海洋深層水の発酵食品への利用と効果

海洋深層水は様々な分野での利用研究が進められ、その有用性が実証され、実用化も進んでいる。このような海洋深層水の発酵食品への利用と効果について、最新の知見も交えて解説していただいた。

久武陸夫 上東治彦 森山洋憲 鶴田 望

1. はじめに

1989年に、当時わが国で初めて、世界でもハワイ、ノルウェーに次いで第3番目の陸上型海洋深層水取水施設が高知県の東端、室戸岬町に設置されて、深層水の本格的な利用研究が始まった。以来今日まで、水産、食品、医療の各分野で利用研究が進められ、それぞれの分野で、その有用性が実証され、実用化も進み、現在、食品、化粧品分野では産業利用されている。

高知県工業技術センターにおいても、これまで深層水の食品利用への研究に取り組み、清涼飲料水、清酒、醤油、味噌、練り製品などの試作開発や製品分析を行い、関連企業に深層水利用に関する技術指導を行って来た。

一方、企業でも独自に研究開発を進め、深層水を利用した製品が数多く市場に出回るようになった。

このような利用研究の中で、深層水を発酵食品に利用すると、発酵が促進され、清酒では香り豊かな雑味の少ない製品になるなど興味深い現象を確認している。そこで、最新の知見も踏まえ、海洋深層水の発酵食品への利用と効果について述べる。

2. 深層水の定義と特性

第1図に海洋深層水の取水状況の模式図を示す。深層水は室戸岬の沖合2,200m、海底320mと344mから2本の取水管で取水されており、2本合わせて取水量日量920トンである。

海洋深層水の定義は学者によって異なるが、太陽光

線の届かない、光合成の行われない層の海水で、概して深度約200m以深の海水といわれている。

表層海水と深層水海水の成分は、川北らの報告¹⁾に見られるように、主要成分(Na, Mg, Ca, K, Br, Sr, B, Ba, F, SO₄)及び微量成分(Pb, Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, Zn, As, Mo)では差がないが、第2図に示すように、一般項目(温度, PH, DO(溶存酸素), TOC(全有機物質))及び栄養塩類(NO₃-N, PO₄-P, SiO₂-Si)では差が見られる。

そこで、室戸の海洋深層水の特性として次の3点が挙げられる。

①低温安定性

年中10～15℃の間にあり、表層水に比べ低温で安定している。

②富栄養

植物プランクトンの栄養素といわれる硝酸態窒素、

第1図 室戸の海洋深層水取水模式図(原図提供: 海洋科学技術センター)

Utilizations and Effects of Deep Sea Water to Fermented Foods

Mutsuo HISATAKE, Haruhiko UEHIGASHI, Hironori MORIYAMA and Nozomu TURUTA (Kochi Prefectural Industrial Technology Center)

第2図 一般項目及び栄養塩類の表層海水と深層海水の比較

リン酸態リン、ケイ酸態ケイ素が表層水に比べ相当多い。

③清浄性

水質汚濁の指標として用いられる全有機物が深層水は表層水に比べ若干少ない。また、生菌数は深層水が表層水の1/10～1/100であり、微生物汚染が少ない。

3. 食品利用における利点

このように室戸の海洋深層水は化学的、微生物的に汚染が少なく、清浄であることから食品に利用されているが、利点として次の点が挙げられる。

①味がまろやかになる

近年の食塩はイオン交換膜法によって造られ²⁾、にがり成分が少なく、味覚的には塩辛さが強く感じられるが、多少にがり成分が含まれると、味がまろやかになるといわれる³⁾。

②発酵が促進される

にがり成分によって発酵が促進される⁴⁾といわれているが、著者等は深層水を実際に清酒、醤油、味噌醸造に利用した場合、発酵が促進されることを確認した。この点については後で詳しく述べる。

③ミネラルが多く、バランスがよい

海水には60種類余りのミネラルが含まれているが、これらの中には人間の生命活動に重要な役目を果たす必須微量元素が含まれている。

また、海水は生物の起源であり、太古の海水の塩類組成が人間の体液組成と類似しており⁵⁾、人間にとってもミネラルバランスがよいといわれている⁶⁾。

4. 発酵食品への利用と効果

(1) 清酒醸造への利用

①深層水を利用した清酒の小仕込み試験

深層水の清酒醸造への影響について検討するため、清酒（普通酒）の小仕込み試験を行った。

水道水及び深層水の脱塩水を対照に、深層水添加区には脱塩水に0.2%～2.5%深層水を添加して、総米150gで小仕込み試験を行った。麴は70%乾燥麴、白米は70%他用途米、酵母は61KA1を用い、最高温度15℃、もろみ日数15日とした。なお、対照に用いた水道水の電気伝導度は152μs/cm、脱塩水の電気伝導度は64μs/cmであった。

その結果を第1表に示す。脱塩水に深層水を1.0%～1.5%添加した試験区では対照の水道水よりも純アルコール取得量が増加し、上槽後の固形分率（粕歩合）が少なくなる傾向が見られ、また清酒の雑味の指標となるアミノ酸度、紫外部吸収は深層水の添加量が多くなるほど低くなる傾向があった。これは酵母死滅率や全菌数でも見られるように、深層水を添加することにより酵母の増殖が活発になり、もろみ末期まで酵母が死滅せず活動しているためと考えられる。更に、酒の

第1表 深層水を使用した清酒小仕込み試験

試験区	CO ₂ 減量 (g)	日本酒度	アルコール %	純アル取得 1/ton	固形分率 %	グルコース (%)	酸 度 (mℓ)	アミノ酸度 (mℓ)	紫外部 吸 収 OD 260 OD 280
水道水	45.1	-6.7	17.4	278	31.6	0.92	2.75	2.66	640 631
脱塩水	48.5	-7.7	16.9	268	32.4	0.94	2.75	2.60	652 652
脱塩水+0.2%深層水	50.9	-7.7	16.9	264	32.4	0.87	2.75	2.51	636 645
脱塩水+0.5%深層水	48.3	-7.2	17.5	279	31.6	0.90	2.76	2.51	612 628
脱塩水+1.0%深層水	47.2	-6.7	17.5	286	30.4	0.87	2.70	2.30	604 622
脱塩水+1.5%深層水	44.4	-6.2	17.9	293	30.6	0.93	2.68	2.25	580 600
脱塩水+2.5%深層水	43.4	-7.1	17.5	285	31.7	1.01	2.78	2.16	567 595

試験区	酵母死滅率	全菌数 10 ⁸ /mℓ	酢酸エチル	n-Pr OH	i-Bu OH	酢 酸 イソアミル	i-アミル アルコール	カブロン 酸エチル
(ppm)								
水道水	7.4	1.86	66.2	81.3	48.5	3.29	141.8	1.65
脱塩水	11.2	2.23	50.0	79.6	44.4	2.75	136.6	1.68
脱塩水+0.2%深層水	5.8	2.46	48.1	74.0	48.3	2.98	144.2	1.72
脱塩水+0.5%深層水	5.5	2.36	56.0	69.3	62.1	3.43	159.6	1.76
脱塩水+1.0%深層水	6.5	2.85	64.4	67.3	68.4	3.85	172.0	1.77
脱塩水+1.5%深層水	3.9	2.68	80.0	69.4	72.3	4.90	176.3	1.81
脱塩水+2.5%深層水	6.3	2.56	78.7	68.1	72.7	4.91	159.9	1.88

使用麹：70%乾燥麹，使用白米：70%他用途米，酵母：61 KA 1，最高温度：15℃，
 醗日数：15 日，水道水電気伝導度：152 μ S/cm，脱塩水電気伝導度：64 μ S/cm

香り成分として重要な成分である酢酸イソアミルとカブロン酸エチルは深層水を添加することにより増加する傾向があった。このように清酒醸造では深層水を適度に添加することにより，深層水の成分が作用し，酵母の増殖が活発となり，発酵が順調に進むと考えられる。

②清酒麹に及ぼす深層水，各種塩類の影響

各種濃度の深層水または各種の塩類溶液 100 mℓ に吟醸麹（精白歩合 40%山田錦）または普通麹（精白歩合 70%加工用米）30 g を加え，55℃，5 時間自己消化させた後，ろ液の液量，ボーメ度，アミノ酸度を測定し，麹の総合力価及び真のアミノ酸度を算出した。結果を図 3 に示す。

清酒醸造では深層水を余り多く添加すると，塩辛さが増し，食味上問題となる。そこで，深層水濃度 0.1%～5%の範囲で麹の活性に与える影響について検討した。その結果，深層水 1%までは水道水区とほとんど差がなく，総合力価を高めるには吟醸麹，普通麹共に深層水 3%以上の添加が必要であることが示唆された。真のアミノ酸度は吟醸麹ではやや増加，普通麹ではほぼ横ばいの傾向を示したが，いずれもその増加率は総合力価の増加率に比べ，小さかった。

麹力価に及ぼす深層水の影響(吟醸麹)

麹力価に及ぼす深層水の影響(普通麹)

第3図 麹力価に及ぼす深層水濃度の影響

(a) 各塩類の影響

(b) 塩化カルシウムの影響

第4図 麴力価に及ぼす各塩類の影響

次に麴力価を高めるには、どのような塩類が有効であるかを調べた。0.5%濃度の各種の塩溶液を用いて、消化試験を行った。その結果を第4図に示す。

試験した塩溶液では塩化カルシウムが最も効果があり、総合力価が蒸留水区の2.0倍まで上昇、次いで酢酸カルシウムで1.8倍まで活性が上昇した。カルシウムイオンは蒸し米への分解酵素の吸着を助ける働きがあることが認められており⁽⁷⁾、今回の結果もそのためと考えられる。

次に最も効果がみられた塩化カルシウム濃度の麴力価への影響について検討した。その結果、塩化カルシウム1,000ppmの添加区では、蒸留水の1.9倍の活性が認められ、それ以上はほぼ横ばい状態であった。また、真のアミノ酸度は、2,000ppm以上では減少する傾向が見られた。このように麴の蒸し米の分解には、

第5図 海洋深層水と酵母育成

カルシウムイオンが有効であることが判明した。

③深層水添加による酵母増殖への影響

種々の濃度に調整した深層水を用いて酵母を培養、菌の増殖状況を吸光度（610 nm）で測定し、深層水の酵母増殖への影響を調べた。その結果を第5図に示す。酵母は清酒酵母（61 KA 1）を用い、培地には栄養素として硫酸アンモニウム、グルコース、ビタミン類を加えた簡易合成培地を用いた。

イオンが除去された蒸留水では酵母増殖は観察されなかった。また、酵母の増殖が観察された試料のうち、深層水濃度 30%の培地で増殖が顕著であったが、それ以外の濃度で増殖は鈍くなった。

更に、深層水中に溶解している無機イオンの酵母増殖への影響を観察するため、簡易合成培地を用い、酵母育成に必要といわれる無機イオン（P、Mg、Ca、Na）を1種類のみを溶解した培地と、1種類を除いた培地を作成し、それぞれに酵母を植菌し、その育成状況を観察した。その結果を第2表に示す。

第2表に示されるように、無機イオン単独の場合では酵母の増殖は観察されなかった。このことから酵母の育成には1種類の無機イオンが寄与しているのではないことが判明した。

次に複数の無機イオンの組み合わせの影響を検討した。4種類の無機イオンのうち、 PO_4 イオン、Mg イオンを除去した培地では酵母の生育は観察されなかったのに対し、Ca イオン、Na イオンを除去した培地では、対照の全イオンと同等の酵母生育が観察された。このことから酵母培地には PO_4 イオンと Mg イオンの2つの無機イオンが不可欠であることが示唆され、

第2表 培地に含有している無機イオンと酵母育成への影響

試料	酵母育成
PO_4^{3-} 単独	—
Mg^{2+} 単独	—
Ca^{2+} 単独	—
Na^+ 単独	—
PO_4^{3-} 除外	—
Mg^{2+} 除外	—
Ca^{2+} 除外	+
Na^+ 除外	+
全イオン	+

注：全イオンは PO_4^{3-} 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 Na^+ を含む

第6図 本醸造方式による醤油の製造工程

深層水中に含まれている豊富な無機イオンの中で PO_4 イオンと Mg イオンが酵母増殖に寄与しているといえる。

（2）醤油醸造への利用

①深層水を利用した醤油の実地醸造試験

第6図に本醸造方式による醤油の製造工程を示すが、深層水仕込み醤油は水の代わりに海洋深層水を用い、食塩に並塩を用いてボーメ約 16 度に調整、麴と混合して仕込み、一定期間発酵熟成させて製造した。

このようにして5ヶ月経過した深層水仕込み諸味と通常仕込み諸味の成分を表3に示す。深層水仕込み諸味は通常仕込み諸味に比べ、諸味及び諸味ろ過液の TN、窒素溶解利用率、アルコール濃度のいずれも高く、酵母により直糖が資化され、有機酸の中では乳酸が若干多く生成されていた。このように深層水仕込み

第3表 醤油諸味（5ヶ月経過）の一般成分と有機酸

5ヶ月経過諸味	一般成分 (%)					有機酸 (%)		
	諸味(TN)	諸味ろ液(TN)	窒素溶解利用率	アルコール分	直糖	乳酸	酢酸	ピログルタミン酸
通常仕込み諸味	1.48	1.28	86.5	1.5	4.3	1.74	0.14	0.30
深層水仕込み諸味	1.51	1.33	88.1	2.0	3.8	1.84	0.14	0.32

ではプロテアーゼによる大豆タンパク質の分解が旺盛で、アルコール発酵、乳酸発酵も順調に進んだ。

第7図に深層水仕込みと通常仕込み諸味のホルモル窒素の変化を示す。前者は後者に比べ発酵開始後約3ヶ月間アミノ酸の生成が順調に進んだ。また、第8図には醤油諸味中の酸度の変化を示す。図に見られるように、深層水仕込みの諸味は通常仕込みに比べ、発酵開始時点から酸の生成が多く、乳酸発酵が旺盛であった。

第9図には深層水仕込み諸味と通常仕込み諸味の各アミノ酸の値を示す。深層水仕込み諸味はチロシン、フェニルアラニン、ヒスチジン、アルギニン、プロリ

ンを除いて他はすべて通常仕込み諸味より多くなっていた。

このように深層水を醤油醸造に用いると、アミノ酸、

第7図 醤油諸味中のFNの変化

第8図 醤油諸味中の酸度の変化

第9図 醤油諸味中のアミノ酸

第4表 味噌の一般成分（熟成6ヶ月）

項 目	深層水仕込み	通常仕込み
酸 度 (%)	1.07	1.00
全窒素 (%)	1.61	1.61
ホルモール窒素 (%)	0.42	0.30
直 糖 (%)	20.2	19.8
塩 分 (%)	10.1	11.1

アルコール、乳酸の生成が多くなるなど醤油醸造が促進されることが判明した。

（3）味噌醸造への利用

婦人加工グループが試作した深層水仕込み味噌と通常仕込み味噌の分析値を第4表に示す。深層水仕込み味噌と通常仕込み味噌とはホルモール窒素以外はほとんど差がないが、ホルモール窒素即ちアミノ酸は醤油の場合と同じく多く生成しており、大豆タンパク質の分解が促進されていた。

5. お わ り に

海洋深層水は「低温安定性」、「富栄養」、「清浄性」の特性を持ち、ミネラルが豊富であるが、これを清酒、醤油、味噌などの発酵食品の製造に利用すると深層水中の成分（Mg, P, Ca）が酵母の増殖や麴の育成に有効に働き、清酒ではアルコール取得量の増加、雑味の

減少、香り成分の増加をもたらし、醤油では全窒素の増加、アミノ酸の増加、乳酸の増加をもたらし、味噌では醤油と同様アミノ酸が多く生成された。このように海洋深層水を適度に利用することにより発酵が促進され、製品の品質向上が図られることが判明した。今後、研究が進むにつれ、深層水の特性や機能が更に解明され、発酵食品や他の食品への利用が拡大されるものと思われる。

＜高知県工業技術センター＞

参 考 文 献

- 1) 川北浩久ら：「高知県工業技術センター研究報告」NO. 26 8-12 (1995)
- 2) 藤巻正生ら編：「食料工業」P. 1123 恒星社厚生閣 (1985)
- 3) 「食品と開発」：31 (5) 44-46 (1996)
- 4) 「食品と開発」：26 (10) 8-11 (1991)
- 5) 木村修二，足立乙幸編：「食塩」p. 61 女子栄養大学出版 (1989)
- 6) 平島裕正：「日本人の健康と塩」p. 26 三晃書房 (1986)
- 7) 堀江修二：日本醸造協会誌 90 (8) 597-605 (1995)