

講座

# 軟水による米麴からの無機成分の溶出と清酒酵母の発酵能に与える影響および軟水醸造法における意義

佐々木 慧<sup>1\*</sup>・古谷 大輔・竹野 健次<sup>1</sup>・佐々木 健<sup>1</sup>

<sup>1</sup>広島国際学院大学工学部食農バイオ・リサイクル学科

(2016年10月11日受付 2017年3月16日受理)

## Dissolution of inorganic salts from rice *Koji* using soft water and the fermentation potential for *Sake* yeast, and the significance for *Nansui-Jyozouho*, a *Sake* brew method by soft water

軟水醸造法の要点の解明を念頭に置き、純水、軟水（硬度、12.0 mg/L）、軟水傾向の中等度の軟水（64.1 mg/L）、およびやや硬度の高い中等度の軟水（106 mg/L）による麴からの無機成分の溶出について検討した。麴は総ハゼ麴と突きハゼ麴を用いた。いずれの水、いずれの麴を用いても、Na、K、Ca、Mgは1-2日後の溶出液中に多量に溶出し、日本酒発酵に必要とされるK、15 mg/L、Mg、5 mg/Lを、1日溶出で約2倍より上回った。Caの溶出は突きハゼ麴を用いた場合は、いずれの水を用いた場合でも抑制された。2日後の溶出液での協会7号酵母の増殖は、いずれの水や麴を用いた場合でも、2日でOD<sub>660</sub>が最大6付近まで達し、麴溶出液は高い清酒酵母増殖ポテンシャルを示した。この時のエタノール生成能についても、総ハゼ麴ではいずれの水を用いても3日で4%以上と高いエタノール生成ポテンシャルを示した。しかし、突きハゼ麴の場合約2%と低いエタノール生成ポテンシャルを示した。このように、仕込み後1-2日以内の大量の無機成分の溶出と、高い清酒酵母の増殖能が認められたことは、軟水であっても麴から無機成分が供給されることで、酏やもろみ初期の清酒酵母の増殖が支えられることを示している。このことから、麴から軟水への無機成分の供給が、軟水醸造法における健全な酏やもろみの育成に寄与していると考えられる。

[キーワード：麴、無機成分、清酒酵母増殖能、エタノール生成能、軟水醸造法]

### 緒 論

日本酒醸造に水質が深く関わっていることはよく知られている。兵庫、灘の宮水は芳醇で良質な酒を醸造できる酒造用名水として、江戸時代（天保年間、1840年頃）より認識されており、十分な発酵を支えて、腐造しにくい「強い水」であるといわれている<sup>1)</sup>。また、宮水以外でも全国の酒造地帯で、それぞれ「強い水」という井戸や湧水が存在している。第2次世界大戦前より、水の無機成分が酒造に重要ということ、また「強い水」には無機成分が多いことなどは分かっていたが、大戦後、

分析技術の進歩もあり、「強い水」の化学的な成分分析が1950-1960年代に活発に行われた。

清水と鼓は酵母の増殖と発酵には水の硬度が重要で、13度ドイツ硬度（234 mg/L）から2.5度（44.5 mg/L）が必要であるが、できれば最低3度（53.4 mg/L）以上が好ましいと報告した<sup>2)</sup>。

嘉納は、全国、主に西日本のいわゆる名醸造地の54の用水の無機成分を分析した。現代の水道の水質分析とほぼ変わらない17項目の成分分析が先駆的に実施されている。そして、灘、伏見、広島は無機成分水質は酷似しており、カリウム（K）が多いこと、また宮水はリン

\*連絡先 E-mail: j.sasaki@hkg.ac.jp

(P) 含量が極端に高い水であることを明らかにした<sup>3)</sup>。

一方、山田らは全国29か所の醸造用水を分析し、「強い水」はPやKに関係がなく、硬度（カルシウム, Caとマグネシウム, Mg）が高く、塩化物イオン（Cl<sup>-</sup>）の量が多いことが重要と報告している<sup>4)</sup>。

吉沢は、「強い水」には、Cl<sup>-</sup>, P, 蒸発残渣が多く、さらに、優良醸造家の井戸水にはSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>が多いことも報告している<sup>5)</sup>。

若林らは、酵母の増殖を指標としたバイオアッセイで、醸造用水には、PとMgは5 mg/L以上、Kが25 mg/L以上が必要と結論している<sup>6)</sup>。

さらに嘉納は、第一報<sup>3)</sup>の54か所に加え、全国、主に東北地方の22か所の名醸造地の分析を行った。その結果、Pが多いのは宮水に特異的であり、その他ではPは少なく、Kが20 mg/L近く、Caもまた20–40 mg/Lで多かった。結局、日本酒醸造への水の良否は、K, Na, Ca, Mg, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>が重要と結論し、Pは必要だが米の溶解により充分供給されるとした<sup>7)</sup>。

善光はいわゆる地域の「強い水」、自社醸造用水、一般湧水、久留米水道水による試験醸造を行い、「強い水」は酵母の発酵（二酸化炭素発生）を強く促進し、二酸化炭素ガス発生とアルコール生成は相関しており、無機成分の多い順に「強い水」、自社醸造用水、一般湧水、久留米水道水と発酵が行われたことを報告した<sup>8,9)</sup>。

市川らは、完全合成培地による、無機塩類の酵母の増殖、発酵への影響を検討し、K, Mg, Pはなくてはならない成分であり、NaはKの代替をすることを報告した。さらに、CaはMgが共存することで、発酵を促進することを見いだした<sup>10,11)</sup>。

また嘉納は、速醸醗、生醗（山麴醗）仕込み後に、液状部のP, Mg, Ca, Naが2–3割減少するが充分量保たれ、Kは6–7割と大きく減少し不足気味であることを明らかにした<sup>12,13)</sup>。

1970年代では、難波らは、オクタダイアグラムという新規の水ミネラル成分分類法で、試験醸造による発酵との関係を検討したが、明確な水分類との関係性は見いだせなかった<sup>14)</sup>。

このように、1950–1960年代には、日本酒醸造用水と発酵との化学的関係が多く研究されており、さまざまな知見が報告されている。1970年代以降は醸造用水に関する研究はあまりなく、新規なものはないようであるが、総合的にはK, Mg, Ca, Naなどの無機成分が発酵には重要と認識されているようである。

一方、広島は名醸地の一つとしても知られているが、西条、三原、竹原以外の醸造用水のほとんどが硬度3度（53.4 mg/L）以下の軟水である<sup>15)</sup>。本来は発酵に適し

た水ではなかったが、明治27（1894）年頃までに安芸津の三浦仙三郎が開発した軟水醸造法により、軟水でも腐造せず良い酒が醸造できるようになった。この技術が広島で普及することで、明治末期には名醸地として評価を得ている<sup>16)</sup>。

さらに、最近、日本酒が世界中で見直されてきているが、多くは米を50–60%精米した、いわゆる淡麗な吟醸酒、大吟醸酒であり、従来の芳醇な普通酒とは異なった日本酒が人気である。この吟醸酒醸造には、硬水や中等度の硬水のようないわゆる「強い水」でなく、軟水での長期低温発酵の軟水醸造法が適しているといわれ、軟水の方が淡麗で香りのよい吟醸酒が醸造されやすいといわれている<sup>16)</sup>。しかしながら、この軟水醸造法について科学的な解明はほとんど行われていない。

筆者らは軟水醸造の化学的解明を念頭に、軟水の発酵に及ぼす影響を感度の良いバイオセンサーを試作して検討し、Ca, Mgが発酵に重要であることを明らかにした<sup>15)</sup>。一方、筆者らのうち一人は灘と広島の双方で、酒造現場で醸造を経験してきたが、工程のうち特に麴の品質について、軟水と硬水の醸造現場で差異がある傾向を観察した。すなわち、灘の硬度の高い水での醸造場は、麴が比較的若い突きハゼの麴の例が多く、一方、広島などの軟水の醸造場では、麴菌糸が米表面をすべて覆う総ハゼ麴である傾向があることを観察した。これまでの研究では、合成培地を用いた醸造試験や原料となる米、麴、水を変化させた試験醸造によって、無機成分が発酵に与える影響について検討されてきた。しかし、麴から溶出された無機成分の発酵への効果に着目した研究例はない。

本報告では、軟水醸造法における麴の無機成分の役割を明らかにする目的で、ハゼ具合の異なる2種類の麴（総ハゼ、突きハゼ）とさまざまな硬度の水を用いて、麴からの無機成分（発酵に必要なK, Na, Ca, Mg）の溶出と、その溶出液が清酒酵母の発酵能力に与える影響について検討を行った。

## 実験方法

**供試菌体** 協会7号酵母を用いた。

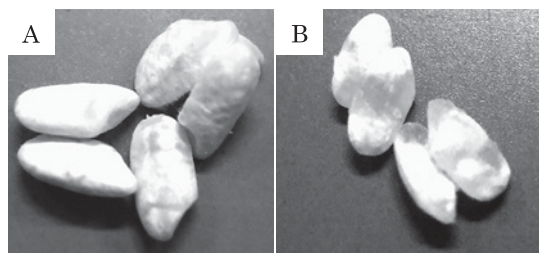
**供試用水** 純水（電気伝導度、0.1 μS/cm以下）、龍王名水（西条、龍王山中腹の湧水）、A酒造用水（西条、軟水気味の中硬度水）、B酒造用水（西条、典型的な中等度の軟水、中硬度水と広島では慣例的にいう）の4種類を用いた。各用水の無機成分分析値をTable 1に示す。

**麴用の米** 現在、普通酒の酒造に用いられる米の精米歩合は70–75%だが、軟水醸造法が開発された明治20年代は、「1割5分米」（約85%精米）の使用が一般的であった<sup>16)</sup>。そこで本研究では精米符合89%の新潟産

Table 1. Inorganic salt composition of used water

	Deionized water	Ryuo meisui	A brewer's water	B brewer's water
Na	0.00	7.58	22.90	24.00
K	0.00	0.88	3.53	5.23
Ca	0.00	4.00	20.80	34.40
Mg	0.00	0.49	2.72	4.86
Hardness	0.00	12.00	64.10	106.00

Unit: mg/L

Fig. 1. A: *Souhaze Koji*; rice surface was covered almost 100% with rice *Koji* mold. B: *Tukihaze Koji*; rice surface was covered about 50% with rice *Koji* mold.

コシヒカリを使用した。

**使用麹** 米を純水で洗米（4-5回）し、純水で3時間浸漬した後、家庭用蒸し器で1時間蒸煮した。30°Cの恒温室内で、麹フタ上で約35°Cになるまで放冷後、ヒゲチモヤシ（普通酒用）を適量散布し、床もみを行い、よく混合した。その後、切り替えし、仲仕事、仕舞仕事を行い、約2日で出麹とした。

**総ハゼ麹と突きハゼ麹** 総ハゼ麹と突きハゼ麹を分けて造ることは容易ではない。そこで、Fig. 1にあるように、米全体に菌糸が覆い、表面から菌糸の食い込みがあるものを総ハゼ麹、米の半分程度に菌糸が覆い、表面からの菌糸の食い込みがあるものを選び、それらを突きハゼ麹とし、手作業で分別して用いた。米の中に食い込みがなく表面のみ菌糸が繁殖している塗りハゼ麹は可能な限り除いた。

**酵母の培養** 協会7号酵母の保存や拡大培養は、PYG培地（D-glucose, 20; peptone, 10, yeast extract, 5 (g/L)）を用いて、前報<sup>15)</sup>どおり静置培養で行った。麹溶出液での酵母の増殖能、アルコール発酵能の検討の際には、市川ら<sup>10)</sup>の合成培地のA成分とB成分からなる、改変D成分液を調製して用いた。これら市川らの培地、および改変D成分液の組成をTable 2とTable 3に示す。

前培養は有機物の影響を除くためにA, B, C成分からなる殺菌完全合成培地<sup>10)</sup>を用い、300 mL容三角フラ

Table 2. Synthetic medium composition (Ichikawa *et al.*<sup>10)</sup>)

A component	Glucose	20 (g/L)
	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2
	MnSO <sub>4</sub>	0.011
	CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O	2 × 10 <sup>-5</sup>
	FeCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	3 × 10 <sup>-4</sup>
B component	Tiamine-HCl	200 (μg/L)
	Pyridoxine-HCl	200
	Niacine	200
	Ca-panthotenate	200
	Inositol	1,000
	Biotin	2
C component	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	100 (mg/L)
	MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	10
	CaCl <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	50
	NaCl	100

Table 3. Composition of modified D solution

Glucose	100 (g/L)	Tiamine-HCl	400 (μg/L)
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2	Pyridoxine-HCl	400
MnSO <sub>4</sub>	0.011	Niacine	400
CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O	2 × 10 <sup>-5</sup>	Ca-panthotenate	400
FeCl <sub>2</sub> ·5H <sub>2</sub> O	3 × 10 <sup>-4</sup>	Inositol	2,000
		Biotin	4

スコ（培地200 mL）に、PYG培地で培養した拡大培養液1%（v/v）を添加して、30°C、3日間静置培養で行った。

**麹からの無機成分の溶出** 麹を総ハゼ麹と突きハゼ麹に分けた後、それぞれ500 mLビーカーに、純水、龍王名水、A酒造用水、B酒造用水を300 mL加え、麹をそれぞれ、60 g、84 g、180 g入れ、ゆっくり均一になるよう攪拌した。20°Cのインキュベーター内で1日おきにゆっくり攪拌しつつ、4日間浸漬した。その後、20°C条件下で、東洋ろ紙No. 2を用いて繰り返しろ過を行い、完全透明のろ液を得て、麹溶出液とした。麹と水との混合比は、広島県の酒造において一般的に用いられている比（84 g麹/300 mL水）を基準として設定した。

**麹抽出液の酵母の増殖能とアルコール生成能の検討** 2日間溶出で得られた麹溶出液150 mLに、改変D成分溶液50 mLを混合して殺菌後（オートクレーブ、121°C、0.1 MPa、20分）、完全合成培地での前培養液



5 mLを無菌的に添加した。そして、均一になるようにゆっくり攪拌して、30°C、6日間、静置培養した。1日おきにゆっくり攪拌した培養液を採取し、酵母の増殖をOD<sub>660</sub>で測定した。また、遠心分離(10,000 × g, 20分)を行った後、上澄みを採取し、エタノール濃度(%)をそれぞれ測定した。

**分析方法** 無機成分の分析は原子吸光分析装置(島津, AA-6200)を用いて、マニュアルの定法に従い測定した。酵母の増殖(OD<sub>660</sub>)は分光光度計(島津, UV-1700)を用いて測定した。エタノールの分析はアルコールバイオセンサー(王子計測機器, BF-410)を用いて、マニュアルの定法に従い測定した。

### 結果および考察

#### 総ハゼ麴と突きハゼ麴からの無機成分の溶出

まず、Fig. 2に、純水を用いた総ハゼ麴と突きハゼ麴からの無機成分の溶出の経時変化を示す。溶出の1-2日目で多量の無機成分が麴から溶出していることが分かった。溶出するNa, K, Mgは、総ハゼ麴の場合と突きハゼ麴の場合で、さほど差異は見られなかった。しかし、Caは突きハゼ麴からはあまり溶出されず、低い麴の歩合では、Caの溶出は抑制される傾向が認められた。

次に、典型的軟水である龍王名水での無機成分溶出の結果をFig. 3に示す。図中の太線は龍王名水の元々のミネラル含量を示す。図から分かるように麴からの無機成分の溶出は総ハゼ麴、突きハゼ麴を用いた両方の場合で、純水の時とほぼ同様であった。Caの溶出は突きハゼ麴の場合には抑えられ、さらに低い麴の歩合では1-3日後Caが原水より減少していた。

このCaの減少傾向は、Caが蒸米に吸着することが原因であることが他の実験で明らかにされている(データは示していない)。すなわち、突きハゼ麴では、麴菌の繁殖していない蒸米部分が露出しており、ここにCaが吸着され減少するものと推定される。

特に注目すべきは、純水でも軟水でも麴からの速やかな無機成分の溶出が観察されたことである。嘉納によると、醗やもろみの仕込み初期に無機塩は急激に減少し不足気味になっていること、また、米の溶解に従って無機成分が米からゆっくり供給されることを観察している<sup>12,13)</sup>。すなわち、醗やもろみの仕込み後すぐに無機成分が麴から供給されることは、初期の発酵を支えるために重要であると考えられる。

さらに、軟水に近い中等度の軟水の場合であるA酒造用水による麴からの無機成分の溶出の結果をFig. 4に示す。Naは元々の井戸水以上には溶出されなかった。Kは純水や龍王名水と同様に溶出された。またCaとMg

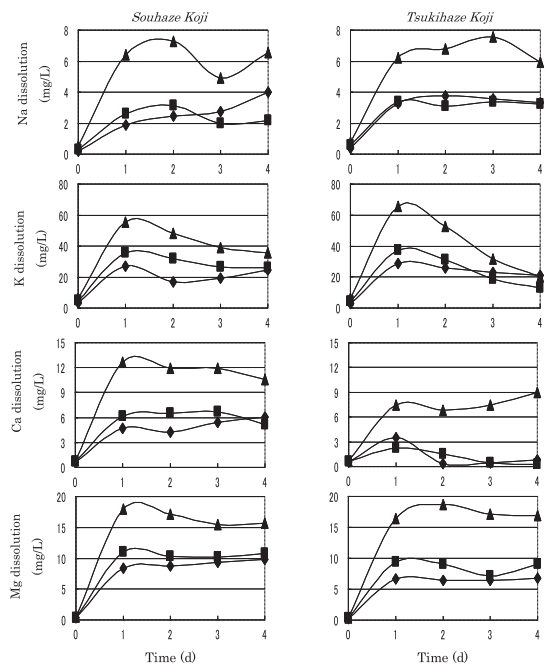


Fig. 2. Na, K, Ca and Mg dissolution from rice *Koji* by deionized water soaking. ◆: 60 g rice *Koji*/300 ml water, ■: 84 g rice *Koji*/300 ml water, ▲: 180 g rice *Koji*/300 ml water.

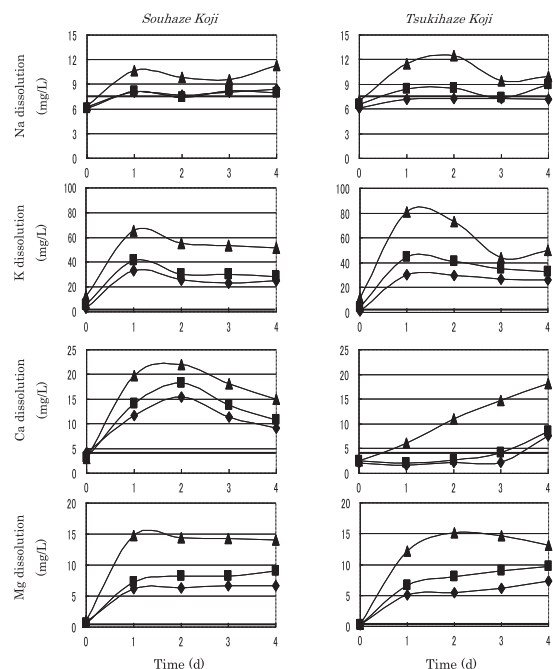


Fig. 3. Na, K, Ca and Mg dissolution from rice *Koji* by soft water (*Ryuo-Meisu*) soaking. Symbols are the same as in Fig. 2. The bold lines indicate original inorganic salt concentration in *Ryuo-Meisu*.

は純水、龍王名水の軟水と同じ溶出傾向を示したが、Caについてはやはり蒸米に吸着されるようで、浸漬初期の2日間は減少した。

最後に、西条地区での典型的中等度の軟水であるB酒

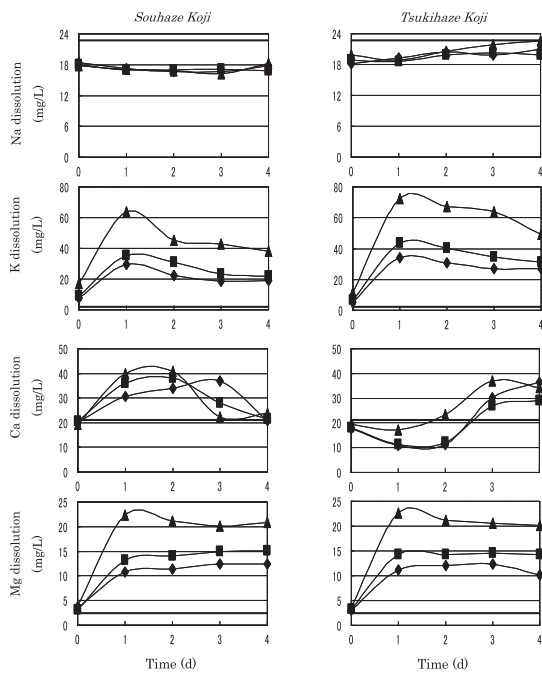


Fig. 4. Na, K, Ca and Mg dissolution from rice *Koji* by slightly hard water (A brewer) soaking. Symbols are the same as in Fig. 2. The bold lines indicate original inorganic salts concentration in A brewer water.

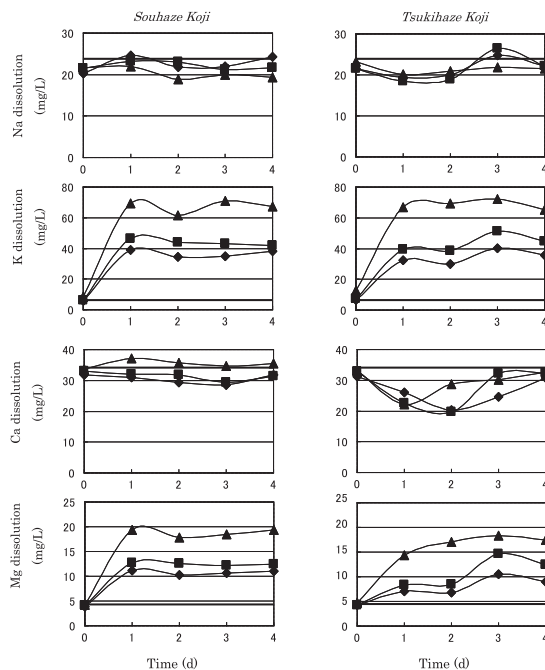


Fig. 5. Na, K, Ca and Mg dissolution from rice *Koji* by slightly hard water (B brewer) soaking. Symbols are the same as in Fig. 2. The bold lines indicate original inorganic salts concentration in B brewer water.

造用水による麴からの無機成分の溶出の結果をFig. 5に示す。この結果はFig. 4のA酒造用水での結果とほぼ同様であった。

酒造用水でありながらA, B酒造用水のようなKの少ない水でも、麴からKが速やかに供給されることは重要と考えられる。仕込み歩合の84 g/300 mLのデータによると、総ハゼ麴を用いた場合の1日後のK濃度は、純水、軟水、A酒造用水、B酒造用水でそれぞれ33.7 mg/L, 41.5 mg/L, 38.5 mg/L, 45.0 mg/Lであった。また、突きハゼ麴の場合では、それぞれ、36.0 mg/L, 43.0 mg/L, 43.5 mg/L, 39.2 mg/Lであった。これらの量は、若林ら<sup>6)</sup>が明らかにしている発酵に必要なK濃度(15 mg/L)を2倍以上超えており、麴からのKの供給は発酵に貢献していると考えられる。多くの研究者により発酵におけるKの重要性が指摘されている<sup>6,10,12,13)</sup>。また、浸漬や洗米によりKが多く流出し発酵が緩慢になること、また、かけ流し浸漬では特にKが多く流出することが報告されており<sup>17)</sup>、麴のK供給に対する役割が注目される。

Mgも純水、軟水、A酒造、B酒造用水のいずれの場合においても、速やかな溶出が認められ、若林ら<sup>6)</sup>が酒造用水中のMg適切含量としている5 mg/Lを超えていた。

Caについては総ハゼ麴では溶出が認められるものの、突きハゼ麴の場合では溶出量は明らかに低かった。このことは後述のアルコール発酵能と深く関係していると思われる。

このように用水に無機成分が不足していても、1日という短い期間で麴から多くの無機成分が供給され、特にKとMgにおいてはかなりの量が供給されていることが明らかとなった。蒸米を用いた場合には、このようなすみやかな溶出は見られないことから、製麴中の麴菌による米の表面組織の分解が、速やかな無機成分の溶出の要因となっていると考えられる。

軟水醸造法における生酏での発酵において、この仕込み初期1-2日の無機成分溶出の挙動は特に重要と考えられる。なぜなら、初期1-2日に供給された無機成分を利用して、硝酸還元菌や乳酸菌の増殖が活発となると考えられるからである。まず、生成した亜硝酸により野生酵母やその他の雑菌の増殖が抑えられ、次に乳酸が酏中に生成される。その後、清酒酵母が、麴から供給された無機成分(特にKやMg)を利用して増殖する。このように、仕込み初期1-2日において必要な無機成分が供給されることで、腐造が予防されていると考えられる。

殺菌や衛生概念が乏しかった江戸や明治期では、酏造りはすべて、いわゆる生酏であり、乳酸を添加して強制的に滅菌をして清酒酵母を添加する速醸酏はまだ発明(江田謙次郎, 明治43年発表)されていなかった。生酏のこの仕込み1-2日の発酵促進は、続く清酒酵母の大量の増殖につながるため、酏の発酵全体に大いに影響すると考えられる。

また、もろみの仕込みにも、無機成分の麴からの速やかな溶出は重要であると考えられる。健全なアルコール発酵のためには、添、踊、伸、留、各仕込みの段階で清酒酵母が十分に増殖する必要があり、清酒酵母の増殖に無機成分が大きく影響するためである。

**麴溶出液による清酒酵母の増殖能** 麴からの多量の無機成分の溶出が認められたので、これら溶出無機成分の清酒酵母増殖促進能、いわゆる増殖ポテンシャルについて検討した。それぞれの水で麴を2日間浸漬し、改変D成分溶液と前培養酵母を加えて30°Cで培養した。

Fig. 6に純水による無機成分溶出液での清酒酵母増殖を示す。総ハゼ麴の場合、2-3日で酵母増殖は最大に達した。一方、突ハゼ麴の場合も総ハゼ麴の場合に比べてやや低かったが、清酒酵母菌体は同じように増殖していた。

また、軟水（龍王名水）を無機成分溶出に用いた場合の結果は、Fig. 6の純水のデータとほぼ同様であった（データは示していない）。これらの結果は、純水や硬度の低い軟水を用いても麴からの無機成分の供給により、甑やもろみの仕込み初期の清酒酵母の増殖が十分支えられる可能性を示している。

しかしながら、甑仕込みであまりにも野生酵母が速く増殖すると、自然発生の乳酸などが十分生成されず、いわゆる「早湧き」となり、これも甑（もろみの種）として好ましくない。麴からの溶出ミネラルが、生甑の初期における硝酸還元菌と乳酸菌の十分な生育、そして、その後続く清酒酵母の迅速な増殖に貢献していると考えられる。さらに、麴の歩合やハゼ具合を調節することで、無機成分の供給量を制御し、軟水を用いた場合でも清酒酵母が十分増殖できる条件を設定できることを示したことは有意義である。

次に、A酒造、B酒造用水を無機成分溶出に用いた場合の清酒酵母菌体の増殖をFig. 6下部に示すが、純水、軟水とほぼ同じ結果を示した。すなわち、これらの結果は硬度100 mg/L以下の水であれば、水の硬度に関係なく無機成分は麴から十分供給されることを示している。

#### 麴溶出液を用いた時の清酒酵母のアルコール発酵能

次に、この酵母増殖能を測定した時のアルコール発酵能（発酵ポテンシャル）についてFig. 7に示す。アルコール発酵能については、水の種類に関係なく、総ハゼ麴からの溶出液ではエタノールをよく生成したが、突きハゼ麴からの溶出液ではあまり生成しなかった。Fig. 2からFig. 5に示したように、無機成分は2日間の浸漬で十分麴溶出液中に溶出している。しかし、突きハゼ麴からの溶出液の場合、Caが減少することが認められており、このCa制限により、アルコール発酵能は低下したと考

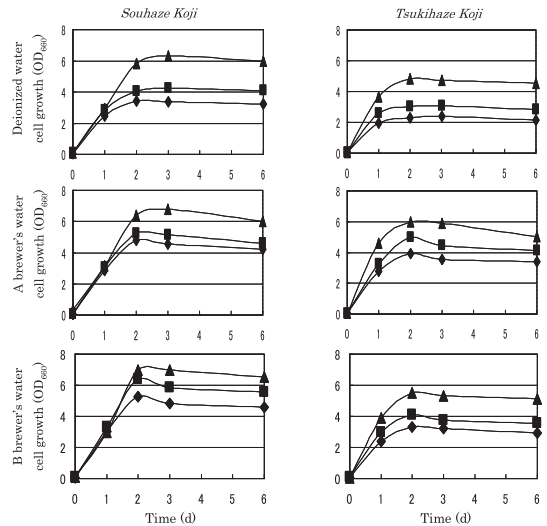


Fig. 6. Yeast cell growth potential in rice *Koji* dissolved solution using deionized, A brewer and B brewer water. Symbols are the same in Fig. 2.

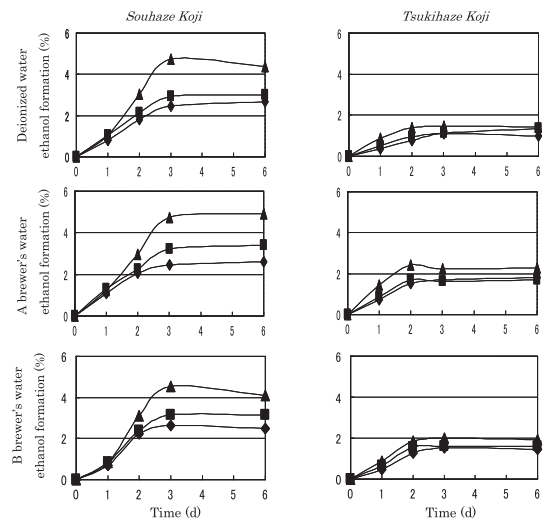


Fig. 7. Ethanol formation potential in rice *Koji* dissolved solution using deionized, A brewer and B brewer water. Symbols are the same in Fig. 2.

えられる。また、総ハゼ麴では麴菌の増殖が突きハゼ麴よりも多く、麴溶出液の中のアミノ酸など有機物も総ハゼ麴からのもののほうが多いと考えられる。このことも、Caの減少とともにアルコール発酵能の差異を拡大している要因であると考えられる。

先に、筆者らはバイセンサー（協会7号酵母使用）を用いた広島-西条地区の醸造用水（中等度の軟水）、一般の湧水の軟水、市販ミネラル水などを用いて18種の水と酵母のアルコール発酵能の関係性を示す実験を行い、水のミネラル量と酵母が示すアルコール発酵能には相関が認められることを示した<sup>15)</sup>。特にCa量が総アルコール発酵能との相関係数0.899と高い相関を示し、次



いでMgが0.784で高いことが示され、CaとMgの共存が、発酵を促進していることが認められている。同じ現象はすでに市川ら<sup>11)</sup>により認められている。一方、試験水中のPやK濃度は、0.02–0.50 mg/Lであり、アルコール生成との相関は認められなかった<sup>15)</sup>。伊藤は、Caは発酵に非常に重要であると述べており<sup>18)</sup>、筆者らもCaはエタノール生成に重要であると考えている。

以上のように、総ハゼ麴や突きハゼ麴からCaやMgなどの無機成分が溶出することで、純水やミネラルの少ない軟水でも、仕込み初期1–3日の清酒酵母増殖が支えられ、十分なアルコール発酵が可能になっていると考えられる。さらに、麴の歩合やハゼ具合を制御することで清酒酵母増殖とアルコール生成を制御し、健全な酀やもろみの発酵に持ち込むことも可能となると筆者らは考えている。

純水でも日本酒醸造が可能なのはすでに報告されているが、本研究で麴から溶出したミネラルが大きな働きをしていることが示された。

突きハゼ麴からの溶出液を用いた時、アルコール生成量が少ないことは、ミネラルの多い「強い水」が清酒酵母の湧きすぎを防止することの裏付けになると考えられる。

#### 軟水醸造法における麴からのミネラル溶出の意義

広島県の西条、三原、竹原は、中等度軟水（中硬度水）で、いわゆる「強い水」に近い水であったので、昔から酒造りが盛んであった。一方、それ以外の地域の水は軟水であり、お酒は造れても腐造や火おち（日本酒に特有な乳酸菌による酸敗）による被害が多かった。それらの地域で、硬度が約3度程度（40–50 mg/L）の水を用いた軟水醸造法が行われ始めたのは、明治時代である。

明治27（1894）年頃、安芸津の杜氏、三浦仙三郎により、軟水でも安定した日本酒が醸造できる軟水醸造法が開発され、広島に広まった。これにより、灘酒といった「強い水」による芳醇で辛口な酒に対抗できる酒が、腐造や火おちを防ぎながら醸造できるようになった。仙三郎は明治31（1898）年にこの軟水醸造法を「改醸法実践録」<sup>19)</sup>という本にまとめ全国にも広めた。これによって、全国の軟水で酒を造る地域でも安定した酒造りが行えるようになった。この技術は伏見、静岡、長野を経て新潟、全国にも普及しているとされている<sup>20)</sup>。

この軟水醸造法の科学的解明はほとんど行われていなかったが、筆者らの発表<sup>15,21)</sup>と本報告によって、麴から軟水への速やかな無機成分の溶出が、軟水醸造法に大きく貢献している可能性が示された。純水による醸造方法として広く知られているものは、明治42（1909）年頃、江田謙治郎によって開発された速醸酀を用いた方法であ

る。この方法は乳酸を添加して滅菌した後、清酒酵母を添加し増殖させるため、米からの無機成分の溶出や清酒酵母の増殖が遅くても腐敗が生じることが少ない。しかし、仙三郎が軟水醸造法を開発した当時はすべて生酀で、この方法は乳酸添加による滅菌操作は行わず、自然の乳酸発酵の後、清酒酵母の増殖を期待したものであった。衛生状態も悪く、菌学的知識も乏しかった明治20–27年当時、麴からのミネラル溶出で、清酒酵母の増殖を促進し、野生酵母や雑菌の生育を抑える技術は、腐造防止と健全発酵に大きく貢献したに違いない。

仙三郎は「改醸法実践録」<sup>19)</sup>でも、麴を造る工程には大きくページを取って（全43ページ中20ページ）、麴室を保温のための地下や半地下からほぼ地上へ移し、天蓋を設けて通気を良くし、湿気の多い不潔な部屋を乾燥させ、雑菌の少ない清浄な麴室できれいな麴を造ることを推奨している。現在の麴室はこの仙三郎の着想をほとんど踏襲しており、彼の衛生的な麴造りへの感性の鋭さと先駆性を感じさせる。

その他、「改醸法実践録」には、当時珍しかった寒暖計による温度管理や、「ぎり酀」という操作で酀の冷却や加温を緻密に行い、（いわゆる「冷掛け」）、低温で野生酵母や雑菌による腐造を防止しつつ清酒酵母の発酵を維持して酒を造るための要点が述べられている。

それらに加えて、本実験では、無機成分が元々少ない軟水で発酵させるためには、米から速やかに無機成分やミネラルを溶出させ、清酒酵母の増殖を促進することが醸造初期の段階でもっとも重要な操作になることを示した。麴からの無機成分の速やかな溶出、雑菌の少ないきれいな麴が、軟水醸造法の要点になっていると考えられる。

## 要 約

軟水醸造法の要点の解明を念頭に置き、純水、軟水、軟水傾向の中等度の軟水、およびやや硬度の高い中等度の軟水による、麴からの無機成分の溶出について検討した。麴は総ハゼ麴と突きハゼ麴を用いて実験を行い、以下の結果を得た。

- (1) いずれの水、又いずれの麴を用いても、Na, K, Ca, Mgは1–2日後の溶出液中に多量に溶出し、日本酒発酵に必要とされるK, 15 mg/L, Mg, 5 mg/Lは、1日溶出で約2倍より上回った。
- (2) Caの溶出は突きハゼ麴を用いた場合は、いずれの水を用いた場合でも抑制された。
- (3) 2日後の溶出液での協会7号酵母の増殖は、いずれの水や麴を用いた場合でも、2日でOD<sub>660</sub>が最大6付近まで達し、麴溶出液は高い清酒酵母増殖ポテン

シャルを示した。この時のエタノール生成能についても、総ハゼ麴ではいずれの水を用いても3日で4%以上と高いエタノール生成ポテンシャルを示した。しかし、突きハゼ麴の場合約2%と低いエタノール生成ポテンシャルを示した。

- (4) 仕込み後1-2日で速やかに大量の無機成分の溶出と、高い清酒酵母の増殖能が認められたことは、軟水でも麴により醗やもろみ初期の清酒酵母の増殖が支えられ、健全な醗やもろみの育成に貢献していると推定された。
- (5) 麴からの速やかな無機成分の溶出が軟水醸造法の要点である可能性が示唆された。

## 文 献

- 1) 灘酒研究会編：灘酒, p. 1-388, 灘酒研究会 (1969).
- 2) 清水 剛, 鼓 尚夫：広島醸造試験所技報, **29**, 131-147 (1951).
- 3) 嘉納成三：農芸化学誌, **27**, 881-887 (1953).
- 4) 山田正一, 吉沢 淑, 井上 博, 岡田徳一郎：醸造協会誌, **50**, 48-50 (1955).
- 5) 吉沢 淑：醸造協会誌, **51**, 51-54 (1956).
- 6) 若林謙太郎, 魚住政二, 塚原寅次：醸造協会誌, **52**, 54-60 (1957).
- 7) 嘉納成三：農芸化学誌, **35**, 1304-1308 (1961).
- 8) 善光則之：醸造協会誌, **56** 72-76 (1963).
- 9) 善光則之：醸造協会誌, **56**, 125-129 (1963).
- 10) 市川邦介, 前田嘉道：発酵工学, **41**, 530-537 (1963).
- 11) 市川邦介, 前田嘉道：発酵工学, **41**, 538-542 (1963).
- 12) 嘉納成三：農芸化学誌, **36**, 484-488 (1962).
- 13) 嘉納成三：農芸化学誌, **36**, 489-495 (1962).
- 14) 難波康之裕, 猿渡一由, 大町得蔵, 奥田利光, 若林三郎：醸造協会誌, **72**, 749-752 (1977).
- 15) 佐々木健, 岩永千尋, 竹野健次, 浜岡 尊, 土屋義信：生物工学 **76**, 51-57 (1998).
- 16) 池田明子：吟醸酒を造った男, p. 3-193, 時事通信社 (2001).
- 17) 野白喜久雄, 中川清道：醸造協会誌, **52**, 897-900 (1957).
- 18) 伊藤恭五郎：醸造協会誌, **47**, 131-141 (1952).
- 19) 三浦仙三郎：改醸法実践録, p. 1-43, 葆光社 (1898).
- 20) 秋山祐一, 熊谷千栄子：吟醸酒の話, p. 3-277, 技報堂出版 (2000).
- 21) 古谷大輔, 竹野健次, 佐々木健：日本生物工学会大会講演要旨集, p. 208 (2005).