

## お酒の酵母の遺伝子事情

根来 宏明

清酒の醸造に「清酒酵母」を利用することは、発酵学者やノンベエにはよく知られている。清酒酵母とは酒造りに適した酵母の総称であり、ほぼすべてが *Saccharomyces cerevisiae* に属する。狭義には、日本醸造協会が頒布する「K-7グループ」を指すこともある。その特徴についてはさまざまな著作<sup>1,2)</sup>に記載されているが、ここでは“清酒酵母に関する遺伝子レベルの解析はどこまで進んでいるか”をお話する。

きょうかい7号 (K-7) はもっともメジャーな菌株の一つで、清酒酵母として初めて全ゲノムが公開された<sup>2)</sup>。他にも有名な株としてK-6, K-9, K-10などがあり、K-7と遺伝的距離が近いので、まとめて「K-7グループ」と呼ばれている。醸されるお酒の味はそれぞれ異なるが、その原因は遺伝子レベルではよく分かっていない。K-7グループは他の *S. cerevisiae* と比べて高いエタノール生成能を持ち、原因としてプロテインフォスファターゼPP2A<sup>B55b</sup>へシグナルを伝える *RIM15* の機能欠損が報告されている<sup>3)</sup>。また別の特徴として、K-7グループは二倍体であるが胞子の形成や発芽が上手くできない<sup>4)</sup>。最近、胞子形成に関わる *Spo11* の機能不全により、正常に染色体の組換えができないことが報告された。きっと酵母自身は、自らが死ぬほどのアルコールを出したくないし、胞子形成をして種を進化させたいだろうが、人間が安定的に酒を飲みたいがためにこのような株が選ばれてしまったのだろう。

K-7グループの株をそのまま使用しても美味しいお酒は出来上がるのだが、より“おいしい”化合物を造らせるため、清酒業界ではさまざまな育種法を開発してきた。表1にはその例をいくつか挙げており、吟醸酒造りに利用されるカプロン酸高生産株が代表例である。より古く

から育種は行われてきたが、アルコール耐性株 (*CYRI* 変異) や、泡を形成しない株 (*AWAI* 欠損) など、生産効率を重視した育種が主だったようである<sup>1)</sup>。育種法の多くは、ランダムな変異導入によって目的の形質を得るので、株の取得時には原因となる遺伝子が不明である (*MDE1* 変異株のように、遺伝子をターゲットとして非遺伝子組換えにより選抜した例もある<sup>5)</sup>)。1990年代以降は遺伝子工学が発展し、育種と同時に原因遺伝子の探索も積極的に行われてきた。その中で、生合成経路が推定しやすかったであろう遺伝子については、早期に同定されている。一方で、機構がなかなか解明されない育種酵母も多かったが、ここ数年でさまざまな報告がなされるようになった。これは次世代シーケンサー (NGS) の急速な広まりによる寄与が大きく、2015年以降の報告では、多くがNGSを使用した解析を行っている。一見関係がなさそうな変異も網羅的に検出でき、さらに、ゲノム構造まで解析できるようになったため、従来の遺伝子工学では調べにくいところまで手が届くようになった。NGSに加えて他の解析技術の進歩も相まって、現時点では遺伝子レベルで機構が特定されていない育種株についても、今後新たな知見が生まれていくだろう。

K-7グループ以外の酵母も、酒造りに使用される。オリジナリティを出すため、古くから自然界からの酵母単離が日本各地で行われてきた。これらの多くはアルコール生産能がやや低い (非経済的) ため、これまであまり利用されなかったが、近年では嗜好の多様化を反映して、利用が広まっているように感じる。発酵の仕方もお酒の味も、K-7グループと異なることが多い。さらに、蔵付き酵母について詳細に解析し、K-7との差異を科学的に示した報告も見られる<sup>6)</sup>。ゲノムが明らかになることで、“各都道府県で酵母がどのように分布・進化しているか”まで分かるようになれば、これまでとは一味違った「清酒酵母」のストーリーが生まれるかもしれない。

表1. 育種された実用酵母の例。カッコは論文や特許での報告年。

表現型	原因遺伝子
イソアミルアルコール高生産 (1987)	<i>LEU4</i> (1994)
2-フェニルエタノール高生産 (1990)	<i>ARO4</i> (1991), <i>TYR1</i> (1991)
カプロン酸高生産 (1991)	<i>FAS2</i> (1994)
リンゴ酸高生産 (1992)	<i>VID24</i> (2016), <i>PEX22</i> (2018)
ファルネソール高生産 (2004)	<i>ERG9</i> (2004)
ピルビン酸低生産 (2010)	Chromosome XI duplicate (2017)
酢酸イソアミル高生産 (2016)	<i>MGA2</i> (2017)
ジメチルトリスルフィド低生産 (2018)	<i>MDE1</i> (2013)

- 1) 後藤邦康：日本醸造協会誌，**87**, 801 (1992).
- 2) 赤尾 健：日本醸造協会誌，**107**, 366 (2012).
- 3) Watanabe, D. *et al.*: *Appl. Environ. Microbiol.*, **85**, e2083-18 (2019).
- 4) Shimoi, H. *et al.*: *J. Biosci. Bioeng.*, **127**, 190 (2019).
- 5) 磯谷敦子ら：特開2018-11553
- 6) Takao, Y. *et al.*: *J. Biosci. Bioeng.*, **126**, 617 (2018).