的ノイズのかかったもの

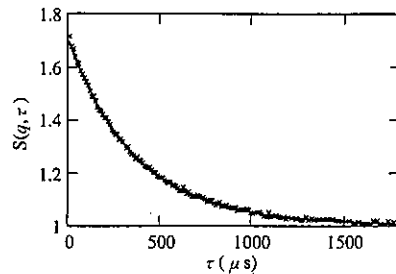


図4 動的散乱測定により得られる散乱光強度の時間相関関数の一例。試料は球状シリカ粒子の希薄水溶液。

$$R_H = k_B T / 6\pi\eta D \quad (11)$$

の関係が成立するので、動的光散乱測定により $S(q, \tau)$ を測定し、そこから拡散係数 D を求めれば、粒子の半径 R_H が求めることができる。粒径に分布があるとき、測定される減衰曲線は各サイズの粒子の示す減衰曲線の和の形で表される。

$$S(q, \tau) = \sum_i G_i \exp(-\Gamma_i \tau) = \int G(\Gamma) \exp(-\Gamma \tau) d\Gamma \quad (12)$$

したがって、測定された $S(q, \tau)$ を逆ラプラス変換することにより、減衰時間 Γ の分布 $G(\Gamma)$ を求めることができ、したがって、式(11)を用いることにより、容易に粒径分布 $G(R_H)$ を求めることができる。各粒子の組成が同じであれば、 $G(R_H)$ は粒子の質量の二乗及び数に比例する量になる。この方法を適切に用いれば求まる R_H の精度は高く、また、外力を要しない非破壊検査であるため、化粧品・インキ・塗料などに使用する粒子の径や、衣料品、ミセル、タンパク質の粒径を決定するためによく用いられる。濃度が高いときには多くの場合、希釈された状態より拡散が早く評価されるため、できるだけ希薄な条件で測定を行うことが望まれる。さらに、粒子の径が大きい場合、粒子内での光の干渉効果により散乱光強度は減少し、見かけ上その分布が過小評価されてしまう。そのため、大きな粒子を含む場合、 q^1 が粒径 R_H より十分大きくなるような q すなわち小角での散乱測定を行う必要がある。分散粒子の形状が剛体球でない場合、求まる半径は流体力学的に有効な半径であることにも注意しなければならない。

5. 高分子試料の測定

多くの原子がつながって形成される高分子は、その拡がり R_G が数 nm から数百 nm 程度の大きさを持つ。光散乱により測定できる q^1 の範囲が数十 nm から数百 nm であるために、測定条件により、測定尺度を示す q^1 と高分子の拡がり R_G の大小を測定条件により、変えることができる。

$q^1 \gg R_G$ を満たす小角側での測定を行うとき、高分子内の各散乱点からの散乱は全て同位相となる。したがって、高分子全体を一つの散乱点とみなすことができ、高分子全体の拡散運動を観察することができる ($\Gamma \sim q^2$)。高分子鎖が溶液中を拡散するとき、高分子鎖はその拡がりの中にある溶媒を引き連れて運動するため、ある大きさを持った塊として動く。その大きさが R_H として測定され、高分子の拡がり (回転半径) R_G と比較すると $R_H = 0.7R_G$ 程度となることが知られている。実際、希薄極限の良溶媒中に溶解するポリイソプレンの拡散係数 D_0 を調べると、 $D_0 \sim M^{0.61}$ が求まり排除体積の理論から高分子の拡がりを予想したときに得られる指数値 0.6 とよく一致した結果を得ることができる。一方、大きな R_G を持つ分子量の大きい高分子試料を用い q が小さくなる高角での測定を行うと $q^1 \gg R_G$ となる。このとき、測定される空間尺度は高分子の拡がりよりもずっと小さくなり、高分子内部の緩和が観察されるようになり、 Γ は q^1 に比例するようになる (図5)。最近では、山川らのらせんミズモデルを用いた高分子の理論が確立し、動的光散乱法を用いて、分子量だけではなく、持続長などの分子パラメータも決定できるようになってきて

おり、これらのパラメータを用いることにより、高分子の拡散現象だけではなく、粘度、静的光散乱などを総合的に記述できるようになってきている。

高分子の濃度が高くなってくると、高分子は互いに重なりはじめ、分子量が高い場合はいわゆる絡み合い網目を形成する。高分子のセグメント運動の速さが溶媒粘度により決まる準濃厚溶液では、浸透圧による数～数十nmの局所的な濃度揺らぎが存在し、これは協同拡散と呼ばれる。この状態で観察される減衰速度 Γ は q^2 に比例し、そこから求まる拡散係数 D_c から計算されるサイズ ξ_H が濃度揺らぎの相関距離である。 ξ_H は濃度の上昇とともに小さくなり分子量には依存しない。厳密ではないが、 ξ_H は、おおよそ網目サイズを表すと考えてよい。大体準濃厚溶液でも、 $q^{-1} \ll \xi_H$ となると、網目の構成要素の分子内緩和モードが観察されるようになり、 q^2 ではなく q に比例する Γ が観察されるようになる。

高分子が貧溶媒中に存在するときや、高分子鎖の間に水素結合などの特別な相互作用が存在するときには、弾性力の寄与が浸透圧による寄与と同程度もしくは大きくなり、見かけ上、高分子同士は弾性の網目を形成するようになる。このとき、上記の協同拡散に加え、遅い緩和モードが観察されるようになる。図6はPVA/Boraxの水溶液についての時間相関関数 $A_q(t)$ を示したものである。それぞれの測定角度で2つの減衰挙動が観察される。早いモードの減衰速度 Γ は q^2 に比例し協同拡散を示している。一方、遅いモードの減衰速度 Γ は q には依存しない。その特性緩和時間 $\tau_r (= \Gamma^{-1})$ は、同じ試料の動的粘弾性測定から得られる力学的緩和時間 τ_M とよく一致して、濃度揺らぎと弾性網目応力の間に動的カップリングが存在することがわかっている。

高分子を化学的または物理的に架橋すると、網目構造が発達しゲルとなる。ゲル化の初期過程では、様々な大きさの架橋クラスターが形成して減衰時間の分布が生じる。便宜上、このような分布を持つ減衰曲線は、KWW型で表される減衰曲線を用いてフィッティングが行われることが多い。

$$S(q, t) = S(q, 0) \exp[-\Gamma(q, t)t^{\beta}] \quad (12)$$

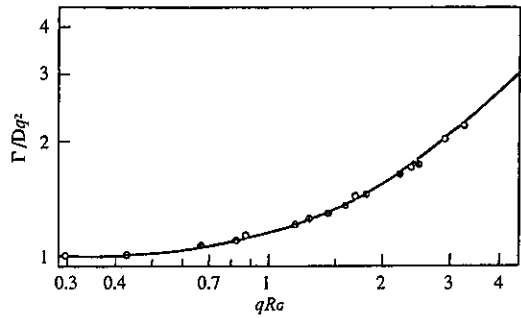


図5 ポリスチレンのテータ状態 (トランスデカリン, 20.4°C) における第1キュムラント. Mw: ○ 9.70×10^6 ; □ 5.53×10^6 ; △ 2.42×10^6 . (Tsunashima et al.: *Macromolecules*, 16, 1184(1983)より)

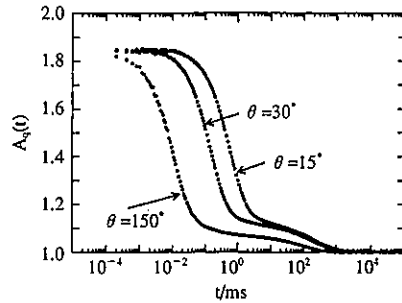


図6 PVA/Borax水溶液の時間相関関数データ。速いモードと遅いモードの二つのモードが存在する。

ゲル化が進行するほど β は小さな値をとり、系内に小さいものから大きいものまで様々なサイズのクラスターが形成され、緩和時間の分布が広がることからわかる。ゲル化点では、図7で示すように、長時間域でべき則型の緩和挙動を示すようになり、

$$S(q, t) \sim t^{-\alpha} \quad (13)$$

様々な大きさの構造が同時に存在するフラクタル型の構造をとっていると考えられている。力学緩和による方法と同様に、この方法によってもゲル化点の決定を行うことができる。

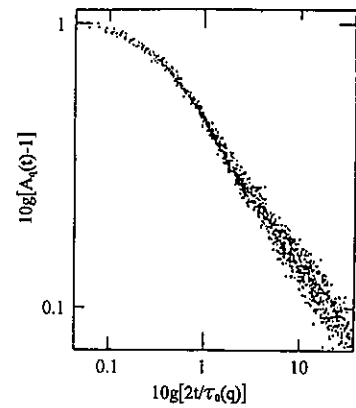


図7 ポリウレタンのゾル-ゲル転移点における時間相関関数。時間相関関数の時間依存性はべき則で表される。

参考文献

- 1) B. J. Berne, R. Pecora, "Dynamic Light Scattering", John Wiley, N.Y., (1976).
- 2) R. Pecora, "Dynamic Light Scattering, Application of Photon Correlation Spectroscopy", Plenum, N.Y., (1985).
- 3) 根本 紀夫, 表面, 33, 108 (1995).
- 4) 高分子学会編, 「高分子実験学6・散乱実験と形態観察」, 共立出版, (1997).

☆☆ トピックス ☆☆

活性酸素消去能をもつ還元水の科学と医療への応用

九州大学大学院農学研究院遺伝子資源工学部門

白畑 實隆

Key words: reduced water, active oxygen, active hydrogen, cancer, diabetes

Sciences on reduced water exhibiting reactive oxygen species-scavenging effect and its medical application

Sanetaka Shirahata(Department of Genetic Resources Technology, Faculty of Agriculture, Graduate School of Kyushu University)

1. はじめに

水は2個の水素原子と1個の酸素原子からなる簡単な化合物でありながら、その構造と機能がいまでも十分解明されていない不思議な化合物である。我々の体の2/3は水で占められており、野菜類では約90%、クラゲでは99%が水である。生物は水なしでは存在しえないばかりでなく、水は生命そのものと密接に関係していると考えられる。水は水素結合によって互いに結合し、隙間の多いクラスター構造を形成するため、様々な物質を溶解することができる。また、加水分解・脱水反応をとおして多くの物質の生合成に直接関与している。毛細血管のすみずみまで血液が行き渡るのも、水の水素結合のお陰であり、肝臓で発生した熱を全身に運び、体温を一定に保つものにも水が役立っている。

近年、水が持つ生理機能に注目が集まっている。これは地球環境の汚染が深刻になり、毎日飲む水の品質劣化が健康に悪影響を及ぼしていることが懸念されていることが背景にあると思われる。ペットボトルで市販されているミネラルウォーターに人気が集まり、浄水器や電解水製造器もかなり普及している。我々は活性水素の供給という新しい水の機能を提唱し、安全な水、美味しい水から一歩進んだ、還元力をもち健康を作る水の日常的摂取を呼びかけている。

ここでは、我々のこれまでの研究を中心に、水の物性、化学的性質と生理機能について解説する。

2. 水の流れと体

我々の肺や脳の8割は水であり、我々は水の中で呼吸し、考えていると言っても過言ではないであろう。我々は一日約2リッターの水を摂取し、同じ量の水を排泄している。一日水を摂らな

いと、脱水症状が起こる危険性があり、3日水を摂らないと、生命維持が困難になる。これは食べ物を摂らなくても一ヶ月はゆうに生きることができると著しく対比される現象であろう。なぜ我々は新鮮な水を毎日摂らなければ生きていけないのであろうか。その答えは我々の体は水が入っては流れていく一種の川であるという考えにあると思われる。川は上流から水が流れてこないとすぐ枯れてしまう。現代人はあまり生水を飲まなくなったと言われているが、「健康に良い水を飲む」ことが、汚れた川を浄化する一つの方法であると考えられる。

もう一つは「たくさん飲む」ということである。流れの激しい川は汚れない。つまり、水の流れを急流にすることで、体に溜まった有害なものがどんどん出ていくと考えられる。病気になる人は活性酸素の害を貯金しているようなものであるため、それを洗い流すためには、健康な人と同量では病気の進行にうち勝てないかもしれない。健康のために最低一日2リッター程度水を飲み、もし病気になったら4～5リッター水を飲むことを奨めている。

ドイツの流体力学者のテオドール・シュペンゲはその著書「カオスの自然学」(工作舎)の中で水は生き物であると述べている。興味深いことに流れている水は形を作ることができる。砂漠を流れる川の姿は血管の形によく似ているし、オリーブの幹の模様は水が流れてできる渦の姿を示している。流線型という水の流れを示す形は生物界のあらゆるところに見ることができる。静止している水に、管から水を吹き出すだけで、まるでクラゲのような生き物の姿が形作られる。心臓で血液を流し、体の水を絶えず動かしているのも、我々の体の形を維持するのに必要なものかもしれない。

3. 活性酸素と疾病

40億年ほど前地球上に最初の細胞が生まれたときは、地球は還元的雰囲気であり、酸素はほとんどなかったと考えられている。しかし、その頃すでに活性酸素に対する防御系が備わっていたと推測されている。20～25億年ほど前に光合成を行う生物が出現し、酸素を吐き出すようになり、地球上は徐々に酸化状態になり現在は約20%の酸素が大気中に存在する。これは生物にとって極めて危険な状態で、酸素の海の中ですべての生物は活性酸素の毒性と闘いながら、やがて破れて老化し死んでいく運命にあると理解されている。

図1に示したように、狭義の活性酸素種は一重項酸素 1O_2 、スーパーオキシドラジカル O_2^- 、過酸化水素(H_2O_2)、ヒドロキシルラジカル $\cdot OH$ の4種をいう。広義の活性酸素種にはさらに、過酸化脂質、アルコキシラジカル、一酸化窒素、ペルオキシナイトライト、次亜塩素酸、オゾンなども含まれる。活性酸素は生物に強い毒性を示すため、我々の体内では免疫系の細胞が活性酸素を積極的に産生して、病原菌やウイルス、ガン細胞などを殺したり、体内の不要な物質を分解したりするために積極的に利用している。また、最近では一酸化窒素や過酸化水素が生体内シグナルとして多面的な機能をもっていることが明らかになってきた。したがって、活性酸素がまっ

活性酸素と病気

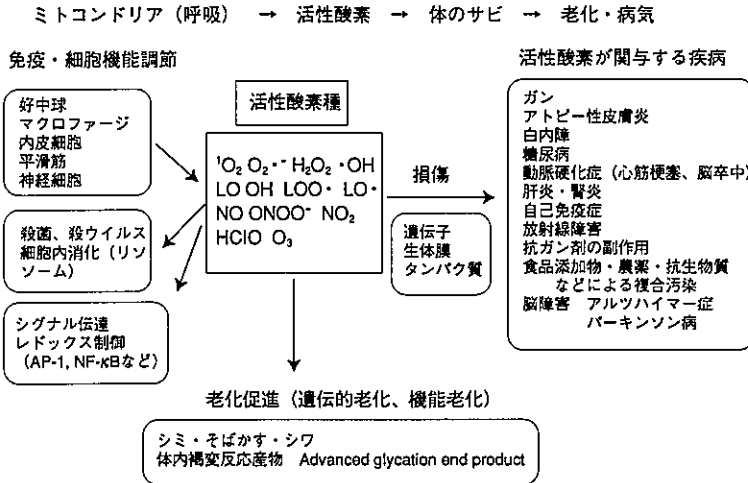


図1 活性酸素の働きと関与する疾病

たくない我々はすぐに病気になるだけでなく、体内の恒常性維持機構が正常に働かなくなる可能性が考えられる。しかし、一方では、炎症などの際に過剰に発生した活性酸素は生体を障害し、様々な疾病を引き起こす危険性がある。呼吸の際にミトコンドリアで発生する活性酸素は徐々に細胞内の遺伝子を傷つけ、疾病・老化の原因になっている。紫外線により発生する活性酸素はシミやソバカス、しわなどの原因になるだけでなく、皮膚ガンを発生させる。生体にはSOD酵素やカタラーゼ、DNA修復機構など活性酸素の発生や活性酸素によって起こる障害を防ぐ機構が備わっている。しかし、こうした機構によっても活性酸素の発生を完全に防ぐことは困難である。

20世紀の科学技術と産業の発展は地球の隅々まで汚染を広げ、汚染物質は最終的に水に溶けた形で移動し、やがて我々の体に悪影響を与えることになる。体内に取り込まれた化学物質は肝臓で解毒される過程で大量の活性酸素を発生させ、様々な疾病の原因となる。

4. 還元水とはなにか

水道水の品質劣化に伴い、健康に良い水に関する関心が高まっている。還元水という言葉はまだ厳密に定義された用語ではないと考えられるが、我々は還元力をもった機能水と定義している。機能水とは特定の機能をもった活性水と定義できる。図2に

機能水：特定の機能をもった活性水

水の活性化法：電気分解、磁化処理、超音波処理、ある種の石・ミネラル処理など。
 活性水の種類：電解水（電解還元水、電解酸化水）、磁化処理水、電子水、超音波処理水、鉱石・ミネラル処理水（トルマリン、麦飯石、医王石など）、天然活性水
 期待される機能：活性酸素消去作用、種々の疾病に対する予防及び治療効果（電解還元水の効能：胃腸内異常発酵、胃酸過多、消化不良、慢性下痢、制酸、便秘）、殺菌作用（電解酸化水）、制菌作用、脱臭効果、洗浄効果、食品の劣化・腐敗防止効果、種子殺菌、植物の耐ストレス能の向上、酸性土壌の改良、切り花保存、堆肥育成、植物成長促進・収量増加

図2 様々な機能水と期待される効果

種々の機能水についてまとめた。水の活性化法には、電気分解、磁化処理、電子処理、超音波処理、鉱石・ミネラル処理（トルマリン、麦飯石、医王石など）など様々な方法がある。これらの機能水の中で、最もよく科学的に解析されているのが電解水である。一般にアルカリイオン水とも呼ばれている電解還元水は、厚生労働省の認可する医療用の水であり、胃腸内異常発酵、胃酸過多、消化不良、慢性下痢、制酸、便秘に効能があり、一方、電解酸化水は殺菌力をもち、アストリンゼント効果があるとされている。平成11年4月に開催された日本医学会総会で、電解還元水の厳密な二重盲検臨床試験結果が発表され、上記の効能が確認されている。しかし、その作用機構についてはまだ十分に明らかにされていない。一方、1996年4月にスタートした我々の研究の目的は上記の胃腸内不定愁訴の改善だけでなく、ガン、糖尿病、アトピー性皮膚炎、動脈硬化症などの難病の予防あるいは治療に電解還元水が効果をもつと言われていることが果たして本当かどうかを検証することにあった。

5. 電解還元水と奇跡の水の疾病改善効果

電解還元水を一日2リッター程度飲用している人はほとんど病気なしで生活しているという話をしばしば耳にする。電解還元水製造器を販売している人は多くの場合自身でも多量に電解還元水を飲用しているため、病気になる人が少ないという。電解還元水の疾病改善効果を長年研究している医師林 秀光氏は、神戸市の協和病院（河村宗典院長）での臨床例をもとに、電解還元水の飲用により、糖尿病患者の血糖値の早期下降、糖尿病性足部壊疽の早期治癒、胃潰瘍、十二指腸潰瘍の改善と再発予防、痛風患者の尿酸値の早期下降、肝臓疾患症例における肝機能の早期改善、高血圧、低血圧、冷え性の改善、アトピー性皮膚炎、喘息、じんましん、鼻炎などのアレルギー性疾患の改善、治癒、高コレステロール血症の改善、月経困難症、更年期障害の改善、自律神経失調症、不定愁訴の改善、慢性下痢、慢性便秘の改善、治癒、関節リュウマチの改善、治癒、ベーチェット病の改善、治癒、川崎病の改善、治癒、新生児血清ビリルビン値の早期改善などの効果があると、その著書¹²⁾の中で記述している。改善されるという疾病は活性酸素が原因もしくは誘因となっている疾病であることから、電解還元水が体内の活性酸素を消去することにより効果を発揮しているものと推測している。筆者の身近でも、2001年8月肺ガンが見つかり、10月に肺の半分を摘出する手術を受ける予定になっていた女性が、約50日間電解還元水を一日4～5リッター飲用した結果、手術前の検査でガンが完全に消失していたため、手術が中止になったという出来事があった。その後の徹底した検査でも転移を含めてガンは見つかっておらず、本人は現在元気で仕事をしている。

世界にはいくつか奇跡の水と呼ばれる疾病改善能力のある水が報告されている。奇跡の水として古くから有名な水にフランスのルルドの水がある。1858年にルルド村の少女ベルナデッタの前に聖母マリアが現れ、その指示により足下を掘ったところ出てきた水がルルドの泉であると伝え

られている。ルルドの水の奇跡については、アメリカに初めてのノーベル医学賞をもたらしたフランス人医師アレキシル・カレルの著書「人間—その未知なるもの」(三笠書房)の中で、ガン患者の治癒、盲人の視力回復、傷口の治癒などの例が詳しく報告されている。カレルは血管縫合手術を成功させた他、免疫学、動物細胞培養学でも大きな業績を残している。

近年では、1986年にメキシコのトラコテ村で見つかったされるトラコテ水がある。科学者でもあったその井戸の持ち主が3年

間160万頭の豚や鶏に水を飲ませたところ、まったく病気が出なかったのが、病気に人に飲んでもらったところ、AIDSやガン等でも進行が止まることが分かり、今でも多数の患者が飲用していると言われており、国連からも表彰されているという。図3に日本テレビ網(株)から提供して頂いたウルグアイのモンテビデオ総合病院でのデータを記載した。様々な研究機関がトラコテ水の有効成分を解析したが、他の天然水との違いを見いだすことができず、膨大な臨床データのみが将来原因が分かった時のためにファイルされているという。

1992年1月にはドイツのノルデナウ地方の廃坑から湧き出る奇跡の水が見つかった。フランクフルトから車で約2時間のところにある山間の小さな村ノルデナウはスキー場や避暑地として利用されている美しいリゾート地である。そこでホテルトメスを経営するテオ・トメスさんの話によれば、たまたまホテルに泊まったオランダ人がワインにうるさいので、ワインの貯蔵庫として利用していた廃坑に案内したところ、そのオランダ人がここにはエネルギーがある。ここで瞑想させて湧き出る水を人々に飲ませると病気が治るであろうと言ったとのことで、その噂がたちまち広がり、その年の末までに約50万人の人々がノルデナウを訪れ、様々な疾病が改善されたとのことである。チェルノブイリ原発事故のときは白血病の子供をトメスさんが招待したところ、一人の子供は完全に治癒したと伝えられている。その鉱山は西洋屋根瓦に使用されるスレーター石と水晶が交互に層をなしているそうで、廃坑入り口の上空は電磁波が減衰して通らないと言われており、その付近一帯が地球の癒しのスポットとして紹介されている。ホテルの横で診療所を開いている医師Z. Gadekと我々の研究室は糖尿病に関する効果について共同研究を行い、2001年6月スウェーデンで開催された欧州動物細胞工学会で成果発表を行った。

1992年12月にはインドのデリーの近くの水でも疾病を癒す水が見つかったと報告されている。

我々は1997年5月電解還元水が活性酸素を消去し、DNAを酸化傷害から守ると題した論文を発

メキシコ・トラコテ水の臨床試験結果

1993年ウルグアイのモンテビデオ総合病院		
14才から81才までの患者 3,673人 一日約2リッター飲用		
2週間後		
エイズ	100%	(エイズウイルスはなくならないが、痛み抑制、進行抑制が起こる。)
アレルギー	99%	
皮膚の病気	96%	
消化器の病気	91%	
目の病気	89%	
糖尿病	88%	好転
骨・関節の病気	87%	
腎臓病	69%	
心臓・呼吸困難	69%	
筋ジストロフィー	29%	
1年間の調査研究中 3,673人中 29人が死亡(0.8%)。		
エイズ、アレルギー、皮膚疾患、呼吸器障害、消化器疾患、糖尿病などにおいて、80%を超える割合で病状が好転		

図3 トラコテ水の臨床効果

表した^[2]。その後、新聞に掲載された記事を見られた(株)日田淡水魚センター社長の石井嘉時氏が我々の研究室を訪ねて来られ、日田市に病気を癒す水があり、無料で市民に飲んでもらっているので調べて欲しいと言われた。筆者は当時天然にそのような水があるとは信じていなかったのですが、当初断ったが、何度も来られるので、その熱心さに負けて、日田市に赴いたところ、多くの市民の方が感謝しながら、水を汲みに来られている様子にこれは本当に効果があるのかもしれないと思い、本格的な研究を開始した。石井氏の経営するガソリンスタンドの敷地から出る水を市民に無料で開放した結果、糖尿病で失明した方が半年位で視力を回復した例や末期ガン患者が治癒したという話を聞いた^[3]。その後、淡水魚センターでウナギの養殖用に汲み上げていた水が良質の水であるとのことで、分析した結果、活性水素を多量に含む水であることが分かった。この水は即効的効果があり、現在日田天領水という名称で全国販売されている^[4]。石井氏自身が網膜色素変性症という遺伝病で、視野が狭くなり失明寸前までいったが、この水を飲み始めて、視野がどんどん広がり、現在では不自由なく生活ができるまでに回復している。お会いする度に若返っているように見えるのは、以前の同氏を知る者にとっては驚異である。大牟田市にすむ73才の男性の方も同じ病気で4年ほど前に全盲状態になったが、日田天領水を2年半ほど前から飲み始め、持病の顔面神経痛の痛みが10日目に完全に消えた。その後も飲み続け、2001年6月と8月に白内障の手術をしたところ、視力が0.4まで回復していることが分かったとのことであった。その方にお会いして直接お話を伺う機会があったが、大変前向きな心の持ち主で、全盲になっても、心まで身体障害者になってはいけなと、庭や畑の手入れを手探りで続けておられたそうで、しだれ梅の手入れの後、作られたつぎの歌を紹介してもらった。「全盲となりてもなせし剪定の、しだれ茂りて春を待つ梅」。こうした改善事例は10例近くにもものほり、現在東京大学において網膜細胞株を用いてその効果を確認する研究が開始されている。その他、ガン、糖尿病、アトピー性皮膚炎、膠原病など様々な疾患が改善されたという報告が寄せられており、その詳細な作用機構解明が待たれる。

6. 活性水素還元水説

活性酸素が老化や広範な疾病の原因となっていることは現在では広く認識されている。電解還元水及び奇跡の水が改善効果を示す疾病の多くに活性酸素が関与していることから、これらの機能水が体内の過剰の活性酸素を消去することにより効果を示している可能性が考えられた。では、電解還元水及び奇跡の水の中の何が活性酸素を消去するのかということが問題になる。水は水素原子を2個持ち、もっとも高密度に水素原子を貯蔵している物質の一つである。水は大変安定な化合物であり、分解するには大きなエネルギーを要する。ところが、不思議なことに水は $\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{OH}^-$ の反応により常に弱く解離する性質があるため、電氣的に容易に分解して水素と酸素を発生させる。しかし、電解による水素と酸素の発生反応の起こりやすさは同等ではなく、水素の

方が圧倒的に発生しやすい。陰極側で起こる $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$ の反応の理論電圧は $E^\circ = 0\text{V}$ であるのに対し、陽極で起こる $\text{H}_2\text{O} \rightarrow 1/2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$ の反応の理論電圧は $-E^\circ = -1.23\text{V}$ である。実際には、水素は電極の電圧を少し負にするだけで発生するのに対し、酸素の発生は理論電圧よりもかなり正にしなければ発生しない。水の分解電圧が理論分解電圧よりも大きいのは、おもに、酸素発生反応が起こりにくいことによっている¹⁵⁾。

白金電極の陰極側では H^+ がまず H になり、ついで H_2 が発生する。 H は白金表面に吸着した Had となる。白金表面での水素発生反応は $\text{Had} + \text{Had} \rightarrow \text{H}_2$ または $\text{Had} + \text{H}_3\text{O}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + \text{H}_2\text{O}$ のいずれかによる。いずれの過程が起こるにしても、水素分子が生成する途中で中間体として原子状の水素（活性水素）が生成する。原子状水素は金属と化学結合で結合し、 M-H となる。水素原子はほとんどすべての金属と M-H 結合をつくり、多くの遷移金属は室温でも長時間にわたって吸着状態を維持することができる¹⁶⁾。吸着された水素原子はつぎに金属内部に拡散し、吸蔵される。吸蔵された水素は加熱することにより、再び金属表面に放出し、水素分子にすることができる。この原理を応用したものが水素吸蔵合金である。

水素原子そのものは比較的安定なラジカルであり、その半減期は約1/3秒とされている。しかし、電解還元水の活性酸素消去能は室温で1ヶ月以上安定であることから、遊離の水素原子が水溶液中に長期間存在するとは考えがたい。そこで、我々は還元水中では水素原子は金属マイクロクラスターに吸着・吸蔵された形で長期間安定に存在するという仮説を提唱した¹⁷⁾。すなわち、電気分解の際に、陰極側では金属イオンが電子を受け取り、金属マイクロクラスターを形成し、この金属マイクロクラスターに原子状水素が吸着・吸蔵され、水素化金属マイクロクラスターを形成する。この金属マイクロクラスターは nm スケールと極めて小さいため、水中コロイドとして長期間安定に存在し、細胞内に取り込まれ、還元性を示す。この金属マイクロクラスターに結合した活性水素は遊離の活性水素と比べて反応性が弱くなっており、活性酸素としか反応しないため、生体反応系を乱すことは少ないと考えられる。

活性水素を測定する従来法は酸化タングステン WO_3 を用いる方法である。 WO_3 は水素分子とは反応しないが、水素原子を吸着し $\text{WO}_3 \cdot \text{Hx}$ となって、色が黄色から青色に変わる¹⁸⁾。しかし、この方法は還元水中に存在する微量の活性水素を測定するには感度が十分ではなかった。我々は活性水素還元水説を証明するために、まずスピントラップ剤を用いた新規の活性水素定量法を開発した。これはスピントラップ剤が原子状水素と特異的に反応し、色素を形成する反応を利用したものである。中間体の化学構造を決定し、電解還元水及び天然還元水が活性水素の供与体であることを明らかにした。この方法は大変感度が高く、 0.1 ppb 以下の活性水素を定量することができ、電解還元水及び日田天領水には $0.8 \sim 0.9 \text{ ppb}$ の活性水素が存在すること、メキシコ・トラコテ水やドイツ・ノルデナウ水にも $0.1 \sim 0.2 \text{ ppb}$ 程度の活性水素が検出されるが、市販のミネラルウォーターや水道水には活性水素はほとんど検出されないことが明らかとなった。

白金黒は表面積が大きく多量の活性水素を吸着することが知られている。また、九州大学理学部の松田義尚教授らのグループは活性水素がケイ酸化合物中に取り込まれた場合、水溶液中でも1年以上安定に存在しうることを報告している^[12]。実際、白金黒に電解で発生する活性水素を吸着させるか、あるいは、水素ガスを吹き込むことにより活性水素を吸着させた場合、乾燥状態でも、また水溶液中でも活性水素反応が長期間認められることを確認した。また、本学中央分析センターのICP-MASSを用いた元素分析により、超純水にNaClまたはNaOHを溶解しただけの電解質であっても、電解後に様々な微量金属が溶解していることが明らかとなった。特に、電解後に白金電極由来の白金含量が増大し、活性水素反応も増強された。そこで、電解還元水を高圧電子顕微鏡室の透過型電子顕微鏡で解析したところ、1~10 nmの白金クラスターの存在が確認できた。また、日田天領水にも白金クラスターのほか、銅クラスターや鉄クラスターなどの存在も確認できた。この金属クラスターの濃度に依存して活性水素反応が強まること、純粋な2nm程度の均一な白金コロイドも活性水素反応を示すことが明らかにした。これらの結果から、電解還元水や奇跡の水中に存在する金属マイクロクラスターが活性水素のキャリアーとして機能するものと推定した。水分子の大きさは0.3nmであるので、1nmサイズの金属マイクロクラスターは水分子と同様に細胞内に取り込まれ、細胞内活性酸素を消去するものと推測された。一般に、粒子サイズが2nmよりも小さくなると、バルクの場合と性質が異なり、表面原子の作用が強くなって、酵素と同様な強い触媒活性をもつようになることが知られている。

ビタミンCやビタミンE、システイン、グルタチオンなどの有機性還元剤は活性水素を放出して、活性酸素を消去するが、その後酸化剤としても機能するため、諸刃の剣的な性質が問題となっている。しかし、還元水中の活性水素は活性酸素と反応した後は水になり反応を停止するため、理想的な抗酸化剤であると考えられる。ビタミンC、システイン、グルタチオンなどの有機性還元剤も活性水素反応を示すが、これらの物質はアルカリ性で不安定で酸化されやすく、また、銅イオンを還元して自動酸化を受けるのに対し、還元水中の活性水素はアルカリ性で極めて安定であり、銅イオン触媒による自動酸化を受けなかった。こうした性質は水素吸蔵合金や白金黒に吸着した活性水素の性質と類似した。電気分解の過程で溶存炭酸ガスが活性水素によりギ酸及びホルムアルデヒドに還元されることが知られているが、ギ酸及びホルムアルデヒドは上記の活性水素反応をほとんど示さなかったことから、還元水中の還元力はこれらの物質に由来するものではないと推定された。上記定量法は水素吸蔵合金の性能評価にも使用することができた。

還元水中の活性水素は脱気処理や攪拌、超音波処理等には安定であったが、加熱すると活性水素反応が低下するとともに、活性酸素消去能や生理機能も失われた。しかし、密閉容器中で加熱した場合には活性は保持される傾向を示したことから、開放条件で加熱した場合には、金属マイクロクラスターに吸着・吸蔵された活性水素が水素分子となり、失われるものと推定された。こうした性質は電解還元水も日田天領水でほとんど同様であったことから、活性物質は同一のもので

あると推定された。日田天領水中の活性水素は大変安定で、密閉した容器中では半年後も活性は失われないばかりでなく、むしろ活性が強まる傾向が認められた。

コロンビア川流域の地下水が約60 ppbの水素分子を含むことが報告されている^[13]。実際、地下帯水層の玄武岩と地下水が接触することにより水素が発生することが実証された。近年、地下5,000m付近まで様々な生物が生存しており、地上よりも大きな生物圏を構成していることが明らかとなった。これらの生物は岩石と水の相互作用により発生する水素をメタン、硫化水素、窒素に酸化することでエネルギーを得ているため、岩石栄養生物として分類され、地球上に最初に発生した生命体であろうと推測されている^[14, 15]。Kawada^[16]はミクロクラスター構造のミネラルの触媒効果で、生命に必須な有機化合物が短期間で合成され、ついには生命が発生させることができるということを報告している。我々もミネラル溶液に炭酸ガスや窒素ガスを吹き込みながら、紫外線を照射することにより、水から生成した活性水素の作用によって、生命体が発生したという活性水素生命起源説を実証するための研究を続けている。

図4に示した様々な水の活性化法の多くが微弱電流を発生させ、活性水素を発生させると考えられる。たとえば、磁化水の場合、強力な磁場の中を水が高速で流れると電流が発生する。超音波処理により高圧、高電圧が発生し、水が電解される。ミネラルが溶解するときには、電子をプロトンに与えて活性水素が発生する。電子処理のような微弱エネルギーの賦与でも微弱電流が流れるものと推測される。滝の水のように激しく水が岩にぶつかる、あるいは水同士がぶつかる場合にも活性水素が発生すると考えられる。最近よく話題になるマイナスイオンも活性水素を含む水と密接に関係しているのではないかとと思われる。天然水には弱アルカリ性の水が多いのも活性水素の発生の結果かもしれない。

7. 還元水の活性酸素消去効果

還元水の活性酸素消去能を *in vitro* で証明するためには、強い電解還元水を作製する必要があった。電解強度に応じて強い活性水素反応を示す電解還元水を作製することができた。電解還元水中には電極由来する白金が含まれており、活性水素キャリアーとして機能していると推定された。実際、電解還元水及び電解還元水中の金属ミクロクラスターが活性水素反応を示すとともに、 O_2^- 、 H_2O_2 及び $\cdot OH$ を消去することが明らかとなった。電解還元水の活性酸素消去能は大変安定であり、3週間後もまったく活性は変化しなかった。一方、動物培養細胞は還元水の作用に鋭敏

活性水素還元水仮説

水の活性化処理（電気分解、磁化処理、ミネラル溶解処理、衝突、地下の圧力・熱など）→電流発生→活性水素発生→ミネラルに吸着して安定化→人工または天然還元水生成→活性酸素を消去し生命を酸化から保護

還元水は古来から存在する生命の発生および生存に適した水である。

水とミネラルの新しい役割：活性水素の供給と安定化

図4 活性水素還元水仮説

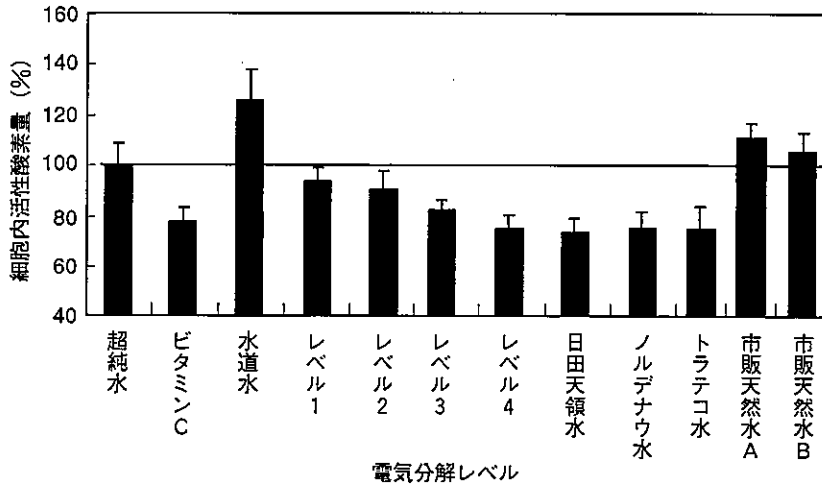


図5 電解還元水及び奇跡の水による筋肉細胞株L6の細胞内活性酸素消去。電解還元水は日本トリム社のTI-8000型を用い、福岡市の水道水をレベル1 (1A)、レベル2 (2A)、レベル3 (4A)、レベル4 (5A)の低電流電解を行った。ビタミンCは62 μ M.DCFH-DAと細胞内のH₂O₂の反応に基づく蛍光を共焦点レーザー生物顕微鏡で測定した。

であり、弱い還元水であっても細胞内活性酸素消去能を確認することができた。動物培養細胞内の活性酸素、とくに過酸化水素は蛍光試薬 dichlorofluorescein diacetate (DCFH-DA)を用いて検出できる。アスコルビン酸は60 μ M付近で細胞内活性酸素をもっとも強く消去したが、より高濃度では逆に細胞内活性酸素消去能は弱まり、細胞は酸化状態へとシフトした。これは、アスコルビン酸などの還元剤が酸化剤にもなりうるという諸刃の剣的性質によるものと推定された。市販の電解水製造装置で福岡市の水道水を電解したところ、電解強度が強くなるにつれて、強く細胞内活性酸素を消去する還元水を作製することができ、人工的に奇跡の水と同程度の細胞内活性酸素消去能をもつ電解還元水を作製できることが明らかとなった (図5)。還元水の細胞内活性酸素消去能力と還元水中の活性酸素含量との間には高い相関が認められた。これらの結果から、奇跡の水は活性酸素を含み、細胞内活性酸素を消去する天然還元水であると考えられた。

8. 還元水のガン抑制効果

電解還元水や奇跡の水の多量飲用により胃腸内のポリープの消失やガン組織の縮小、治癒等が報告されている。そこで、還元水がガン細胞に及ぼす効果を様々な角度から検討した。一般にガン細胞は高い酸化ストレス状態にある。これは種々の遺伝子変異をもつガン細胞では、ミトコンドリアDNAも酸化損傷を受けており、そのために活性酸素の発生率が高まっているためと考えられている。最近このガン細胞の高い酸化ストレスがガン形質 (転移・浸潤、薬剤耐性、ガン遺伝子活性化、染色体の不安定化など)の維持に重要な役割を果たしているのではないかという仮説が提唱されている¹¹⁾。そこで、ガン細胞内部の活性酸素を還元水で消去すれば、ガン細胞の

ガン形質に何らかの変化を引き起こすことができるのではないかと考えられた。実際、ヒト肺ガン細胞株A549及びヒト子宮ガン細胞株HeLaを電解還元水含有10%血清添加培地で培養したところ、細胞内H₂O₂が消去されるとともに、ガン細胞の増殖速度の低下が認められた^[18]。また、ガン細胞の悪性の性質である軟寒天培地中でのコロニー増殖能が還元水中で顕著に低下した。ガン細胞は一般に強いテロメラーゼ活性を示し、染色体末端のテロメアが細胞分裂に依存して短縮しないために、無限増殖性（不死性）を示す。A549細胞及びHeLa細胞を電解還元水を含む培地で約1年間培養したところ、テロメラーゼ活性は変化しないにもかかわらず、テロメア長が継代数に依存して短縮

した^[19]。図6にHeLa細胞におけるテロメア短縮を示した。テロメラーゼの発現は電解還元水により影響されなかったが、テロメア特異的結合タンパク質の結合活性が電解還元水により可逆的に低下した。このことから、電解還元水はテロメア結合タンパク質のテロメアへの結合を可逆的に阻害することにより、テロメラーゼのテロメアへの結合を阻害し、ガン細胞のテロメア短縮と細胞老化をひき起こすと推定された。また、高転移性ヒト繊維肉腫細胞株HT-1080の転移・浸潤能力も低下することがマトリゲルを用いた*in vitro*浸潤能アッセイにより明らかとなった。その作用機作解析により、電解還元水がガンの転移浸潤に関係するMMP-2やMMP-9の発現及び活性化を抑制することが明らかとなった。さらに、ガン細胞はVEGFを分泌することにより、血管新生を促進し、ガン組織の急速な成長をもたらす。この血管新生を抑制できれば、ガンとの共生が可能になることから多くの研究がなされている。電解還元水をガン細胞に作用させることにより、ガン細胞内でのVEGFの発現が抑制されること、実際にシャーレ内で血管を新生させる実験でも電解還元水が有意に血管新生を抑制することが明らかとなった。

以上の結果から、還元水はガン細胞内の活性酸素を消去し、ガン形質を正常化すると推測された。そこで、Balb/cマウスを用いた移植ガンの増殖に及ぼす電解還元水及び日田天然水の自由飲水による効果を調べたところ、有意なガン細胞増殖抑制効果が認められた。抗腫瘍サイトカインであるIL-12のマクロファージからの分泌を還元水が促進したことから、還元水はCTLやNK細胞などを活性化し、宿主のガン免疫を活性化しガンの排除能力を高めるものと推定された。

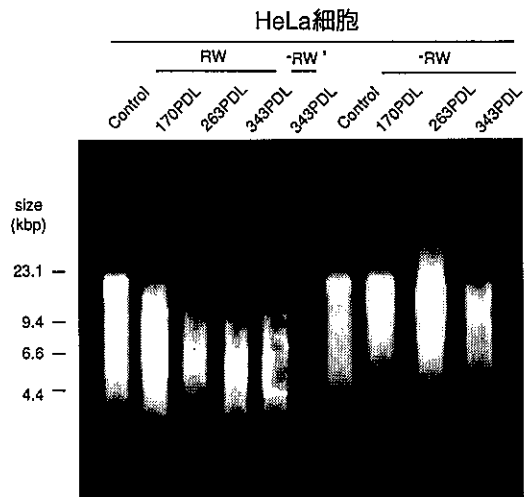


図6 還元水を含む培地中で培養したヒト肺ガン細胞株HeLaのテロメアの可逆的短縮。電解還元水を含む培地で継代培養し、染色体DNAからテロメアDNAを制限酵素で切り出してテロメア長を電気泳動法で測定した。写真の下の方ほど短いテロメアを示す。電解還元水を含む培地を超純水を含む培地に替える(-RW)と、テロメア長がもとの長さに回復した。

9. 還元水の抗糖尿病効果

糖尿病には膵臓ランゲルハンス島のβ細胞が免疫系細胞により攻撃された結果インスリン分泌ができなくなる1型糖尿病と、肥満などに起因してインスリン分泌障害と筋肉や脂肪細胞におけるインスリン応答性が低下する2型糖尿病がある。日本人の糖尿病の約90%は2型糖尿病であると言われており、最近インスリンシグナル伝達障害によるインスリン耐性やインスリン分泌障害における活性酸素の関与が明らかにされつつある^[20]。そこで、ラット筋管細胞株L6及びマウス脂肪細胞株3T3/L1を用いて、糖取り込みに及ぼす電解還元水及び天然還元水の効果を調べた。L6細胞を用いて、電解還元水が細胞内活性酸素を消去することを確認したのち、標識した2-デオキシ-³H]-D-グルコース(2-DOG)の細胞内取り込み速度を調べた。その結果、電解還元水及び天然還元水が筋肉及び脂肪細胞への糖取り込みを促進することが明らかとなった。この還元水のインスリン様活性はインスリンシグナル伝達のキー酵素であるPI-3キナーゼの特異的阻害剤であるワートマンニンを作用させると完全に阻害された(図7)。また、還元水刺激により糖輸送単体GLUT-4が細胞膜に移行することが確認された。これらの結果から、電解還元水はインスリンと同様なシグナル伝達機構に作用して糖取り込みを促進するものと推定された。日田天領水やドイツのノルデナウ水、メキシコのトラコテ水にも細胞内活性酸素消去作用と強い糖取り込み促進活性が確認された^[21]。しかし、市販のミネラルウォーターには細胞内活性酸素消去作用や糖取込促進作用は認められなかった。

2型糖尿病モデルマウス(*db/db*)は脳のレプチン受容体に遺伝的欠損をもつため、食欲を制御で

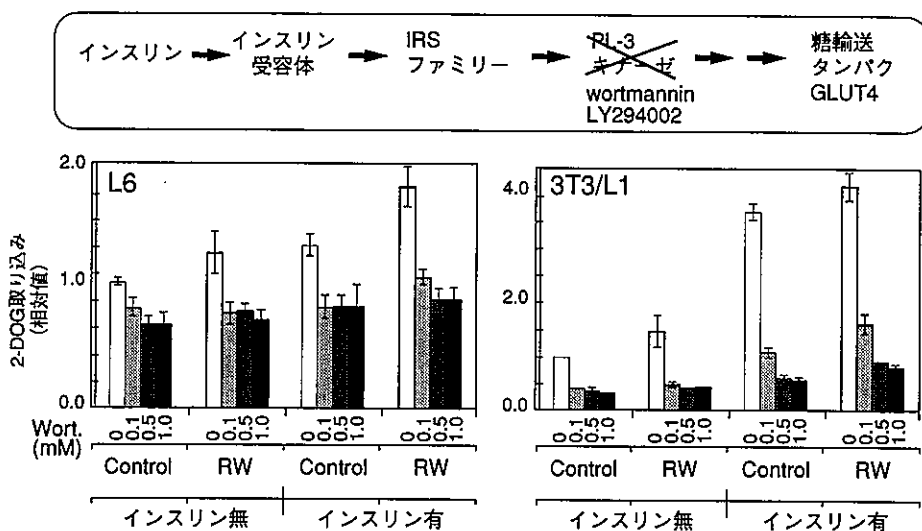


図7 電解還元水のラット筋管細胞株 L6 及びマウス脂肪細胞株 NIH3T3/L1 への糖取り込み促進効果に及ぼすワートマンニンの阻害効果。

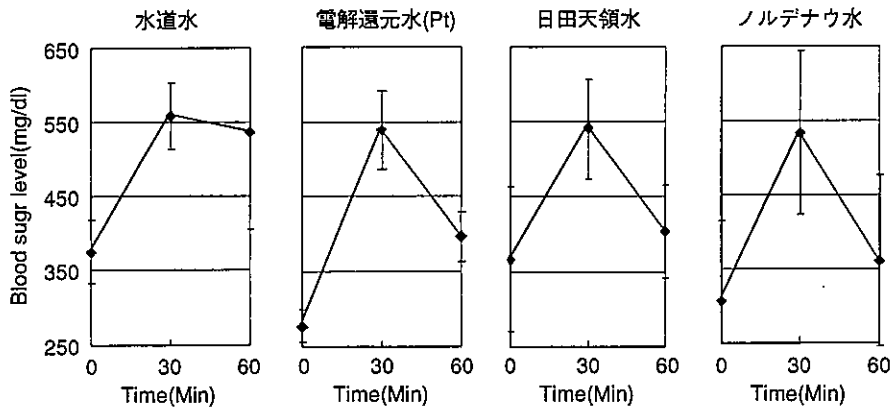


図8 還元水による2型糖尿病モデルマウスの耐糖能障害改善効果。レプチン受容体に変異をもち、糖尿病を発症した肥満マウスに還元水を飲用させ、ブドウ糖の腹腔内投与による一過性の高血糖に対する耐糖能試験を行った。

さず、肥満になり糖尿病を発症する。このマウスを用いた動物実験で、還元水が糖尿病マウスの耐糖能障害を改善し、血糖値を低下させることが証明できた(図8)^[22]。

10. おわりに

還元水の生理機能に関しては、ガンと糖尿病を中心に述べたが、還元水は脳細胞の活性酸素によるアポトーシス死も抑制することから脳の疾病の予防及び治療に効果が期待される。ガンに関しては今後宿主のガン免疫との関わりなど、さらに詳細な研究を行っていく必要があるであろう。一方、糖尿病は還元水の日常的飲用によって容易に病状が改善できる疾病のひとつであり、これまでのわれわれの研究によって還元水の抗糖尿病効果はほぼ実証できたものと考えている。今後、さらに分子レベルでの詳細な研究を行うとともに、臨床レベルでの研究を行っていく必要があるであろう。

還元水研究でもっとも困難であったのは、水溶液中に活性水素がどのような機構で安定に存在するかを明らかにすることであった。多くの証拠が蓄積された現在、これまでの研究結果を論文として公表し、この分野の研究を加速したいと考えている。還元水の研究を行っている中で、水道水の安全基準について見直す必要性を感じている。病原微生物を殺す目的で、0.1 ppm以上の次亜塩素酸を含むことが水道法で定められているが、水道水を培養細胞に作用させると細胞内は極めて強い酸化状態に変化する。こうした酸化水を日常的に飲用していることが疾病の罹患率を増大させている一因になっているのではないだろうか。実際、水道水を担ガンマウスに投与すると腫瘍の増殖が促進された。

これまでの研究結果から、我々は飲料水を還元水と酸化水に区別することを提唱している。還元水は、活性水素を含むか発生させる水、活性酸素を消去する水、生命を酸化傷害から保護する

水、疾病を防ぐ水、エネルギーのある水、若返らせる水、古来からの水、生命を育む水と定義できる。一方、酸化水は活性酸素を含むか発生させる水、エネルギーを消費させる水、老化を促進する水、疾病を起こす水と定義できる。水道水はこの酸化水に分類できるであろう。

すでに多数の人々が還元水を飲むだけで様々な疾患から回復しており、還元水を治療に利用している医師の数も増えつつある。しかし、還元水は薬と異なり、本来病気予防のために使用されるべきであると考えられる。とくに、近年都会に住む多くの妊娠中の女性の羊水が濁っているが、還元水を飲むことにより、透明な羊水になり、健康な赤ちゃんが産まれてくると言われている。胎児の時期は様々な化学物質や放射線による障害を受けやすいので、この時期の遺伝的変異を防止するのが、究極の疾病予防法だと言えるかも知れない。還元水研究は単に医療面への応用のみならず、食品産業、農業、環境産業へも多大なインパクトを与えるであろう。すでに、米国をはじめとした海外でも還元水に関する関心が急速に高まりつつある。我が国でも早急に還元水に関する国家プロジェクトを立ち上げて、世界をリードする研究および産業育成を推進していく必要があるであろう。

最後に、百瀬の紹介による流体力学者テオドール・シュペンクの著書「カオスの自然学」の中の言葉^[23]を紹介して終わりとする。

<水>は根元的な生命要素であり、可能でありさえすれば、どんな場合にも死の領域から生命を救い出す。活動的な安定を喪失し病んでいるものすべてにとって、<水>は大いなる癒し手である。また<水>はあらゆる場合で対立するもの間にたつ仲介者となり、そこから新たなものを不断に産出する。個体化しているものを分解し、それを生命に復帰させるのも<水>である。化学的には、<水>はそれ自体中性にとどまり、自分自身に対しては、なに一つ要求することなく、自らを完全なる自由にとどめておく。植物・動物、さらには人間が必要とするときには、それに応じて姿を変え、そのことになんの疑問も覚えず、仲介者としての役割をはたし終えた後には、次なる創造に備えて身を退くのである。その本質は純粋にして無垢、あらゆるものを純化して甦らせ、傷を癒して力づけ、再生して浄化する能力をもつ。

参考文献

- (1) 林 秀光：“抗酸化水が健康長寿を実現する”，実業之日本社（1995）
- (2) Shirahata S. et al.; Electrolyzed reduced water scavenges active oxygen species and protects DNA from oxidative damage. *Biochem., Biophys. Res. Commun.*, 234, 269-274 (1997).
- (3) 橋本奎一郎：生命の呼び水。プロスパー企画(1999).
- (4) 独活 章：飲んで治る奇跡の水。ブックマン社(2001)
- (5) 米山 宏：電気化学，pp.95-96，大日本図書，東京(1986)
- (6) 深井 有，田中一英，内田裕久：水素と金属，pp.131，内田老鶴圃(1998)

- (7) 白畑實隆：電解還元水の活性酸素消去作用とガン細胞の増殖抑制。機能水の科学と利用技術, pp.137-148, ウォーターサイエンス研究会 (1999)
- (8) 白畑實隆：水が持つ生理機能。農業および園芸, 74, 165-171 (1999)
- (9) 白畑實隆：還元水による動物細胞の機能制御と医療への応用。日本農芸化学会誌, 74, 994-998 (2000)
- (10) Benton, J. E. et al.: On the reduction of tungsten trioxide accelerated by platinum and water. *J. Cat.*, 5, 307-313 (1966)
- (11) Levy, R. B. and Boudart, M.: Kinetics and mechanism of spillover. *J. Cat.*, 32, 304-314 (1974)
- (12) Sasamori, R., Okaue, Y., Isobe, T. and Matsuda, Y.: Stabilization of atomic hydrogen in both solution and crystal at room temperature. *Science*, 265, 1691-1693 (1994)
- (13) Stevens, T. O. and McKinley, J. P.: Lithoautotrophic microbial ecosystems in deep basalt aquifers. *Science*, 270, 450-454 (1995)
- (14) ニュートン編集部：地底に広がる生命の別世界。ニュートン, 8月号, 92-99 (2001)
- (15) R. M. ハーゼン：深海底の鉱物が育んだ生命。日経サイエンス, 8月号, 32-42 (2001)
- (16) Kawada, K: Dissolution of minerals in relation with the origin of life. *Advances in Colloid and Interface Science*, 71-72, 299-316 (1997).
- (17) Toyokuni, S. et al.: Persistent oxidative stress in cancer. *FEBS Lett.*, 358, 1-3 (1995)
- (18) Shirahata, S. et al.: Electrolyzed reduced water which can scavenge active oxygen species suppresses cell growth and regulates gene expression of animal cells. In "New Developments and New Applications in Animal Cell Technology", (ed. by O. -W. Merten et al.), Kluwer Academic Publishers, the Netherlands, pp. 93-96 (1998).
- (19) Shirahata, S. et al.: Telomere shortening in cancer cells by electrolyzed-reduced water In "Animal Cell Technology: Challenges for the 21st Century", (ed. by Ikura et al.), Kluwer Academic Publishers, the Netherlands, pp. 355-359 (1999).
- (20) Lu, B et al.: Enhanced sensitivity of insulin-resistant adipocytes to vanadate is associated with oxidative stress and decreased reduction of vanadate (+5) to vanadyl (+4). *J. Biol. Chem.*, 276, 35589-35598 (2001)
- (21) Oda, M. et al.: Electrolyzed and natural reduced water exhibit insulin-like activity on glucose uptake into muscle cells and adipocytes. In: *Animal Cell Technology: Products from Cells, Cells as Products*, (ed. by A. Bernard et al.), pp. 425-427, Kluwer Academic Publishers (1999).
- (22) Shirahata, S. et al.: Anti-oxidative water improves diabetes. In: *Animal Cell Technology: From Target to Market* (ed. by E. Lindner-Olsson et al.), pp.574-577, Kluwer Academic Publishers, the Netherlands.
- (23) 百瀬昭次：水のこころと行動哲学, pp.61, かんき出版(1998)

★★ お 知 ら せ ★★

1. 装置修理状況

- (1) FT-IR550の修理を行いました。ビームスプリッターとニクロム光源を交換しました。(センター)
- (2) X線光電子分光分析装置 (ESCA) のターボポンプコントローラを修理しました。(センター)
- (3) NMRのCRTを交換修理しました。(センター)
- (4) X線回折装置の管球 (Cu) を交換しました。(工学分室)

2. 平成13年11月29日琉球大学にて、第4回九州・山口分析センター会議が開催されました。九州山口地区内では、相互に分析センターの装置を利用することが出来るようになりました。他大学の装置の利用を希望する場合は、分析センターを通してお願いします。

3. 本センターニュースのご購読を希望される方は随時受け付けておりますので、ご氏名とご送付先を下記宛にお願いします。

icpmstem@mbox.nc.kyushu-u.ac.jp