総 説

醸 造 用 水

今 安 聡*

The Brewing Water for Production of Sake

Satoshi IMAYASU*

* Ōkura Shuzo Research Institute, 300, Katahara-cho, Fushimi-ku, Kyoto 612

1. はじめに

世界的な視野で、我が国に住んでいる者は、良い水を豊富に得られることにまづ感謝しなければならない。降雨量も年間1800ミリで世界平均の2.5倍である。

ワインなども水のようなものだと言ヨーロッパの人は言う。これはヨーロッパでは半砂漠こそが自然であり、ブドウ畑は人工的であり、ワインは酒としてつくられたものでなく飲料水としてブドウから搾り取った果汁が自然に変化したものであったからである。しかし、ヨーロッパでは水があっても、ワインを飲むかも知れないと言う人もある。

ここで醸造全般について述べることは到底不可能であるので、清酒を一つの例としてとりあげる。

勿論、一般食品とも密接な関係にあると考えられる。

醸造用水と言う以上その原料となる水、たとえば仕込水だけを問題にするのではなく、少なくとも米を洗ったり、浸漬したりして製品の中へ入ってくるものを全て含めて考える必要がある。

また現在清酒では、原料の中の米は日本全国どこでも好むものを生のブドウと違って貯蔵が可能なので、輸送することによって得られるのに反してただ一つ水だけが風土性を示すのである。

即ち、微生物工業の製品でありながら、尚、且つ、芸術作品の途をも歩む清酒の重要な役割を水はもっていることになる。清酒用水の研究は、まだこれからである。

2. 醸造用水特に清酒用として使われる量

地球の表面付近で最も多く存在する物質は水であるが、空間的にも時間的にも、そのかたよりが大きい。地球上の水の総量は約13.8億km³とみられており、海が

13.5億km³で、98%までが海水であり、地球の表面積の70.8%をおおっている。

湖沼水の0.002億Km³、0.00025億Km³の土壌水、0.00013億Km³の水蒸気及び0.000012億Km³の河川水が続く。残りは氷雪0.24億Km³と地下水で占められている。氷雪の99.5%は、南極とグリーンランドにあるから最も身近に豊富にあるのは地下水(0.1億Km³)である。

世界で年間約2千億トンの工業用水が使われている。昭和53年の建設白書によれば、我が国における工業用水(200億トン)を含む水利用は875億トン/年であり、これが65年には1100億トンに増大する。従って南関東、京阪神、北九州、上越など発生すると予測している。

水についての量的資料は、各出所によって一致しないし、確実な数字を掴むことは困難である。三菱商事広報室(1978)の数字を用いると、図1に示す通りおおよその割合を掴むことができる。

昭和55年度の工業統計によると、全国で使用されている工業用水は、淡水で1日当り約1.4億トンであり、業種別は用水使用量の多い順に並べると、化学工業、鉄鋼業などから始まって6番目の食料品製造業と繊維工業とを加えた7業種が用水型産業と呼ばれており、全工業用水使用量の約90%を占めている(第1表)。

これらの食品用水のうちの清酒醸造に使われる量は、白米使用量の20~30倍と言われているが、洗米浸漬に用いる水は米重量の約5~10倍、仕込割水に使われる水、は約2~3倍、即ち総計7~13倍の良い水が必要なのである。

これを仮に10倍とすると、米の使用重量が約55万ト

* 大倉酒造株式会社 (〒612 京都市伏見区片原町300)

図1 日本の水のサイクル (三菱商事(株)広報室, 1978.9)

表1 工業用水(淡水)の使用量の多い業種

業種 (多い順)	使用水合計 m³/日	水源別 (上 m³/日, 下 %)		用途別 (上 m³/日, 下 %)						
		補給水	回収水	ボイラー用	原料水	製品処理 洗浄用水	冷却用水	温調用水	その他	
全製造業 合計	138 927 021	36 702 162	102 224 859	1 967 737	384 653	27 511 473	95 840 772	8 199 016	5 023 370	
			73.6	1.4	0.3	19.8	69.0	6.0	3.5	
26 化学工業	46 040 833	8 551 426	37 489 407	536 702	26 290	2 223 691	41 029 961	1 440 681	783 508	
			81.4	1.2	0.1	4.8	89.1	3.1	1.7	
31 鉄鋼業	35 530 288	3 931 386	31 598 902	103 955	300	3 000 053	30 576 471	412 587	1 436 922	
			88.9	0.3	0.0	8.4	86.1	1.2	4.0	
24 バルブ, 紙, 紙加工	16 134 854	9 505 118	6 629 736	325 889	—	13 059 246	1 838 620	308 301	602 798	
			41.4	2.0		81.0	11.4	1.9	3.7	
36 輸送用 機械器具	8 162 774	908 942	7 253 832	50 649	5	3 412 027	2 942 121	1 499 146	258 826	
			88.9	0.6	0.0	41.8	36.0	18.4	3.2	
27 石油製品 石炭製品	6 415 724	925 549	5 490 175	200 218	—	74 454	5 992 228	24 149	124 675	
			85.6	3.1		1.2	93.4	0.4	1.9	
18 食料品 19 製造業	6 098 590	3 789 743	2 308 847	227 697	278 018	1 869 734	2 981 980	385 203	355 958	
			37.9	3.7	4.6	30.7	48.9	6.3	5.8	
32 非鉄金属	5 348 127	1 333 069	4 015 058	57 484	—	921 037	3 961 586	214 586	193 434	
			75.1	1.1		17.2	74.1	4.0	3.6	
20 繊維工業	3 954 569	1 645 722	2 308 847	147 702	855	1 232 537	291 523	2 010 789	271 163	
			58.4	3.7	0.0	31.2	7.4	50.8	6.9	

(昭和55年 工業統計より抜粋)

ンであるので年間550万トン以上の水が使用されることになるのである。それ以外に1200万トン位の水が洗浄やボイラー用水として使用されている。

即ち、1年を300日とすると、1日当たり6万トンであり、食料品製造用の600万トン/日に比較すると清酒用は少く、冬季4月に集中すると言っても20万トンまで誠に微々たるものである。しかし、その質という点では極めて厳しい条件が付せられる。しかも主として地下

水に依存するのが特徴的である。工業統計の清酒製造業301社の平均では約65%である。ちなみに食料品製造業における井戸依存率は30%であり、また全製造業では8.5%である。

食料品製造業の中での細分類別の水使用量は表2に示す通りである。全製造業では回収率が73.6%であり、食品製造業でも37.9%であるのに清酒製造業における水の回収率は僅か1%にすぎない。

表3 工程別使用水量

製 造 工 程			用 水 量 (m ³ /日)
醸 造	洗 米		2 058
	浸 漬		419
	蒸 米		642
	圧 搾・ろ 過		523
	不 明		165
	小 計		3 306
製 品	調合・割水ろ過		220
	洗 ビ ン		7 573
	不 明		608
	小 計		8 401
タンク・機器類洗浄			1 261
床 洗 淨 等			1 261
補 給 水 計			14 729
*回 収 水			290
合 計			15 019

* 回収水の用途は床洗浄のみ
(橋本(造水促進センター); 酒研会報 No. 16)

図3 水質と酒質

は限らない。

我が国の河川の水が世界の平均に比較して異なるところは、全般的に蒸発残渣量が少ない。これは河川の流程が短いことに基く。またケイ酸の含量が他の成分に対して多いことも特徴であり、ナトリウム、塩素イオンの多いことは海に接近し、カルシウムの少ないことは石灰岩地帯の少ないことに基いている。ともあれ酒造用水としては、まず最低限、水道水の水質基準(表5)に適合した上で酒造用水として備えるべき条件を満たさなければならない(表6)。

特に鉄とマンガンが0.02 ppm 以下と極めて少ないの

表4 市販ミネラルウォーター

サンプル	pH	CO ₂ (ppm)	KMnO ₄ 消費量 (ppm)	PO ₄ ³⁻ (ppm)	Cl ⁻ (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	K (ppm)	Na (ppm)	Fe (ppm)	Li (ppm)	Mn (ppm)	Cd (ppm)	Pb, Al (ppm)	総 硬 度
ミネラル ウォーター A	8.0	8	2.2	0.13	57	4	23	5	75	0.01 以下	0.13	ND	ND	ND	7.1
" B	7.9	2	2.3	0.14	7	3	2	1	7	0.01 以下	0.001 以下	ND	ND	ND	1.5
" C	7.2	7	1.4	0.11	7	2	1	0.7	3	0.01 以下	ND	ND	0.001 以下	ND	1.1
" D	7.0	14	2.5	0.10	39	5	1	1	30	0.01 以下	ND	ND	ND	ND	2.3
" E	7.3	8	1.4	0.12	52	40	8	2	15	0.01 以下	ND	ND	ND	ND	8.2
" F	7.4	4	1.9	0.08	30	7	5	10	12	0.01 以下	ND	ND	ND	ND	3.3
" G	5.2	2 209	1.6	0.14	38	125	4	1	17	0.01 以下	0.001 以下	ND	ND	ND	16.5
" H	7.0	4	1.4	0.16	50	1	1	0.5	11	0.01 以下	ND	ND	ND	ND	1.0
井 戸 水 A	8.1	5	1.4	0.08	17	6	0.5	2	75	0.05	0.10	0.11	ND	ND	2.2
" B	6.3	57	1.4	0.09	39	6	8	4	23	0.01 以下	0.01	0.01	ND	ND	4.4
" C	6.3	57	1.4	0.09	45	6	8	4	23	0.01 以下	0.01	0.01	ND	ND	4.4
水 道 水	6.8	7	2.5	0.09	12	9	2	1	6	0.04	ND	ND	ND	ND	2.0

表 5 水道水の水質基準

昭和 54 年 4 月 1 日施行

法第 4 条第 1 項 1 号に掲げる要件 (微生物汚染—生物物質)	硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素	10 mg/l 以下であること。
	塩素イオン	200 mg/l 以下であること。
	有機物等 (過マンガン酸カリウム消費量)	10 ml 以下であること。
	一般細菌	1 ml の検水で形成される集落数が 100 以下であること。
法第 4 条第 1 項 2 号に掲げる要件 (有毒物質)	大腸菌群	検出されないこと。
	シアンイオン	検出されないこと。
	水銀	検出されないこと。
	有機リン	検出されないこと。
法第 4 条第 1 項 3 号に掲げる要件 (重金属その他の許容量)	銅	1.0 mg/l 以下であること。
	鉄	0.3 mg/l 以下であること。
	マンガン	0.3 mg/l 以下であること。
	亜鉛	1.0 mg/l 以下であること。
	鉛	0.1 mg/l 以下であること。
	六価クロム	0.05 mg/l 以下であること。
	カドミウム	0.01 mg/l 以下であること。
	ヒ素	0.05 mg/l 以下であること。
	フッ素	0.8 mg/l 以下であること。
	カルシウム・マグネシウム等(硬度)	300 mg/l 以下であること。
	蒸発残留物	500 mg/l 以下であること。
	フェノール類	フェノールとして 0.005 mg/l 以下であること。
	陰イオン界面活性剤	0.5 mg/l 以下であること。
法第 4 条第 1 項第 4 号に掲げる要件 (酸性・アルカリ性)	pH 値	5.8 以上 8.6 以下であること。
法第 4 条第 1 項第 5 号に掲げる要件	臭気	異常でないこと。
	味	異常でないこと。
法第 4 条第 1 項第 6 号に掲げる要件 (外観)	色度	5 度以下であること。
	濁度	2 度以下であること。

シアンイオン、水銀および有機リンについての「検出されないこと」とは、別に定める方法により測定した場合において、その結果が当該方法の定量限界を下回ることをいう。(厚生省令第 56 号)

表 6 酒造用水として備えるべき条件

色 沢	無色透明
臭・味	異常のないこと
pH	中性または微アルカリ性
鉄	0.02 ppm 以下
マンガン	0.02 ppm 以下
有機物 (過マンガン酸カリウム消費量)	5 ppm 以下
亜硝酸性窒素	不検出
アンモニア性窒素	不検出
細菌酸度	2 ml 以下
生酸性菌群	不検出
大腸菌群	不検出

(清酒製造技術・日本醸造協会)

が特徴である。

用水中の金属を除くのは比較的容易であるが、米中の好ましくない金属を除去することは極めて困難である。実際の仕込では、醸造用水に原料米からの無機塩が加わるので、用水中のそれ等の好ましくない成分はできるだけ除いておく必要がある。

4. 酒造用水中及び清酒中の無機塩

一般に醸造用水中にある金属の酵母に対する必須量を表 7 に示す。

しかしながら、水中の無機塩量は比較的少なく原料米から溶出する無機塩に依存する場合の方が多いのである(表 8)。従って逆に原料米処理中の浸漬水への無機塩の移行は極めて重要である。

表7 酵母と金属 (ppm)

	必須量*	乾燥菌体中**
Na	—	20~1 400
K	40~160	1 100~4 200
Ca	—	60~70
Mg	5~10	240~980
Fe	0.05~0.075	17~114
Mn	0.01	4~11
Zn	0.07~0.20	50
Cu	0.01~0.015	30~105
Mo	0.01	0.04~2.7
Al	—	1~100
Ba	—	200
Cr	—	10
Co	—	5
Pb	—	2~100
Ni	—	3~4
Sn	—	3~10
V	—	0.04~0.07
SiO ₂	—	0~32
Cl	—	3~20
PO ₄	20~45	3 160~8 300
Pi	6.5~14.7	(1 060~2 710)
SO ₄	必須	48~1 400
(S)	—	16~480
B	0.1	200

* 藤谷：醸協，62，104 (1967)，OLSON and JOHNSON：J. Bact，57，235 (1949)

** The Chemistry and Biology of yeast: p. 157 (1958) Ed. by A. H. Cook

原料処理工程は容器などから好ましくない成分が清酒中に移行する場合があります，特に注意する必要があります。

5. 酒中の金属が酒質に及ぼす影響

(1) 好ましくない無機成分

鉄：麴菌の生産するデフェリフェリクローム類と鉄が結合してフェリクローム類を生成して異常着色を起こす。米中の方が水に比べて多いが，米中では結合型が存在し酵素作用で分解されない限り粕に移行する。清酒は米からと水からとの移行分を合計して，0.18 ppm 程度で急速に着色する。その水準以下にすることが酒質管理の大事なポイントである。

マンガン：次のような反応で着色物質となるが，その日光着色の触媒としての作用をする。

銅：器具などから溶出して異常に多くなれば着色し混濁の原因ともなる。

亜鉛：清酒中では主として米から移行してアミノ酸の生成と相関があるので含量の多い酒は貯蔵中の着色に注意を要する。

(2) 醸造に有効な無機成分

カリウム：酵母の必要量の156 ppmの大部分は米に由来するが，米中には遊離の形で存在しているので浸漬中に流出し易く，カリウムが少いと酵母の増殖，醗酵力も低下し香気成分も低下するなど注意しなければならない。

マグネシウム：清酒酵母の増殖に9.6 ppm 醗酵には4.8 ppm が必要であるが，必要量は米中より得られる。

リン酸：酒造に必要な量は，米中のリン酸が使用される。しかし，米中では有機態のリンの形であるので麴菌の酸性フォスファターゼなどにより無機リンとして利用される。従って酵母の増殖に必要な31 ppm，醗酵に必要な15 ppmが醗の初期には不足であるとされている。

カルシウム：麴や酵素の生産，溶出や作用を促進するのに必要である。

クロール：麴の糖化酵素の溶出に必要であると共に清酒のテリを良くし，風味を濃醇にさせる。

図4 破碎状仕込における醗酵に及ぼす攪拌の影響

○：対照

●：攪拌

(大倉酒造研究所・1982)

表 8 水，米，清酒中の無機塩量

(ppm)

	用 水	宮水 11 点	75% 白 米	清 酒
Na	3.60 ~200.1	32.13	6.0~ 20.9	6.9 ~240.0
K	0.10 ~ 58.0	19.69	290.0~662.0	11.3 ~120.0
Ca	0.40 ~131.4	37.16	18.0~ 75.0	12.3 ~153.0
Mg	0.20 ~ 33.04	5.61	40.0~145.0	5.0 ~ 34.3
Fe	0 ~ 2.19	0.002	0.7~ 3.9	0.02 ~ 0.67
Mn	0 ~ 2.30	0.041	4.2~ 10.5	0.11 ~ 2.60
Zn	0.008~ 3.77		6.7~ 16.5	0.05 ~ 2.76
Cu	0.001~ 0.29		0.6~ 4.0	0.02 ~ 1.20
Al	0.13 ~ 0.62			Pb 0.04 ~ 0.44 Cd 0.001~ 0.01
pH	5.32 ~ 9.08	6.98		
有 機 物	0.30 ~ 16.6	5.07		
蒸発残留物	50.0 ~524.0	301.4		
HCO ₃	1.64 ~158.0	64.3		
SO ₄	1.4 ~ 29.0			
SO ₃	3 ~ 68.6	24.3		
Cl	5.5 ~160.8	31.77		
PO ₄	0 ~ 65.4	6.97	136.1~183.9	134.8 ~622.1
SiO ₂	4.1 ~ 78.0	24.6		6.75 ~ 49.1
NH ₄	0 ~ 0.20	0.0056		
NO ₃	0 ~ 19.1	3.57		

(清酒製造技術・日本醸造協会)

イオウ化合物：酵母によって無機態から有機態に変わり、タンパク質などに組込まれる必須の成分である。また水中の酸素なども重要な成分であることは論をまたない。その極端な例は図4のように、破碎状仕込において明白である。

6. 酒造用水の調整

醸造用水として希望する水が得られなかった場合は、有効成分を補うか、何らかの処理によって好ましくない成分を除去し、水質を矯正する必要がある。加工無機塩によって、カリウム、リン酸、マグネシウム、カルシウム、クロールは増加させることができる。

水の処理方法としては表9に示すように醸造用水の処理の方法が対象物に合わせてそれぞれ用いられている。

この中で、特に重要である鉄の除去についての一例をあげる。用水中の鉄の形態(表10)を、まづ把握して、それに応じた除鉄法を使用しなければならない。その鉄の形態把握の簡便法として表11が提出されており、その結果から処理方法を選ぶことができる。伏見の水は鉄が極めて少なく低温でも醗酵するというあまりにも恵まれ

ているため、水の研究よりもその質と量を保全しようとするにどちらかと言えば重点がおかれている。

7. 水質及び水量の保全

このような地下水を主とする酒造用に適した水を確保しても、現在のような高層建築物の増大や下水道の新設など冷房その他業種の用水型産業が酒造場近くに出来ると、その水質及び水量の保全が困難となる。

伏見においても例外ではなく、古く豊臣秀吉の伏見城を築いたその井戸の中にひときわ味のよい水、即ち伏見の金名水、銀名水があって茶会に必ず用いたと言われている水と水脈を同じくする水が東山より地下水となって西へ流れ、伏見の酒造用の水となっている。

更に深いところは北から南へ流れてきて、伏見で合流して西南へと移動する。これらの水の環境に影響を与える諸問題が最近多くなって来ている。

そのため伏見では、伏見醸友会の地下水保存委員会及び地下水研究委員会が、昭和3年の松原 厚博士の陸軍省の方針を変えさせた調査、更には川端博士の昭和35年の研究調査以来連綿と環境に影響を与える恐れのある

表9 酒造用水の浄化方法

浄水方法		対象
殺菌	紫外線照射	微生物
酸化・殺菌	塩素処理	微生物, 鉄, マンガン
酸化	気曝	鉄, マンガン, ガス
	接触酸化	鉄
濾過・吸着	砂濾過	鉄, 微生物, 夾雑物
	石灰石濾過	鉄
	活性炭・造粒炭濾過	臭気, 鉄, 有機物, アンモニア, CI臭など
	マンガンゼオライト濾過	マンガン
	ウォーターライト濾過	鉄, アンモニア, 有機物
	ゼオライト濾過	硬度成分
	素焼濾過, 金属性濾過筒濾過およびこれに類するもの	微生物, 夾雑物
	メンブラン・フィルター濾過	微生物, 夾雑物
	セライト濾過	微生物, 夾雑物
	フィルタープレス, 綿濾過機濾過	夾雑物
イオン交換	イオン交換樹脂処理	無機成分
凝集	PAC, AS	鉄, マンガン, ケイ酸, 有機物他
	電解法	鉄, マンガン, ケイ酸, 有機物他
鉄バクテリア	鉄バクテリア	鉄, マンガン

(清酒製造技術・日本醸造協会)

表10 醸造用水中の鉄の形態

イオン状及び分子状	第1鉄イオン, 第2鉄イオン, 鉄錯化合物
微粒子状鉄	腐植質と結合した鉄 水酸化鉄で代表されるもの 珪酸塩で代表されるもの
吸着状態, その他	

(清酒製造技術・日本醸造協会)

構築物, 特に高層建築物の建設計画の情報を事前にて得て, 施主及び施工業者に, 場合によっては建設方法の変更も要望したり, その工事によって最も影響を受けるであろう井戸を調査対象をして工事開始より終了までの長期チェックを実施している。

そのためには, 伏見地区の等水位曲線及び各酒造用井戸の位置から地下水の流動方向を知り, 調査井戸を決定する資料としている。

8. おわりに

我が国は, たしかに世界的にみて降雨量に恵まれており, 水は石油にも匹敵する資源の一つと考えられるが, 人口密度が約10倍と多いために, 人口1人当りでは世界の平均の1/4の降水量となり, しかも都市への人口集

表11 醸造用水の形態把握の簡便法

採水 (鉄含量値A)
←有効塩素として
5~10 ppm 加える
30分間放置
孔径 0.45 μ のフィルターで濾過
濾液 (鉄含量値B)

	鉄含量値 ppm	鉄の形態	処理方法
1	$B \leq 0.01$	無機態の鉄	酸化後濾過
2	$A \approx B$	有機態の鉄	凝集沈殿濾過
3	$0.01 \leq B \leq A$	無機態・有機態の混合	酸化並びに凝集沈殿後濾過

(吉田・難波: 醸協 67, 888 (1972))

中が激化して必ずしも水に恵まれていると言う訳にはいかない。

しかしながら, 本来の水の質の良さと水保全のための緑化などの施策も精力的に実施されており, 更に水の再利用が急速に進んできており世界の中で恵まれた地域,

表 12 炭素繊維による水中のトリハロメタンの除去

	トリハロメタン (ppb)					COD-マン ガン (ppm)	塩 素 (ppm)	鉄 (ppm)
	クロロホル ム	プロモジク ロメタン	ジクロロク ロメタン	プロモホル ム	総トリイロ メタン			
ブランク	8.5	5.2	1.5	N. D.	15.2	3.53	0.15	0.4
試 料	tr.	N. D.	N. D.	N. D.	tr.	0.71	N. D.	0.04

N. D.: 検出せず, tr.: こん跡, 0.5 ppb 以下

(大倉酒造研究所・1982)

図 5 乳酸菌におよぼす凍結時間の影響

- △-△- *L. heterohiochi* IFO 13118
- *L. heterohiochi* IFO 13119
- *L. homohiochi* IFO 13120
- ①-①- *L. homohiochi* IFO 13121

(大倉酒造研究所・1982)

今後とも希望のある状態の地域と言える。水の完全利用をすれば約 4000 億トンあることになる。

我が国の伝統産業である清酒製造を永続してつづけようとする場合、どうしても節水型の醸造業にする必要があると考えられる。

また、一般食品製造や醸造においては、微生物が関与するが、水と生命との関係において水は特殊な物質であ

ることを認識しなければならない。

例えば、水はほとんどの物質をとかす性質のあることや、特定の温度で極端に性質が変り生物に決定的な影響を与えることなど食品を扱う場合、今後更に研究する必要があると考えられる。生酒における有害乳酸菌の冷凍殺菌などの例もある(図 5)。

また、トリハロメタンの除去の一例(表 12)で判るように、酒造用水に対する質の要求が厳重であるために、その水質の改良のための種々の試みは、他の食品産業においても今後充分応用可能であろう。

参 考 文 献

- 麻井宇介：比較ワイン文化考，中公新書。
- 世界大百科辞典：14，平凡社。
- 三菱商事株式会社広報室：(1978)。
- 工業統計表：(1980)。
- 橋本尙人：(造水促進センター)，酒造会報 No. 16 (1981)。
- 清酒製造技術：日本醸造協会 (1979)。
- 難波廉之祐：酒類講習，66 (1980)。
- 吉田・難波：醸協，67，888 (1972)。
- 泉谷・中村：醸協，69，865 (1974)。
- 伏見醸友会 地下水保存委員会：伏見醸友会誌，第 7 号 (1966)。
- 伏見醸友会：伏見酒，(1) (1980)。

(昭和 58 年 4 月 16 日受理)