

温泉と食塩、ヒトと食塩

（勸）中央温泉研究所 益子 安

多種多用の泉質をもって湧出する温泉の成分として、主成分となる頻度が高いのは、陽イオンとしてはナトリウムイオン Na^+ であり、陰イオンとしては、塩素イオンである。つまり、「ナトリウム—塩化物泉、(食塩泉)」が多い。海水が食塩を主成分としていることも云うまでもない。

温泉の科学の第一歩は、その温泉を採取して、その化学的成分組成を化学分析することから始まると言ってもよいであろう。とすれば、 Na^+ と Cl^- の分析は、温泉の科学的研究の第一歩となるような仕事である。さてその定量分析についてであるが、塩素イオン Cl^- の定量分析は、硝酸銀標準液で滴定するという明解で迅速かつ正確な方法が確立していたが、ナトリウムイオン Na^+ の定量分析は、分析者にとってやっかいな仕事であった。それは、 Na^+ がよく水にとけるため、 Na^+ だけを選択的に沈澱分離するような試薬もなく、又 Na^+ と選択的には反応して呈色するような試薬もなかったからである。1855年に Bunsen, R. が発明したブンゼン灯を用いて、Kirchhoff と Bunsen が行った Na の輝線スペクトルによる定性分析法を殆んどそのまま利用して、輝線スペクトル強度を簡易にそして正確に測定できる炎光分析装置が普及したのは、第2次大戦後のことであった。それ以来、温泉中の Na^+ の定量は、分析視野を悩ますことはなくなった。先人は、それにもかかわらず、精確なナトリウムの定量値を驚く程、沢山遺してしてくれたことに敬意をもちたざるを得ない。

人類が、食塩という素敵に美味な薬味 (a Condiment) を知ったのは有史以前のことであり、それは、人間社会に不可欠のものとなり食塩の資源をめぐって、戦争まで越えたことは史実にみる通りである。ヒトの生理にとって Na も Cl も必須のものではあるが、あまりにもヒトの食べ者の調味料としてすぐれているため、ヒトはその生理上必要な量以上に食塩を摂取していることが、以前から問題となり、今でも問題として残っている。

このような人間の食べ者の調味料として太古から認識されていた食塩という化合物を構成する2つの元素、塩素とナトリウムが近代的な意味で発見されたのは、勿論近世のことである。1774年に、Scheele が「フロジストンの抜けた塩酸」として Cl_2 ガスを分離し、1811年になって Gay-Lussac と Thenard (テナール) がこのガスが単体である事を確定した。Na が金属として分離されたのは、1802年 Davy の業績であった。Davy は、わずか2年前に発明されたボルタの電池 (1800) を用いて電気分解の実験を行ったのである。

食塩をはじめとして温泉の水そのもの、そして溶存する成分の由来を知ることは、温泉の科学の一大テーマの1つである。温泉の水の由来についても、その時代の科学を反映して諸説がのべられた。ブンゼン灯のブンゼンは、温泉循環水説を、エリー・ド・ボーモンは、温泉初生水説 (処女水説) をのべた。地熱開発が世界各地で行なわれるようになり、深部熱水が直接研究対象となるようになった現在、熱水中の同位元素の研究などから、今では、温泉中の水の大部分は、循環水であり、一部初生的な水をふくむ場合があると考えられている。熱水型地熱資源として地下深

部に貯溜される熱水の多くは, 中性の食塩泉型のものであることが知られ, この食塩その他の成分の由来についても諸説がのべられている. White (1957) はより深所から, 初生的な高温, 高密度の食塩を溶解した水蒸気が地下水と混合して深部食塩泉型熱水が生成するとし, 高温高密度の水蒸気中に食塩が溶解しうことは, Sourirajan, 及び Kennedy (1962) によって実験室内で確かめられた. また Ellis と Mahon (1967) は岩石と水を高温, 高圧下で, 実験室で反応させ, 反応後の水を分析して, 深部熱水の組成を説明するのに, 岩石と水との反応だけを考えればよく, 初生的成分の混入を考えなくともよいとした. 又, Dickson (1966) は, アイスランドの岩石と海水とを高温高圧下で反応させたところ, アイルランドの Reykjanes 温泉によく似た化学組成の水を得たと報告している. これら諸説については, ある種の化学種の由来の説明が不充分であるとの指摘もある.

ヒトの体重の60%は, 体液とよばれる水溶液である. その体液の $\frac{3}{4}$ は, 細胞内にあつて細胞内液と呼ばれ, 残る $\frac{1}{4}$ は血漿と組織内間液で細胞外液である. ヒトの細胞の大部分は, 皮膚で大気から仕切られて, 細胞外液の中で生命活動をしている. 細胞外液は血球や栄養, 老廃物の運搬の媒体であるのみならず, 自身のイオン組成, pH, 浸透圧など物理的, 化学的な状況を一定に保ちつことで細胞に良好な内部環境の恒常性を保っている. ヒトの体液の相対的イオン組成と, 地質時代(原始脊椎動物海)の海の水の相対的イオン組成はよく類似し, 体液の由来を原始時代の海水に求める人がかなりある.

表-1 ヒトの体液の相対イオンの組成*

Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Ma ²⁺
100	6.80	2.52	0.81

原始脊椎動物海の相対イオン組成** (Maculam の推定値)

Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
100	6.7	3.1	0.7

* 坪井他: 生理学, 講談社サイエンティフィック刊. (1977)より

** 木村他: 食塩, 豊文社 (S. 56)より

血液中のNa⁺濃度の恒常性はヒトの生命にとり不可欠の要点で, 食物を介して摂取する食塩量の不定にもかかわらず, 精密な収支により, 体内Na⁺は一定に保たれる. (図-1)

このような収支の精密さはヒトの体内各所に存在するNa⁺(と水)のための自動制御機構を介して, 腎が中心となって機能するからである. ヒトの体内でNa⁺は水をとまって行動し, 細胞外液量はNa⁺によって, 又体液の浸透圧は水によって規制される. ヒトのNa⁺の恒常を保持する中心器官の腎は, ネフロン(腎単位)の集合体で, ①尿をつくり老廃物を排泄し, ②体内の水の量, 電解質の量を調節し③内分泌器官(造血因子(エリスロポエチン), 昇圧因子(レニン)降圧因子(プロスタグランジン), ビタミンDの活性化(Ca²⁺の調節))として働く. 健常者では毎分1200 mlもの大量の血液が腎に送られ, 糸球体がろ過され, 毎分120mlのろ液をつくる. このろ液は血漿から蛋白質だけがのぞかれたろ液である. これが, 近位尿細管, ヘンレの係蹄, 遠位尿細管, 集合管の順でネフロン中を通る過程でNa⁺を始め, 必要成分の再吸収など様々修飾をうけて最後に1 ml/minの尿となる. (水の制限, 負荷のないとき). 何らかの理由で体外にNa⁺が喪失し, これに伴ってより過剰な水の喪失が起きて, Na⁺濃度が恒常性が失われたとき, ヒトの自動制御

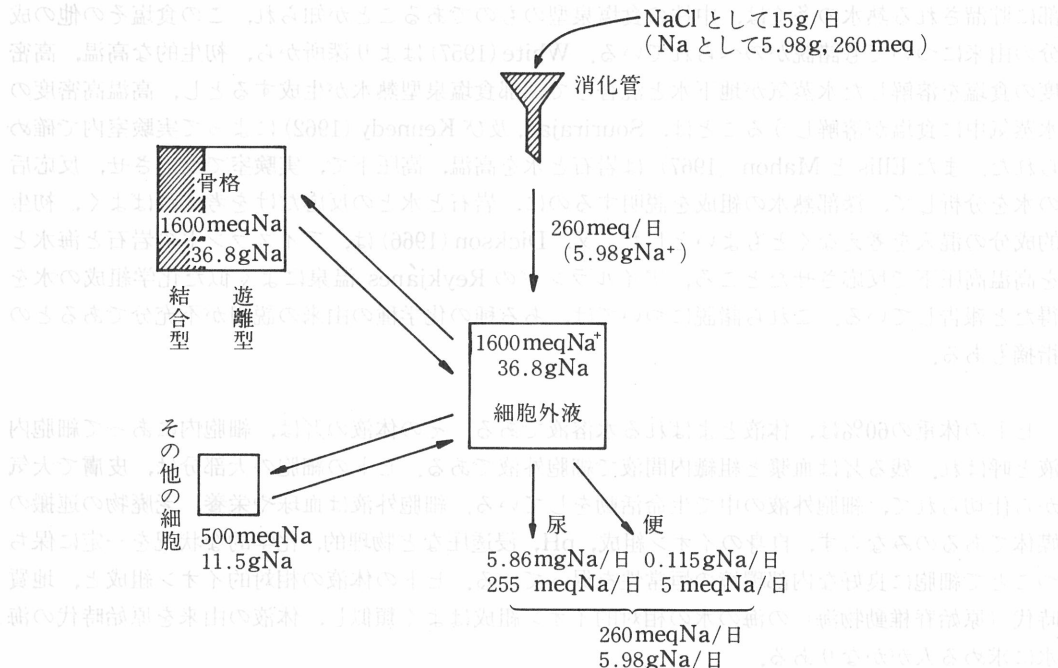
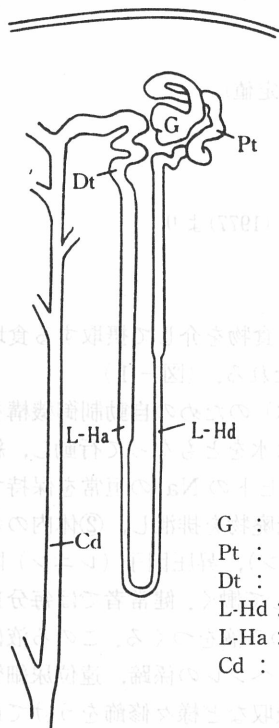


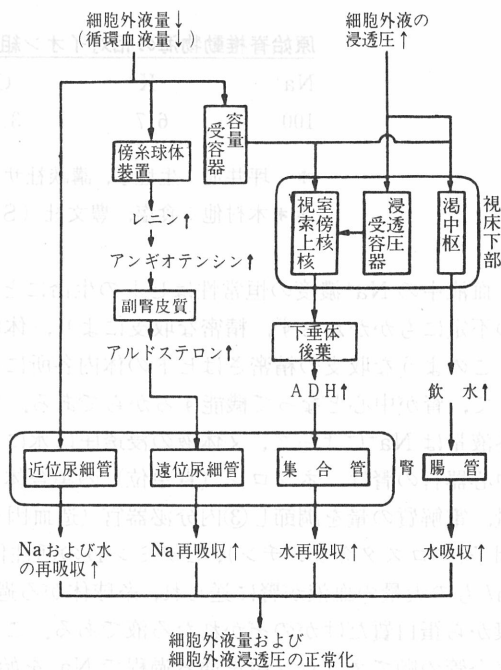
図1 Na⁺のヒトの体内分布とNa⁺摂取の収支 (森本による)

(健康人：体重70kg) 木村他：前出より(改変)



古山：薬局，Vol. 35, No.1 (1984)より

図2 ネフロン Nephron



金子・斎藤：薬局，Vol. 35, No.1 (1984)より

図3 水およびナトリウムの調節機構

機構の働きは、次のようなものである。Na⁺は水を伴って行動するから Na⁺の体外への喪失は一般に水の喪失を伴い、細胞外液量減少する。体内 Na⁺総量の減少にもかかわらず、より過剰の水が失われるため、細胞外液の浸透圧は上昇する。この結果①腎にある自動制御機構を介して近位尿細管での Na⁺及び水の再吸収が増進(↑)する。②腎(傍糸球体装置)から蛋白酵素レニンが分泌され、肝に由来するアンギオテンシノーゲンをアンギオテンシン I, II, IIIに変換する。このとき肺由来のアンギオテンシン変換酵素やアミノペプチダーゼ A が関与する。このアンジオテンシン II と III は副腎皮質からの鉱質コルチコイド(アルドステロン)の分泌を増加させ、アルドステロンは遠位尿細管及び集合管での Na⁺の吸収を増加させる。③体液量の減少は、左心房にある容量受容器で検知され、その信号は脳の視床下部の中継装置に送られ、ここを中継した信号が下垂後葉に送られ、そこから抗利尿ホルモン(ADH, バゾプレッシン)の分泌が促進され、この ADH は、集合管での水の再吸収を増加させる。④水の喪失により高まった体液の浸透圧は、視床下部の浸透圧受容器で感知され、③と同じ中継で下垂体後葉からの ADH の分泌を増加させる。⑤細胞外液の浸透圧の増加は直接に視床下部にある渴中枢に作用して「水がのみたい」という行動をヒトに要請し、ヒトが水をのめば、その水は腸から吸収されて体液量が増えて、浸透圧はもとにもどる。このような5つの経路は、時間差をもって作働して、Na⁺と水の恒常性を保持する。

以上、温泉の中の Na⁺、ヒトの中の Na⁺について考察してみたが、分子生物学の突出した発達、進歩に伴って、地球の中の Na⁺についての知識より、ヒトの中の Na⁺の挙動についての知識の進歩の方が早いように思う。このような傾向は、21世紀に於ける、温泉医学の目をみはるような進歩をもたらすのではなからうか。

参考文献

1. 岩崎岩治：温泉，白水社（1949）
2. 都築洋次郎：化学史，朝倉書店（1966）
3. 柴田雄次，山崎一雄：新訂無機化学攬要，第38版南江堂，（昭48）
4. 木村他：食塩，豊文堂，（1981）
5. 坪井，市河，井川，松田：生理学，講談社（1977）
6. 鎌田，小沢，村上，吉田編：地熱流体の化学，東大出版会（1985）
7. Ellis, A. J. 他：Chemistry and Geothermal Systems, Acad. Press. N. Y. (1977)
8. 創刊35巻，記念特集「病氣とくすり」薬局 vol. 35. No. 1 (1984)
9. Committee on Food Protection, Food and Nutrition Board, National Research Council: "TOXICANTS OCCURRING NATURALLY IN FOOD", 2nd Ed., National Academy of Sciences, Washington, D. C. (1973)