

酒と熟成の化学 — 響きあう水とアルコール

北 條 正 司*

常温において、水とエタノールはどちらも液体であり、互いに任意の割合で混合する。しかし、分子レベルで見ると両者の混合は不完全であり、しかるべき時間が経過した後はじめて、微視的にも混合すると考えられてきた。一方では、水素結合が関与する水素原子の移動は極めて速く、ナノ (10^{-9}) 秒やピコ (10^{-12}) 秒の世界であることもよく知られていることである。水とアルコール分子間の混合は、酒の熟成現象と関連づけられている。

このように矛盾に満ちた酒の熟成現象について、この10年ほど前から化学的な研究を進めた。一般には酒の熟成現象を科学的に解明することは不可能とされてきた。したがって、研究内容は極めて挑戦的であり、言い方を変えれば挑発的でさえある。酒類の主成分である水とアルコール分子の間で織り成される多様な状態を、酒の熟成現象と関連付けて考察しなければならないのである。得られた実験結果を「ありのまま」に解釈するためには、従来の通説に対して修正を加える必要にも迫られた。地元の日本酒製造会社の研究者と共に進めてきた研究である。このささやかな研究結果を述べる前に、まず酒類の醗酵現象について解説しておく。

ブドウ糖などの糖類を酵母（イースト）で醗酵させると、主にエタノールと二酸化炭素が生成する。この反応は、純正な化学反応ではなく、酵母が関与した生物化学的反応であるから、各種の有機酸やアミノ酸等も同時に生産される。

植物中に含まれる糖類やデンプン質が酒類の原料である。ブドウ果実のように、原料中の糖質の濃度が十分に高ければ、その果汁の醗酵は酵母により自然に開始される。しかし、麦や米などの穀類の場合には、光合成による糖分の大部分はデンプン質として保存されているので、酵母（イースト）が利用できる形態、すなわち、糖質にまで加水分解しておかなければならない。

デンプン質を糖質にまで分解する方法としては、主に二つの方法がある。一つは、大麦などを発芽させ、そのとき麦芽中で生産されたアミラーゼなどの酵素を活用して、麦芽自体またはその他の穀類を糖化する方法である。この方法は、ビールの醸造やウイスキーなどの生産に利用されている。二つ目は、カビ類が生産した分解酵素により、米やその他の穀類を糖化する方法であるが、高温多湿のモンスーン地域、特に、中国華南地方や日本などで盛んに行われている。その他、唾液中の酵素によるデンプンの糖化は、古くから世界各地で行われていた。応神天皇時代、地物ではなく渡来人の造った酒を飲んで、天皇はたいそう感激し、歌を残したと古事記に記されている¹⁾。その後、日本でも、カビ類の糖化力を利用する酒の製造法が取り入れられ、日本酒として独自に発達を遂げている。一方、中国大陸では、上海に近い浙江省などで黄酒（紹興酒）が製造されている。すでに紀元前12世紀の殷代には、酒は祭祀に欠かせぬものになっていた。当時の酒造りには、麴と穀芽（モヤシ）

*高知大学理学部応用理学科 教授

の両方が用いられていたとされる²⁾。

麦芽（モヤシ）とカビとは、見かけ上、全く異なるように見えるのだが、類似した糖化の働きをする。どこかに、何か共通点でもあるだろうか。この点について筆者は次のように考察してみた。植物の種子が発芽するとき、新しい生命体を形成するために、蓄えられた固形の養分を溶解させる必要に迫られる。そのために、デンプン質を糖に戻す酵素が多量に誘導されるのであろう。一方、麴などのカビ類は、キノコなどとの類縁体である。栄養分に富む植物の種子などに寄生し、そこから、自身の菌体などの生命体を生長させていく養分確保のために、やはり、多量の分解酵素を誘導する。このようにしてできたデンプン等の分解酵素類が、酒の製造の糖化過程に利用されているのである。

さて、本題である酒の熟成とその化学について、話を進めたい。酒の熟成現象に関心のある化学者の間では、水とエタノールの混合状態について、ほぼ共通した認識がある。「熟成した

酒類の中では、水とエタノール分子は緊密に結合している。」しかし、もっと一般的には、次のような表現法がある。「熟成していない酒は、分子レベルで見ると、混合していないが、時間経過により、混合が進む。」

酒の熟成現象を包括的に解明することは至難である。科学的に取り扱うために、思い切って、二つの要素に分割してみた。一つは喉に突き刺さるようなアルコール刺激の低減の側面と、もう一つはノンアルコール飲料の味の良し悪しに類似した「味のバランス」の側面である。後者の「味バランス」は熟成の重要な要素ではあるものの、本稿の趣旨にはあてはまらない。化学者が直接対峙できる範囲は、口腔や咽喉などの粘膜に対する「アルコール刺激の低減」の原因解明についてであろう。

これまでの研究により筆者らは、次のような結論に達した。すなわち、水とエタノールが緊密に結合して、アルコール刺激が低減するには、経過時間そのものは重要ではない。時間経過に



図 酒を温める器（牛の頭部などから湯を出入れし、中央部に酒を置く）。春秋晩期（紀元前5、6世紀）上海博物館所蔵。

伴う溶存成分，特に，酸やポリフェノール類の獲得が重要である。

以上のような議論の詳細は，研究論文³⁻⁸⁾や単行本^{9,10)}，解説¹¹⁻¹³⁾などに発表されている。余談ながら，日本語の単行本⁹⁾は中国語訳されており，近々，中国で出版されることになっている。最近，日本アルコール・薬物医学会での講演発表を依頼され，発表がなされたことを付記しておく。

キンカ京都化学者クラブでは，第167回(2004年5月1日)及び第228回(2009年6月6日)にそれぞれ，「時間がたつと酒はうまくなるか — 溶質溶媒効果について —」及び「酒と熟成の化学～響きあう水とアルコール」の題目で講演させていただいた。これらの席上での討論等を通して，水とエタノールの混合についての考察がより深化して行った。ここに記して謝意を表す。

引用文献

- 1) 藤島亥次郎(監修)，「日本生活変遷史 衣・食・住」土佐新聞社(1962年)，p. 9.
- 2) 島尾永康，「中国化学史」朝倉書店(1995年)，第9章.
- 3) Nose, A., Hojo, M., and Ueda, T.: *J. Phys. Chem. B*, **108**, 798 (2004).
- 4) Nose, A., Hojo, M. Suzuki, M., and Ueda, T.: *J. Agric. Food Chem.*, **52**, 5359 (2004).
- 5) Nose, A., Myojin, M. Hojo, M. Ueda, T., and Okuda T.: *J. Biosci. Bioeng.*, **99**, 493 (2005).
- 6) Nose, A., Hamasaki, T., Hojo, M., Kato, R., Uehara, K., and Ueda, T.: *J. Agric. Food Chem.*, **53**, 7074 (2005).
- 7) Nose, A. and Hojo, M.: *J. Biosci. Bioeng.*, **102**, 269 (2006).
- 8) 北條正司・能勢 晶：分析化学 **57**, 171 (2008).
- 9) 北條正司・能勢 晶，「酒と熟成の化学 — 響きあう水とアルコール」(光琳)(2009年).
- 10) Nose, A. and Hojo, M. “Alcoholic Beverage Consumption and Health”, Nova Science Publishers, (Hauppauge, NY) (2009), 第2章.
- 11) 北條正司：海洋化学研究, **17**, 32 (2004).
- 12) 北條正司：Review of Polarography, **50**, 125 (2004).
- 13) 北條正司：近畿化学工業界618号，2004年10月号，p. 1.