

V. 海水による蒸溜水の飲用清水化の開発研究 (第2年度)

— 蒸溜水のラットに及ぼす影響 —

目 次

A. 実験の実施と結果…………… 87
 B. 実験結果の考察…………… 89

A 実績の実施と結果

1. 実験の目的

本実験の目的は、出港したら数カ月間飲料水を積みこめない船舶飲料水が細菌繁殖により汚染変質して飲用不適に陥りがちなのに対し、使用の都度採水できる常圧蒸溜水を自家製造によりまかなう場合、蒸溜水そのものの飲用、ならびにミネラル添加蒸溜水の飲用が人体に及ぼす影響を究明するためである。

2. 実験方法

船舶飲料水：船舶飲料水の環境を再現するために1000ℓ入り鉄製タンクを船舶飲料水槽と同じように塗装したものを三個を設置して、その一個に常圧蒸溜水、一個に水道水に準じたミネラル添加蒸溜水、一個に对照として市水道水を貯蔵し、船体動揺に類した動揺を与えつつ保管したものを実験水とした。

実験動物は3週令壮ラット、スバラグダウリ系(SD系)を20~30度C恒温の動物舎で飼育し、飼料は配合飼料を用いた。

飼育は25個ケージ棚を5脚を用い、1頭1ケージで飼育し、飲水は前掲の実験水を飲水瓶を以て2月に1回ずつ飼料とともに補充して実験を行った。実験期間は4週令で開始して、対照群31週令、ミネラル水群32週令、蒸溜水群33週令で屠殺、全採血解剖を行った。

3. 実験項目

毎週2回体重、尾長、飲水量、採餌量を測定4週毎に採血、全血比重、ヘマトクリット、血球数、血色素量を測定した。

尿については水素イオン値、比重、カルシウム定量を行った。

実験の終了時には全採血によって、全血では比重、容積、血色素、血球数、血清では比重、総蛋白、アルブミン、Ca, Mg, Na, K, Cl, Fe S-GT, S-GPT, BN総コレステロール、アミラーゼ、クレアチニン等の測定を行った。

表1. 血液分析・胃内水素イオン変動

項目		血液分析					胃液性状(PH)	
		血清比重	総蛋白 g/dl	アルブミン g/dl	ヘマトクリット%	全血比重	噴門部	幽門部
蒸溜水群	平均偏差	1.0245	7.20	3.73	35.6	1.054	4.48	2.10
		0.0019	0.46	0.46	7.0	0.0015	1.15	0.88
ミネラル水群	平均偏差	1.0219	6.82	3.62	33.5	1.052	4.52	2.51
		0.0014	0.66	0.66	3.9	0.0027	1.08	1.31
水道水群	平均偏差	1.0220	6.96	3.52	32.5	1.057	4.16	2.38
		0.0019	0.70	0.48	5.2	0.0024	0.88	0.97

4. 実験結果

動物に発生した実験中の症状、成育量、摂食水量をはじめ全血比重、血色素、血球数、尿水素イオン値について報告し、蒸溜水の飲用は幼獣の発育を遅延し、消化器症状がみられた。

ミネラル添加蒸溜水群の発育は3群中もっとも良好であった。蒸溜水群では白血球の増加、赤血球数の減少、血色素の低下をきたし、尿PHではアルカリ傾向に推移し尿路への影響が推察された。またミネラル添加蒸溜水群の検査結果について総ての分析結果が蒸溜水群と水道水群との中間をみる検査値になっていたのは注目すべき点であった。

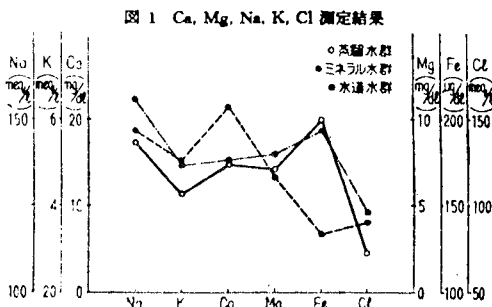
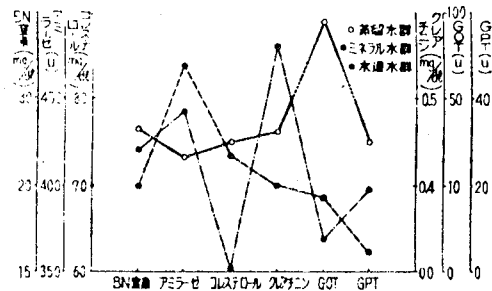


図2 窒素、アミラーゼ、クレアチニン、GOT、GPT測定結果



a. 血清比重・総蛋白・アルブミン (表1.)

血清比重は、蒸溜水群が1.025でもっとも高かったが、次に水道水群の1.022、最後にほとんど差がなく1.021でミネラル水群とな

っている。これを全血比重と対照してみると、水道水群がもっとも高い1.057であったのに対し、ミネラル水群ではもっとも少ない1.052で、蒸溜水群では1.054と中間の値であったがその産はきわめて小さい。

総蛋白では比重に準じた値を示し蒸溜水群では7.20 g/dlともっとも高いが、ミネラル水群、水道水群では6.82 g/dl、6.96 g/dlとその差が少ないが低い。

アルブミンでは総蛋白と同じ傾向で蒸溜水群は3.73 g/dlで高く、ミネラル水群では3.62 g/dl水道水群ではもっとも低い3.52 g/dlとなっている。

b. Ca・Mg・Na・K・Cl (図1)

Caは水道水群にもっとも高く22.1 mg/dlであったが、蒸溜水群15.1 mg/dlミネラル水群15.3 mg/dlと両者の差はほとんど認められず、ともに低く。

Mgはミネラル水群では8.03 mg/dlでもっとも高かったが、蒸溜水群が7.14 mg/dlとつぎ、水道水群では6.80 mg/dlと低い。

Naではミネラル水群は155.9 mEq/Lと高かったが蒸溜水群では144.1 mEq/L水道水群では146.1 mEq/LとMgの傾向と似ていてわずかの差で二群にはさまっている。

Kでは水道水群は5.23 mEq/Lでもっとも高かったが、ミネラル水群は4.98 mEq/Lで低く、蒸溜水群では4.29 mEq/Lと大きく低い。

Clではミネラル群が9.64 mEq/Lで3群中もっとも高い。これに次いだ値は水道水群の9.05 mEq/Lであったが、蒸溜水群では7.20 mEq/Lともっとも低い。

以上をまとめてみると、Ca・Mg・Na・K・Cl

のうち、蒸溜水群が他群に比しはつきりと差をもって低いものはCaとCl、Kであった。また蒸溜水群では他群に比し高いものはなかったが、キネラル水群ではNa、Cl、Mgが他群より高い。水道水群はCa、Kにおいてのみ他群より高いが、Na、Cl、Mgではミネラル水群に比して低い。Ca、K、Cl、Mgでミネラル水群は三群中の中間の値を示している。

c. アミラーゼS-GOT・GPT(図2)

アミラーゼは蒸溜水群が415uでもっとも低い、3者の中間はミネラル水群の443uであって、水道水群はもっとも高い469uであった。

S-GOT・S-GPTでは蒸溜水群ではS-GOTがとくに高く93.3u、S-GPTが33.4uであったが、水道水群ではS-GOT9.4u、S-GOT4.9uであり、ミネラル水群ではS-GOT4.3u、S-GPT19.1uとなっている。

表2. 添加ミネラル処方

添加ミネラル	(量P Pm)
(pH)	7.8
ナトリウムイオン(Ma+P Pm)	14.3
カルシウムイオン(K+P Pm)	2.2
カルシウム硬度(CaCO ₃ P Pm)	3.3
マグネシウム硬度(")	4
塩素イオン(Cl ⁻ PPm)	4.6
リン酸イオン(PO ₄ ³⁻ -PPm)	2.4

100PPm添加水として上記を配合した根拠は天然ミネラルウォーター水質をベースにしている

d. 総コレステロール

総コレステロールでは蒸溜水群、水道水群の差がなく、蒸溜水群75.0mg/dl水道水群は73.3mg/dlで、ミネラル水群のみ60.4mg/dlと低い変動は少なかった。

e. 尿素窒素・クレアチニン

尿素窒素では水道水群がもっとも低く20.1mg/dlで、もっとも多いのは26.2mg/dlの蒸溜水群であったが、その両者の中間の値は23.8mg/dlとミネラル水群が占めていた。

クレアチニンでは、もっとも少なかったのは0.40mg/dlと水道水群に認めたが、尿素窒素の値とは逆にミネラル水群が0.56mg/dlともっとも多い値になっており、それに次いで0.46mg/dlと蒸溜水群になっている。

f. Fe

蒸溜水群は三群中もっとも高く201.1μg/dlみられる。蒸溜水群に近接した値はミネラル水群で188.8μg/dlであったが、水道水群では大差をもって低下しており、その値は136.2μg/dlとなっている。

B 実験結果の考察

1. 考察

以上の生化学検査結果を総合検討して、蒸溜水のラットに対する影響を考察してみた。本実験結果についてややもすれば動物の飼育環境から来る動物影響や生化学検査手技を原因とする変化の誤認が指摘されるのであるが、その点に関して動物の飼育は正規の動物舎で、生化学検査においては可能な限り自動分析機を駆使して測定して誤認を防止した心算である。

蒸溜水の官能については既報の如くであるが、摂餌量に比較してみると、飲水量と摂餌食とは一致していない。飲水量のもっとも多かったのはミネラル水群であって実験の前・中期と多いが、後期になると蒸溜水群がわずかに多いがミネラル水群、水道水群では差がない。

飼料になると実験の全経過においてはほとんど変わらないが、前期は蒸溜水群に多くとられて

いて中・後期では変わらない。総体的にはミネラル水群がもっとも多く、次に蒸溜水群、水道水群はもっとも少なかった(表2)。これはミネラル水が官能上飲み易い事実を示しており、それに準じた飼料の増量であると考えてよい。また成育最盛期の前期に蒸溜水群の摂餌量が3群中もっとも多いことは注目すべきものである。また水道水群の飲水量と摂餌量が他2群に比し少なかったことも有意であった。

ミネラル水は飲みやすいことが考えられるが、この理由として添加ミネラルが100~200 mg/lと調整されているため硬度は30~50になっているからであり、実験中飲水量が成育期の前・中期では多く飲まれている。蒸溜水群は前期においてはミネラル水群に次いで飲まれているが中期からは低下しており、官能上の低下がみられる。飼料との対照はミネラル水群では飲水量に準じて摂餌量が増加しているが、蒸溜水群では前期では増加、中期には低下して、後期には恢復していることは、蒸溜水群では飲料水中の不足成分を飼料で補足している感がある。さらに蒸溜水の飲用は官能上での飽きが認められている。

実験に用いた蒸溜水は大型商船備付の蒸溜器を用いて外洋で造水したものを揚陸、その蒸溜水にCaCO₃MgSO₄を主成分として添加せしものを用意し、都市水道水を対照として既述のタンクに貯水した(表2)。

一般の水について考えると、水は常に循環を繰返している。水の循環系と各種の元素の循環系がそれぞれの法則に従って動いていて、水にとけている物質が沈澱したり、ガス体になって大気中に揮散したりして複雑な水質が構成されている。地球の表面に存在する元素名は酸素O、

ケイ素Si アルミニウムAl 鉄Fe カルシウムCa ナトリウムNa カリウムK、マグネシウムMg 水素H チタンTi であるがCa Na K Mg は水にとけやすい。これに対してSi, Al, Fe, Zn, Cu, As, Mo 等は陸起源といわれ、海洋起源元素に比較して不溶解性無機物になりやすい。循環について海洋起源といわれる元素、Na, K, Mg, Ca, Sr, Cl, I, F, Sは完全または半完全循環元素といい、これに対して陸起源といわれる元素は非循環元素とも呼ばれ、固着の性質をもっている。

以上は自然界における元素の循環状況であるが、人間の体内においても循環が進行しておりこれが生化学といわれている。飲料水のなかには生物体を構成している元素が微量ながら含有されており、これら元素は人間の生理代謝に重大な役目をしているといわれる。

ここでそれら痕跡元素といわれる生体を構成している元素を掲示して見ると、O, C, H, N, Ca, P, K, S, Na, Cl, Mg, Fe, Mn, Cu, I, Co, Zn, Si, である。

人体構成元素のうちで量的に多いものは大体において完全循環元素または半完全循環元素に相当しており、ケイ素、アルミニウム、鉄が多い。これらは非循環元素であって生体内では微量存在するか、または生体に必要が少ない。したがって、生物には循環元素または半循環元素と密接な関係をもっていて非循環元素は不必要と考えられている。水は以上のごときものを溶かしているが、蒸溜水では純水といわれ既述の溶解物はほとんどないことになる。

蒸溜水を飲料水として飲用した場合の生体に与える影響についての文献、報告例は非常にまれであり、また影響について明記されているも

のがないが、柳沢氏によれば、蒸溜水を連日飲料水として用いた場合、次の3項をあげてその

影響を述べている。

1. 重炭酸塩の不足により胸焼け症状や嘔吐感

表3. 実験タンク内から採取分析結果

分析項目	蒸溜水	ミネラル水	水道水
濁度 (度)	1.0 以上	1.7	1.0 以下
色度 (度)	5.0 以上	11.5	5.0 以下
pH 25°C		5.9	6.7
導電率 $\mu\text{W}/\text{cm}$	4.2	131	192
全硬度	2.0 以上	30.0	7.6
M アルカリ度	2.0 以上	3.0	4.0
塩素イオン	1.0 以上	36.0	1.8
硫酸イオン	1.0 以上	1.0 以下	2.8
リン酸イオン	1.0 以上	2.2	0.10 以下
シリカ	1.3 以上	1.0 以下	18.8
全鉄	0.1 以上	0.25	0.1 以下
銅	0.1 以上	0.1 以下	0.1 以下
重鉛	0.05 以上	0.14	0.05 以下
マンガン	0.1 以上	0.1 以下	0.1 以下
COD	1.6 以上	5.7	1.6 以下
アンモニア性窒素		検出せず	検出せず
亜硝酸性窒素		検出せず	検出せず
硝酸性窒素	0.01 以上	0.01	0.18
蒸発残留物	50 以上	12.7	
味	検出せず	異常なし	異常なし
臭気	検出せず	異常なし	異常なし
水温 (°C)	12	12	12
外気温 (°C)	8.7	7.8	8.7

が起こる。

2. 浸透圧差の関係でミネラル不足を起こし下痢症状が起こる。

3. 飲料水中のミネラル不足は健康管理上に支障がある。

以上のなかでも蒸溜水浸透圧差とミネラル不足の問題は蒸溜水飲用にあたり検討されるべき

問題であろう。また昭和51年に労研高木氏は蒸溜水の生体影響をラットにより実験し、長期飼育試験でラットの発育が低いことを指摘し、その原因のなかにはラットが蒸溜水を嫌うための摂餌量の減少が影響しているとしており、病理組織学的に細尿管内腔の蛋白様物質の貯溜停滞の量的な差を指摘している。高木氏はその報

告書のまとめの項では掲げていないが、ラット後趾蹠部のビランが蒸溜水群にのみ発生することを報告している。

本実験結果を見るに、検査結果中蒸溜水の影響と考えられるものに血清中酵素の変動が見られるが、なかでもアミラーゼに有意であった。これは胃では水をはじめ種々の物質はほとんど吸収されず、ただわずかにアルコールおよびそれに似たものが若干吸収されるのみであるが、大腸ではこれに反して水分の吸収は著しいが水に溶けた要素が吸収されることはきわめて少ないとされている。しかるに小腸からは水をはじめこれらに溶けている有機無機の要素はすべて吸収されるとしているが、蒸溜水の飲用は小腸起始部の粘膜細胞の滲透圧差から大量に侵入し pro-secretin が secretin に活性化されるのを低下するものであろう。

蒸溜水群の血清カリウム低下も目立った結果であるが、この原因について本実験飼料は既述のものであり、100g中にカリウム0.85gとなっているため、カリウムが極端に欠乏しているものではない。実験中に尿比重は常に低く屠殺日の比重においてミネラル水群1.062、水道水群1.060であったが、蒸溜水群では、1.059と低い。測定は部分尿で行ったものであるが、一応蒸溜水群の多尿が推測できる比重値であるので腎性のカリウム喪失は考えてよいと思う。本実験において採尿を行い尿中蛋白量、カルシウム量の定量を行ったが、結果に有意な定量値は認められなかったが、前述のごとく尿比重は実験全期間中、蒸溜水群は低下が認められ、多尿を推測し得る根拠になり、尿中カリウムの腎性喪失は確実である。高木氏の報告中に蒸溜水群の心臓が他群のそれに比し大きいこと

を報告しているが、この症状はカリウム欠乏から来ている拡大症状であると考ええる。

単純な細胞内K欠乏では細胞内水分がKに比例して失われるため細胞内濃度は正常値を保っており、脱水徴候以外にはほとんどこれといった症状はない。本実験において血清比重、総蛋白、アルブミン、ヘマトクリットが蒸溜水群に有意的に高いことは脱水徴候とみられるものである。本実験で蒸溜水群の尿pH値は中期、後期ともに他群に比し高く7.5~7.2を示していたが、これについても細胞内K濃度の低下とK, Na比の減少の結果生ずる細胞機能の減退によって水素イオンの細胞内移行が起こり、細胞内アチドーシスの傾向になるのに腎性代謝性アチドーシスの場合と同様に反応することになり、低K血性アルカローシスが起こったためであろう。

Mg, Na はほとんど三群とも有意差はみられない。これは逆に考えてみてもMg, Naは体液内で複雑な代謝の場をもっているため変動がないと考えているし、実験に用いた飼料についてもKはMg, Naと異なり生鮮食品に含有が多いだけに摂取吸収にあたって特異な環境をもっているものと考えられる。

飲料水中の無機物の含有物量が少なくなるほどH₂Oとして大量の水分が吸収されることになるのは滲透現象が蒸溜水は大であるといえる。しかし水と電解質は毛細管膜を通るが細胞膜は水のみを自由に通す。細胞膜内外の滲透圧平衡はすべての膜を通過する水の移動と毛細管膜を通る電解質の移動によって保持され、この移行する細胞外液の電解質は主としてNa, Clであるから、蒸溜水のみ飲料とした場合にも特に変動がなく、ただ細胞内に入る量は水道水群に比し多いとい

うこと、腎臓からの排せつ量についても正常な状態では水分の排せつを適当に行って細胞外液の量とその電解質濃度を一定に保つはずであるが、既述のK欠乏環境に陥って尿量の増加が起り、Cl, Mg, Ca も僅少な減少となっているものであろう。

腎機能については、高木氏報告書総まとめにおいて蒸溜水群と対照群との間に腎の細尿管内腔の蛋白様物質の貯溜停滞に量的な差が認められるとしているが、本実験結果においては蒸溜水群に血清窒素量の増加は見られたが、クレアチニンでは三群に有意な差は認められないことから、血清窒素の増加は蒸溜水群の血液濃縮を意味するもので、腎機能障害としての増加ではないことがわかる。

Kは細胞内の重要な陽イオンである代謝にあたって酵素のような働きになり、アルカリフォスファターゼが細胞内に高まり、血中濃度がたかまる。すなわちトランスアミラーゼは透過性がたかまって細胞内のものが遊出する。本実験においても蒸溜水群ではKが尿中に逃げており、さらにMg, Cl 欠乏が推測され、S-GTP, S-GTPに有意な増加が認められている原因になっているものであろう。

血清総コレステロールはS-GOT, S-GPT値から考えてある程度の群別差が考えられたが、結

果は明らかなものでなく群の差ではミネラル水群に低く、蒸溜水群と水道水群においては差が少なく、この変動についての意味づけは困難であった。Fe について実験中の鉄含有量は表に示す如くであったが、飲料水の含有量に関係なく蒸溜水群に多い値になっていことは鉄の吸収を促進する環境に蒸溜水が還元剤となっているものと考えられる上に、蒸溜水群の幽門部水素イオン値は他群に比し胃酸の存在を明らかに示している。

2. 実験結果のまとめ

本実験は清水入手が困難な海上生活者に飲料水として開発すべき常圧蒸溜水に関する人体影響の調査を目的としたものであるが、蒸溜水飲用ラットはミネラル添加群、水道水群との間で尿量増加を原因とするK減少、血清濃縮が認められ、アミラーゼの減少、トランスアミラーゼの増加、Fe の吸収増進が水道水群、ミネラル水群、蒸溜水群の順位で減少が見られる。文献では淡水飲用地方の循環器系疾病死の減少が知られるなかにはCa, Mg, のみでなく、他の trace element の含量も低いための影響が検討されており、その他酸素混合水が家畜の成長を促進するという報告がある ということは、蒸溜水飲用にあたってはもっとも有効なミネラル処方を検討しなければならない。

(51年度海水による蒸溜水の飲用清水化に関する開発研究の一部 — 久我昌男 —)