

知ってますか??



雑学講座

不老長寿と温泉

- 水の動的網目構造と磁場・活性酸素水・美味水 -

作・光藤 裕之 岡山理科大学 名誉教授

〒703-8217 岡山市土田1009-3

TEL/086-279-6011

8 水を変える磁場の働きの特徴

本稿の冒頭で、磁場をかけると美味・健康水がつくれる！何故か？を疑問点の一つに挙げた。地殻の圧電効果に起因する電場および電流がつくる磁場が、地下や海底の水（湯）を美味・健康水に変えるであろうことを、すでに述べた。

一方、水指しの外周、湯のみ茶わんの外底あるいは上水道管の外周等に磁石を配した製品が多数販売されている。これらを促す背景になった書物は、“水の磁気処理”（1984年刊、原著は1982年刊）²⁶⁾ のようである。その後、関連書物はかなり出版^{27) 28) 29)} されていて、多くの現象が報告されている。しかし、それらの現象をもたすメカニズムについては、納得できる説は見当たらない。以下に私なりの取り組みを述べる。

8.1 誘導起電力の妙味

高等学校物理の教科書には、図3のような絵とともに、電磁誘導の法則が登場する。

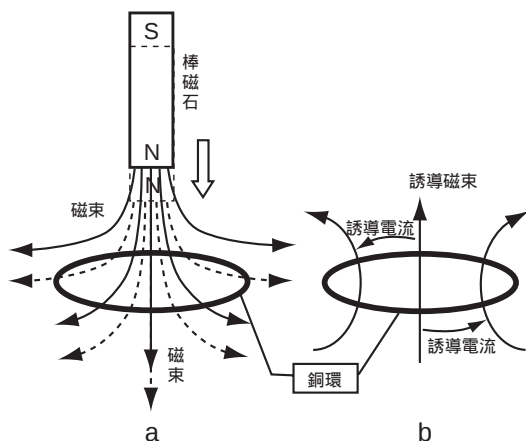


図3 (a) N極を銅環に近付けると環面を貫く磁束が増す (b) 誘導電流と誘導磁束。

① (レンツの法則): 誘導起電力の向きは、コイルを

貫いていた磁束 (図3-a) が変化するのを妨げる磁束 (図3-b) をつくる誘導電流 (図3-b) を流す向きである。

② (ファラデーの法則): 誘導起電力 V の大きさは、コイルを貫く磁束 Φ の変化速度 $d\Phi/dt$ に比例する。

両者をまとめると、 $V = -d\Phi/dt$ である。簡明で偉大な法則であるだけにイメージを描き難い。

起電力 V は、何処にどのように生じるのか？

以下に述べる幼稚な問題³⁰⁾を扱うと、教科書からは得られなかったイメージが湧いてくる。ただし、講義で、物理法則のイメージ捕捉を促すよう努力すると、学生の「授業評価」は下がる。彼等の多くは、上記の2項目のような条文を素直に丸暗記するのを好む。

均一太さの銅線で作られる円環を考えよう (図4)。この円環を貫く磁束が変動するとき、誘導起電力が発生

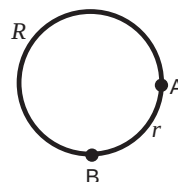


図4 均等太さの銅線の円環を貫く磁束が時間変動している。

して誘導電流 i が流れる。任意の2点 A, B を境にして円環を、大きい円弧 (電気抵抗 R) と小さい円弧 (電気抵抗 r) に分けて考えよう。

$$r \text{ の両端の電位差 } \phi_A - \phi_B = i \cdot r \quad (1)$$

$$R \text{ の両端の電位差 } \phi_B - \phi_A = i \cdot R \quad (2)$$

両式を辺々足し合わせると、

$$0 = i \cdot r + i \cdot R$$

つまり、 $r + R = 0$ となる！

しかし，常温超伝導ではなくて，銅線の抵抗は存在する．存在しないのは，円環に電流を流す起電力の 電源符号 である．式 (1) および式 (2) の成立は，円弧 ArB および円弧 BRA 内に電源が含まれないことを前提とする．誘導起電力は，回路全体にわたって均等に分布する ので，電源符号が書けなかったのである．

キルヒホッフの第 2 法則（閉回路に沿っての電流と抵抗の積の総和は，その閉回路に含まれる起電力の総和に等しい）を，上記に適用する．回路の全起電力を V とすれば，

$$i = V/(R + r) \quad (3)$$

である．ある円弧に含まれる起電力の大きさは，その円弧の長さに比例するから，円弧の抵抗に比例する．従って，円弧の起電力は

$$V_{ArB} = V \cdot [r/(R + r)] \quad (4)$$

$$V_{BRA} = V \cdot [R/(R + r)] \quad (5)$$

与えられる．式 (3)，(4)，(5) を用いると，

$$\begin{aligned} \phi_A - \phi_B &= V_{ArB} - i \cdot r \\ &= V \cdot [r/(R + r)] - V/(R + r) \cdot r = 0 \\ \phi_B - \phi_A &= V_{BRA} - i \cdot R \\ &= V \cdot [R/(R + r)] - V/(R + r) \cdot R = 0 \end{aligned}$$

を得る．もちろん，

$$(\phi_A - \phi_B) + (\phi_B - \phi_A) = 0$$

である．

回路全体にわたって均等に分布する誘導起電力が，抵抗を流れる電流による電位降下を，無限小の回路長さごとに相殺する．そのため，回路中の有限の長さの 2 点間の電位差が 0 であっても電流が流れる．やはり電源符号は書き難いのである．このような性質の誘導起電力が，水の分子ネットワークに作用する．

8.2 磁場の中の閉回路の運動とロ - レンツ力のする仕事

誘導電流 i が，抵抗 $(r + R)$ の円環を流れるとき消費される電力（ジュール熱）は，棒磁石を動かす外力のする仕事率に等しい．ただし，磁場の中でなされる仕事なのである．図 3-a で，円環を

動かしても同じことである．磁場中で導線を動かすと誘導起電力が発生する．このことは発電機に利用される．外力は，風車，水車，火力・原子力に駆動されるタービンで供給される．

再び高校教科書に戻る．

「一般に，動いている荷電粒子が磁場から受ける力をローレンツ力という」

「荷電粒子が磁場だけからローレンツ力を受けながら運動しているとき，力は粒子の速度の向きとつねに垂直に働き，力は粒子に対して仕事をしない」

「誘導起電力は，導線中の自由電子に作用するローレンツ力によって説明できる」

電力会社から供給される電力は仕事をしないのか？ そんなことはない！

ここで，ファラデーの電磁誘導の法則を整理する．一般に，起電力は単位電荷が閉回路を一周するときに受ける仕事に等しい．閉回路 C の張る曲面 S を貫く磁束を Φ とす．誘導起電力 $V = -\partial\Phi/\partial t$ を 2 つの要素に分ける．

- (1) 閉回路 C が位置を変えないとき（速度 $v = 0$ ），磁場自身の時間変化（ $\partial B/\partial t$ ）によって引き起こされた $(\partial\Phi/\partial t)_{v=0}$ によるもの，（“induced field”³¹⁾）．
- (2) 定磁場のとき（ $B = \text{const.}$ ），閉回路 C が速度 v で磁場中を動くための $(\partial\Phi/\partial t)_{B=\text{const}}$ によるもの．ただし，閉回路は必ず磁力線を横切るように動かねばならない．（“motional field”³¹⁾）．

上記のいずれの起電力であれ，回路 C に電流を流して電力消費する．ここで，上記 (2) の閉回路が運動するときの誘導電流による電力消費は，同じ時間内にロ - レンツ力が閉回路上でする力学的仕事と同じ大きさで符号が逆になる．ロ - レンツ力の仕事は，互いに大きさが等しく符号が反対の力学的仕事と誘導起電力のする仕事の和（ $= 0$ ）である．従って，ロ - レンツ力は，運動電荷にいかなる仕事も加えないということと矛盾しない³²⁾．

磁場の中で閉回路 C に働く体積力 $f = i \times B$ は， C の運動を変えたり C を変形する力学的仕事をする．高校教科書では，磁場の中で導体を動かす外力のする仕事と表現したものである．水の中のミクロな閉回路は固体の均一強度をもつ針金ではない．容易に弱点が切れたり繋ぎ変えられたりする．

8.3 ゆらぎと仕事

水はある粘性を呈して流動する液体である．液体と固体の違いは何か？「切っても切れないものなかに？」：「水だよ」．孫にかけられた謎などが解答である．固体は形の変化に対して（あるずれ弾性率を呈して）抵抗する．液体は形の変化に続いて瞬間的に分子的構造の“配置変え”をし得る．容易に切られるが瞬時に容易につながる．粘稠な液体を除けば，“配置変え”（＝結合の“組み替え”）は分子の熱振動の周期（1～100ps）の間に起こる．

この分子的な配置変えは，マクロな形の変化がなくとも，熱運動として起こっている．熱平衡は自由エネルギー極小の状態に凍結されているわけではない．極小点を中心にした“ゆらぎ”をもっている．ある閉じた系が，非平衡状態にある確率 W と平衡状態にある確率 W_0 の比は，それぞれのエントロピー S と S_0 を使って，

$$W/W_0 = \exp(S - S_0)$$

である．

自由エネルギー F は，非平衡状態で $F = E - TS$ ，平衡状態で $F_0 = E_0 - TS_0$ であるが，閉じている系の全エネルギー E は，ゆらぎに際して不変： $E = E_0$ である．そこで，

$$T(S - S_0) = F_0 - F = -A_{min} \quad (6)$$

であるから，ゆらぎの確率は

$$W = W_0 \exp(-A_{min}/T) \quad (7)$$

で与えられる（アインシュタインのゆらぎの公式）．

自由エネルギーの変化（ $F - F_0$ ）は，秩序立ったエネルギーつまり仕事であって，式（6）の条件を満たす A_{min} は可逆過程を損なわない．ゆらぎは自然に起こるので，平衡状態でも式（7）の確率で（ $S_0 - S$ ）だけのエントロピー減少が起こる．系に外力を加えてエネルギー E を増加させないでも，平衡状態にある系の内部で“運動”が生じ， A_{min} を上限とする仕事が行なわれている³³⁾．

従って，一定温度 T のもとで状態変化を起こさせるために系に加えねばならない仕事の最小値は A_{min} である．すなわち， A_{min} 以上の仕事を加えたとき不可逆的な状態変化が生じる．その内部で閉回路 C が速度 v で運動している系に磁場が加えられているとき，ロ・レンツ力のする仕事 A_{min} を越すならば，系に不可逆的な状態変化が生まれる．

8.4 反磁性体である水に対する磁場の作用

水は反磁性体である．磁場を加えるとその磁場と反対方向に磁化される．図 3-b の誘導磁場と同様な一般的な現象であり，磁場を除くと消失する．水がもつ van Vleck 常磁性は極めて小さい³⁴⁾ので，磁化率が負であることには変わらない．近年，数 T 以上の超伝導磁石で水に強磁場を印加すると，磁場から逃げるために中央部の液面が下がる“モ－ゼ効果”が脚光を浴びている³⁵⁾．これとて磁場を除くと水平液面に戻る．

これに反し，微弱な仕事に敏感に微妙な効果を生む磁気効果は“subtle energy effect”とよばれる．しかし，モーゼ効果のような定量的な理論解析の裏付けをもたないので，好奇心の強い人でも“敬遠”する．しかし，反磁性体の性質がなぜ磁場で変化するのか？ 納得し難いことではないか！ 変化が残るために“磁化水”という迷惑な命名がされている．それにしても，不可解さが実在する．科学者が“特異で重要な「水」”³⁶⁾，“身近で未知な物質”³⁷⁾と表現される所以である．

水は「切っても切れない」流動性の凝縮体であり，高純度であっても弱電離している半導電体である．同時に，水素結合ネットワーク（回路網）の秩序志向性が関わっているであろう．次項で水の特徴を考える．

近年，MRI（magnetic resonance imaging）では，人体に超伝導マグネットで作る強い傾斜静磁場をかける．静磁場はモ－ゼ効果を見せる程に強くなければ，レントゲン線 CT と異なり生体を侵さないと考えられている．MRI 検査を受けた 2 名の方から次のような話を聞いた．「体が温まったように感じた」，「特に目玉が熱せられたように感じた」というのである．錯覚なのだろうか？

次の 2 つの仮説が考えられる．

- ① 速度 v で磁束密度 B の定磁場（静磁場）中を動く閉回路に motional field（ $= v \times B$ ）が生じる（8.2 節）．ロ・レンツ力によりなされた力学的な仕事は誘導起電力のする仕事（ジュール熱）に変換された．水素結合で結線された回路の運動速度 v は大きいであろう．
- ② ロ・レンツ力のする仕事 A_{min} を越し，水のネットワークに不可逆変化を与え，解離度の増加をもたらす．その結果生じた水の粘性低下，溶質の拡散係数増大等が，血行を良くし代謝を促進する．これが温かく感じさせるのかも知れない．しかし，なぜ目玉で顕著なのか？

9 凝縮した水の構造

9.1 水素結合

6 価の酸素原子に 2 つの水素原子が共有結合して水分子 H_2O がつくられる。ただし、結合電子分布は著しく酸素側に偏り、水素は裸（プロトン）に近い状態であり、水分子は大きな電気双極子モーメント μ をもつ。いま、H の電子 e が距離 r_0 離れた O に 100% 移ったと仮定したときの双極子モーメント r_0e よりも、 μ は小さい。つまり、比率 $\delta = \mu/(r_0e) < 1$ である。電荷移動の割合 δ は、結合のイオン性の尺度である（図 5）。裸同然の水素は電子受容性をもつ。実線の長

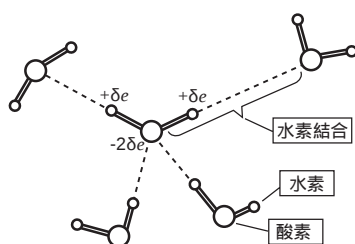


図 5 水の単位ペンタマー

イオン性の尺度（電荷移動の割合） $\delta = \mu/(r_0e) < 1$

e =電子の電荷

μ =双極子モーメント=移動した部分電荷 (δe) $\times$ 移動距離 (t_0)

実線長さ=0.1nm, 点線長さ=0.18nm

さ $r_0 = 0.1\text{nm}$ である。

水分子をつくるために酸素の電子 2 個が使われた。残りの $4e$ は 2 組の非結合電子対として温存されていて、電子供与性をもつ。近所に他の水分子がいるとき、それらの電子受容性水素に電子を対ごと供与して結合（ドナー・アクセプター結合）を形成する。この結合は点線（0.18nm）で表される（図 5）。

電気陰性度の大きい酸素とたった 1 個しか電子をもたない水素という偏った個性の取り合わせが特異な結合様式を生み出したといえよう。その特異さ 100% の存在が水なので、未知の事柄が多かったり、生命現象を生み出したりするのだろう。

水素が介在することによって酸素原子間に結合がつくられたので、水素結合とよばれる。図 5 に示すように、中心の酸素は、ほぼ 4 面体の頂点にある 4 つの酸素と水素結合する。4 隅の酸素は、それぞれに中心原子になるから、氷の構造はダイヤモンド型に近いものになる。このように、一つの水分子に注目しても、氷や水の中では、気体中とは状態が異なり、5 分子単位（ペンタ

マー）で取り扱う。

中心の酸素と 4 隅の酸素を結ぶ水素結合には向きがある。点線が酸素に接するところを矢の先端とすると、図 5 の中心酸素から出る矢が 2 本、入る矢が 2 本である。便宜的に、点線を“水素結合”，実線を共有結合と表現すれば、酸素原子には水素結合と共有結合がそれぞれ 2 本ずつある（氷条件）。

9.2 氷の配位エントロピー

原子や分子が異なった空間的配置をしていて、それら異なった状態のエネルギーがほぼ等しいとき、全ての状態数の対数には、空間的配置の数の対数が含まれる。異なった空間的配置がランダムに分布することによる“配位エントロピー”は、系のエントロピーに含まれる。

この典型例に氷が取り上げられる。1 個の O 原子からでる 4 本の線のうち、どの 2 本が実線でもよい、つまりランダム配置が許される。1 モルの氷に含まれる水素原子数を $2N$ とする。ペンタマー模型の中心の O と 4 面体頂点の O を結ぶ 4 本の線上への H の可能な配置数は 2^4 通りである。つまり、1 個の O に 16 通りで H を配置させることができる。具体的な配置を図 6 に示す。ここで、O に 2 個の H が共有結合する 6 通りだ

H_2O 6通り	
H_3O^+ 4通り	
HO^- 4通り	
H_4O^{++} 1通り	
O^{--} 1通り	

図 6 氷の酸素原子 (○) のまわりの 4 本の水素結合のうち、酸素原子と共有結合する水素原子のみを●で表示；合計 16 通りの配位状態がある。

けが水分子 H_2O からなる氷である。この“氷条件”を満たす割り合いは $(6/16=3/8)$ である。

1 モルの氷の中で N 個の O のそれぞれに 2 個の H を配置する配置数は、O - O 結合本数の重複計算を補正して、 $2^{2N}(3/8)^N = (3/2)^N$ となる。1 モルの氷の配位エントロピーとして $N\ln(3/2)$ が得られる。

上記は、完全結晶であり基底状態にある場合でも、6通りのランダム配置に起因するエントロピー（残余エントロピーともよばれる）があるという話である。格子欠陥等によるエントロピーではない。これから着目したいのは、図6の2～5項の励起状態である。

9.3 氷の格子欠陥と水の網目の乱れ

実在の氷は不完全結晶であり、純粋であっても各種格子欠陥をもつ。欠陥密度は昇温により増す。融点を越すと、完全な回転対称性に転移して液体の水になる。分子あるいは原子は、厳格な格子配列をやめ、フレキシブルな網目配置に変わる。網目の破れの密度は、結晶格子欠陥に比べて格段に大きい。網目は容易に切れると同時に容易につながる。この動的網目構造は流動性をもたらす。図6に戻る。

1個のOに3個のHが共有結合（第2項）すると、3Hが供出する電子は3eなので、Oの電子は7eとなる。ここでeを放出して6eになるとき、1個の正電荷の局所偏在が生じる。これを便宜的に H_3O^+ と記述する。eの放出がなければ、不對電子をもった H_3O^* 遊離基になる。

1個のOに1個だけ共有結合するH（第3項）が供出する電子は1eであり、3個のHとの水素結合にOから供与できる電子は5eで1個足りない。他所で放出されたeを受け入れるならば、 HO^- と記述される局所状態になる。他所からのeの受容がなければ、水素結合は2本にとどまり（ペンタマ-を構成せず）不對電子1個をもつ OH^* 遊離基が発生する。 $2\text{OH}^* \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O}_2$ は過酸化水素を生じる。

Oが欲張って4個のHと共有結合（第4項）するならば、4Hから4eが得られる。余った2eを放出すれば H_4O^{++} と記述される局所状態が生まれる。2eを放出しなければ H_4O^{**} 、eを1個放出すれば H_4O^{+*} 遊離基イオンが生まれる。

Oが4本の水素結合をするならば（第5項）、4Hに8eを供与しなければならない。不足する2eを他所から受容するならば、 O^{--} と記述される局所状態が生まれる。2eを受容しなければ、水素結合は3本にとどまり（ペンタマ-を構成せず）、2個の不對電子をもつ O^{**} ビラジカルを生じる。 $2\text{O}^{**} \rightleftharpoons {}^1\text{O}_2$ は1重項酸素分子を生じ得る。1eだけ受容すると、 $\text{O}^* + \text{O}^{**} \rightleftharpoons \text{O}_2^{-*}$ 遊離基イオンを生じるであろう。

これらの網目の乱れは網目内部に組み込まれないで網目の破れをつくり易い。破れ密度の高い網目は、分子、

イオン、遊離基等の並進運動を容易にし移動度を増す。

9.4 活性酸素の不活性化

水の網目の乱れのうち、 OH^* (H_2O_2)、 O_2^{-*} 、 ${}^1\text{O}_2$ は活性酸素とよばれている。 H_3O^* 、 H_4O^{**} 、 H_4O^{+*} は活性水素であろう。これらは不對電子（潜在的を含む）をもち反応活性である。前者は電子受容性であり、後者は電子供与性である。活性酸素の不對電子は、活性水素の電子を受け取って対電子になり、遊離基は消滅する。前者は負イオンに、後者は正イオンになり安定する。

この過程の実現には、活性酸素と活性水素が並進運動して衝突して電子授受するか、水素結合ネットワークを通路として電子輸送されるか、いずれかが必要である。

酸素原子間の水素原子の位置の振動 ($\text{O}-\text{H} \cdots \text{O} \rightleftharpoons \text{O} \cdots \text{H}-\text{O}$) は1s間に 10^{12} 回程度である。このとき、Hの左右の電子分布も同じ周期で振動する。プロトンジャンプは“電子ジャンプ”を伴う。活性水素の余分の電子は、水素結合を通路として伝播し、活性酸素に到達し得る。この伝播を、水素結合ネットワークがつくる閉回路に電磁誘導された起電力が促進する。

以上は、仮説であって直接証明はない。美味健康水は、遊離基が正負のイオンになった水なのかも知れない。感覚的な議論であるが、遊離基の高反応活性は刺激的な味を与え、その濃度が低ければ“まろやか”な味わいをもたらされるのではなからうか。おそらく熱平衡濃度を超えた正負イオンも味わいに関わっているであろう。

温泉、名水（冷泉）、深井戸水、海洋深層水、アルカリ電解水、磁場印加水などが不老長寿水であるメカニズムは共通なのであろう。放射能泉については、地下で放射線励起でつくられた遊離基が電磁場によってイオン化が促進されるという仮説が可能であろう。

体内の活性酸素は、例えば、グルコースを36℃で低温燃焼させるために必要なのであろうが、制御を脱したものは有害に違いない。老化、癌、糖尿病や肌荒れ等に関わるという。

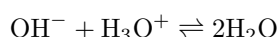
さて、飲まないで浴びるだけの水が、なぜ体内の活性酸素を減すのか？興味深い課題である。一方、体に貼付けるビップエレキバン[®]の磁場は直接体内の水に作用する。

磁場がする仕事でつくられた遊離基は水の滅菌に役立ち、その遊離基は誘導起電力でイオン化が促進され美味になる。少々できすぎた話である。これは、ビップエレキバンを貼付けたPETボトルに水を貯えれば実現する。

ますます出来過ぎの話である。しかし、私は 20 年来市販品を買うことなく、自家製美味水を味わっている。

9.5 pH < 7 でも酸っぱくない水

H_3O^+ 、 HO^- 、 H_4O^{++} および O^{--} のイオン密度の増加は解離度の増加に相当する。2 価イオンの濃度はかなり低いであろう。25℃、1 気圧で平衡状態にある純水を考える。



で $\rightarrow$ の向きに変化するとき、

$$\begin{aligned}\text{エンタルピー変化 } \Delta H^\circ &= -55.7 \text{ kJ/mol}, \\ \text{エントロピー変化 } \Delta S^\circ &= +0.081 \text{ kJ/mol K}, \\ \text{自由エネルギー変化 } \Delta G^\circ &= -80.0 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

が生じる。左辺のイオン濃度の減少は、イオンへの水和がつくる秩序の減退が ΔS° を増すと考えられている³⁷⁾。

一方、25℃、1 気圧で平衡状態にある水の解離定数 K の 実測値 は、

$$K = [\text{OH}^-][\text{H}_3\text{O}^+]/[\text{H}_2\text{O}]^2 = 1.0 \times 10^{-14}$$

である。純水では $[\text{OH}^-] = [\text{H}_3\text{O}^+]$ であるから、それぞれの濃度は 10^{-7} mol/l に等しい。 $\text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+]$ で定義される水素イオン指数は、 $\text{pH} = 7.0$ となる。

解離定数は温度とともに増すので、0℃では $\text{pH} = 7.5$ 、60℃では $\text{pH} = 6.5$ となる。これらは、それぞれの温度で平衡状態にある純水の値であって、中性の水の pH は昇温により減少する。 pH 計は、温度センサを内蔵していて、25℃の pH 値に補正して表示する。

網目の乱れと正負イオン濃度が熱平衡値を越した励起状態にある純水は、たとえ 25℃、1 気圧の条件下でも、“解離定数”は $K^* > 1.0 \times 10^{-14}$ である。従って、“ pH ”値 < 7.0 となる。温度補正だけの pH 計は、7.0 より小さい値を表示する。しかし、酸性ではない。

様々の美味健康・不老長寿水は、純水ではないが、飲用に供する水は中性に近い。酸っぱくないけれども、 pH 計表示値は酸性領域に入る。

pH 入門のようなことを書いた背景には、“擬似酸性”問題のほかに、私が中学生であった昔の体験がある。「水の酸性～塩基性を表すために 14 段階に分け、その中央の 7 を中性とする」と教えられた。なぜ 10 段階にしないのか？ 腑に落ちなかった。 K の実測値の係数が偶然にも 1.0 であったことは教えられなかったのである。

10 閉回路の実在とロ - レンツ力の仕事

10.1 水の動的網目構造とゆらぎ

氷は切れたり割れたりする、氷が融けて水になると、密度は殆ど変わらないで、流動性を帯びる。しかし、水の凝縮力から水素結合を排除してしまうわけには行かない。そこで 1962 年、G.Nemethy & H.A.Scheraga は、水素結合していない多数の H_2O 分子の海の中に、水素結合した H_2O の塊＝クラスター（ナノ氷）が浮いている模型を考えた³⁸⁾。そこに描かれている絵とそっくりな図を最近よく見かける。「クラスターが小さいと、生体器官が吸収し易くなり、美味・健康水になる」という解説に利用されている。

実のところ、直接観察する実験はない。近年、これを計算機実験（分子動力学シミュレーション）が補うようになった。その結果、ある瞬間ごとの水素結合ネットワークの描像が得られるようになった^{3)39),40)}。網に破れ目があっても系（ $\text{O}-\text{H} \cdots \text{O}$ ボンド）をたどると、網の一端から他端に出られる（ボンド パーコレーション）。つまり、迷路であっても通り抜けられる道筋が存在する。このことは、ある瞬間の水素結合 3 次元ネットワークには閉回路が存在し得ることを意味する。

G.Nemethy & H.A.Scheraga のクラスターモデルは、ナノ氷と非結合分子との間の共鳴、つまりある瞬間のナノ氷がばらけ、ばらけていた分子が氷になることを考えている。ベンゼン環の π 電子軌道の代わりに、ケクレ構造間の共鳴が考えられていたのと似ている。破れた網目模型では、10ps 程度の時間で水素結合する相手を変えて、水分子間の組み換えが起こると考えられている⁴¹⁾。それゆえ動的網目構造とよばれる。

^1H または ^{17}O の核磁気共鳴吸収（NMR）の線幅の尖鋭化（narrowing）の観測事実は、クラスターサイズが小さくなった証拠とされている。網目の破れ密度が増し H や O の運動の自由度が増し周囲のスピンとの相互作用の変動が平均化されて生じるゆらぎ運動による尖鋭化（motional narrowing）と考えることができる。NMR は磁場印加なしには測れない。磁場印加自身が水の状態を変える恐れがある。

10.2 網目の破れの密度を増す電磁場の仕事

破れ目を含む動的網目構造の水に磁場をかけた場合を考える。ゆらぎの運動速度を u で表し、 u の運動体に働く電場を E とする。

磁束密度 B の磁場が印加されると、電場 E が磁束を取り巻く。

$$\nabla \times E = -\partial B/\partial t - \nabla \times (B \times u) \quad (8)$$

ここで、右辺第 1 項は induced field, 第 2 項は motional field である。

一方、電流が流れると、それを取り巻く磁束が発生する。式 (9) で与えられる磁束密度 B は、式 (8) を通して E を発生させ、間接的に閉回路で仕事する。4 種類の電流が考えられる。

$$\nabla \times B = \mu_0[j + \partial D/\partial t + \rho u + \nabla \times (P \times u)] \quad (9)$$

右辺第 1 項の j は電場が駆動する電流の密度、第 2 項は誘電体としての水の電束電流 (= 変位電流, D : 電束密度)、第 3, 4 項は電荷密度 ρ のイオンと分極 P のゆらぎ運動による電流である。第 4 項の分極 P の運動はレントゲン電流とよばれるミクロな輪電流 (図 7) をつくる。つまり、輪電流は $P \times u = M_{eq}$ の等価磁化を

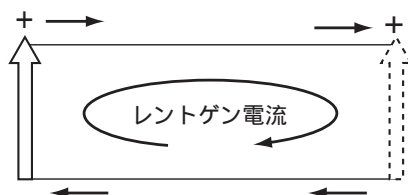


図 7 電気双極子の移動がつくるレントゲン電流。

発生する³¹⁾。

ここでは、水が電気分解を起こす程の強電場も強磁場も考えない。テフロン (PFA) 試験管の外に配置した平行電極 (blocking electrodes) で交流電場をかける実験をした。このとき $j = 0$ である。並行して交流磁場印加も実験した。定性的な実験であるが、いずれも 10 分以内の印加で、無印加の水に比べて毛管上昇が低下した。この低下割合は、電場よりも磁場の方がかなり大きい。

この事実は、運動する閉回路すなわち動的網目に対して磁場がする仕事は網目の乱れをつくり出す過程が、微弱な外部電場がする仕事よりも優勢なことを意味する。この仕事は、式 (8) の E がする仕事と大きさが等しく符号が反対である。

さらに、静磁場 B ($\partial B/\partial t = 0$) が小さくてもかなりの効果が残る。これは、動的網目の中の電荷のゆらぎの運動速度 u が大きく、ローレンツ力が大きいであろう。

水素結合バンド中のプロトンの占め得る 2 安定状態間の遷移が速いだけでなく、近隣のプロトン遷移間に同期して起こる協力現象があるのかも知れない。ゆらぎの自己秩序化があり得るのではないか。ゆらぎに同期する変動周波数をもつ外部磁場 $\partial B/\partial t$ が与えられるとき、かなりの微弱磁場でも水を変えるのかも知れない (確率共鳴)。水素結合のつくる動的網目構造の制御が愉しみである。

[参考文献]

- 26) V.I. クラッセン著、遠藤敬一訳“ 水の磁気処理 ”(日ソ通信社, 1984.1.25 刊)。
- 27) M.I. ダヴィドソン著、遠藤敬一訳“ 繊維工業における水の電磁処理 ”(日ソ通信社, 1988.11.10 刊)。
- 28) S.S. ドキシン著、遠藤敬一訳“ 磁界による天然水及び排水の浄化技術の改善 ”(日ソ通信社, 1989.7.1 刊)。
- 29) Yu.M. ソコリスキ - 著、遠藤敬一訳“ 磁化水 - 真実と虚構 - ”(日ソ通信社, 1991.10.15 刊)。
- 30) V.N. ランゲ著、豊田博慈訳“ 物理のパラドックス ”(東京図書, 1969.6.16 刊)。
- 31) W.K.H. バノフスキー・M. フィリップス著、林忠四郎・西田稔訳“ 電磁気学 ”(吉岡書店, 1967.6.15 刊)。
- 32) L.D. ランダウ・E.M. リフシッツ著、井上健男・安河内昂・佐々木健訳“ 電磁気学=連続媒質の電気力学= ”(東京図書, 1962.9.29 刊)。
- 33) A.C. カンパニェ - ツ著、高見頼郎・福湯章夫訳“ 統計物理学 ”(東京図書, 1981.9.10 刊)。
- 34) R.Cini and M.Torrini, *J.Chem.Phys.* **49** (1968) 2826.
- 35) 広田憲之・本間琢朗“ モ - ゼ効果とエンハンストモーゼ効果 ”*金属* vol.65, No.9 (1995) 793-802。
- 36) 関集三“ 水の世界 ”*関西学院通信クレセント*, vol.9, No.2 (1985) 30~52。
- 37) G.C. ピメンテル・R.D. スプラトリ - 著、榊友彦訳“ 化学熱力学 ”(東京化学同人, 1977.9.21 刊)。
- 38) G.Nemethy and H.A.Scheraga, *J.Chem.Phys.* **36** (1962) 3382.
- 39) A.Geiger and P.Mausbach, *Hydrogen-Bonded Liquids*, ed.J.C.Dore and J.Teixeira (Kluwer Academic, 1991), p.171。
- 40) 大峰巖“ 水の集団運動と揺らぎ ”*物性研究* **56-3** (1991-6) 269。
- 41) G.Salvetti: *Hydrogen-Bonded Liquids*, ed.J.C.Dore and J.Teixeira (Kluwer Academic, 1991), p.369。