

## 特集 黄麹菌はどこまで分かったかⅡ



黄麹菌は、日本の醸造産業に多く用いられるほか、その酵素生産能にも注目が集まり、2006年には日本の「国菌」に認定されました。全ゲノム配列が解読され、世界中から注目されています。

左下：種麹、左：麹蓋での製麹、右上：米麹、右下：麹菌の分生子

黄麹菌 *Aspergillus oryzae*

# 最近の黄麹菌研究

日本の伝統的なお酒の一つとして私たちの生活や文化に深く根付いている日本酒。その日本酒を造る上で欠かせないのが麹菌(黄麹菌)です。今回は、成分解析研究部門の岩下部門長から、最近の黄麹菌に関する研究について聞きました。

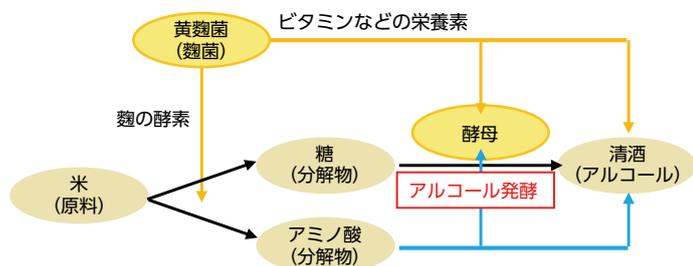
## ✓ 黄麹菌は日本の食文化の原点

—日本の食文化の中で、黄麹菌はどのような役割を果たしてきたのでしょうか。

「日本の食文化」というと、「白ご飯と味噌汁に焼き魚、おひたしや酢の物、漬物」など味噌、醤油、酢などを使用した和食が連想されるかと思います。また、冠婚葬祭や神事などに欠かせない日本酒も日本の食文化の代表です。

これらの食品は米、麦、大豆などの穀物から「発酵」によって造られますが、酵母や乳酸菌は穀物をそのまま使用することができません。黄麹菌が作る酵素により、穀類の炭水化物やタンパク質を糖やアミノ酸に分解し、さらに麹菌からビタミンが供給されることで、酵母や乳酸菌は「発酵」を始めることができます。つまり、黄麹菌はなくてはならない「和食文化の原点」なのです。

このように、古来、日本酒をはじめ、我が国のいろいろな食品に用いられている黄麹菌などの麹菌を、2006年に日本醸造学会が「国菌」として認定しています。



### 清酒製造における麹菌の役割(概要)

—黄麹菌について、過去にどのような研究が行われてきたのでしょうか。

古くから日本の食文化を支えてきた黄麹菌が発見されたのは1876年のことで、東京医学校(現・東京大学医学部)教師のヘルマン・アールブルグ氏により清酒麹から分離され、1884年にはプロイセン(ドイツ)の細菌学者フェルディナント・コーン氏により *Aspergillus oryzae* と名付けられました。その後、菌の性質や働きについて多くの研究が行われています。遺伝学が発達してからは遺伝子を読み取る「ゲノム解析」が進められ、2005年には黄麹菌の全ゲノムが解読されたのです。

## ✓ 謎の多い黄麹菌

—黄麹菌の全ゲノムが解読された結果、どのようなことが分かったのですか。

ゲノム解析により、黄麹菌は約12,000個(ヒトは約30,000個)の遺伝子を持っていることが分かりました。しかし、その

うちの半分はその機能を予想することすらできない「機能未知遺伝子」であり、ゲノムが解析された当時、実際に研究が進められていた「機能既知遺伝子」は全体の約1%。黄麹菌にはまだまだ解明されていないことがたくさんあると分かりましたが、解明するための入り口に立った、といえると思います\*。

—たくさんの機能未知遺伝子を、どのように解析していくのでしょうか。

全ての遺伝子が常に全力で働いているわけではありません。必要な時に必要な遺伝子が必要な量だけ働き、生物として機能しています。つまり、米麹を造るときに働く遺伝子の量(発現量)とできた米麹の品質の関係を調べれば、米麹を造るのに必要な遺伝子を推定できるのです。

まずは、遺伝子の発現量を可視化できる「麹菌DNAチップ」を開発し、黄麹菌が米麹を造るときに働く遺伝子の数を調べました。すると、発現量の多い上位10%(約1,200個)の遺伝子のうちの約3分の1が機能未知遺伝子であることが分かりました。

これらの機能未知遺伝子を1つずつ狙って破壊した黄麹菌株を作成し、その特徴の変化を調べた結果、黄麹菌が生育するために重要な役割を持っている遺伝子などを発見することができました。このような地道な研究の積み重ねで、機能未知遺伝子の解析を進めていきます\*。

—黄麹菌には、日本酒用の他にもいくつか種類がありますが、遺伝子に違いはあるのですか。

黄麹菌は日本酒のみでなく醤油や味噌を造る時にも使われます。先ほどのDNAチップを使用して55種類の黄麹菌株の遺伝子を解析すると、黄麹菌株は日本酒用や醤油用などの13系統に分かれていること、同じ日本酒用でも昭和25年頃に使用されていた株と最近の株の遺伝子は大きく異なることが分かりました。

ところで、DNAチップを使用した実験は特殊な機器などを必要とするため、あまり一般的ではありません。そこで私たちは、13系統でそれぞれ特徴のある遺伝子を選抜し、その遺伝子を増やして可視化する実験系(PCR)を構築しました。この方法でいくつかの黄麹菌ゲノムを調べると、DNAチップと同様に13系統に分類することができました。PCRは多くの研究機関で一般的に使用される技術であり、未知の黄麹菌でも簡易な方法によってある程度の分類を予測できるようになったのです。

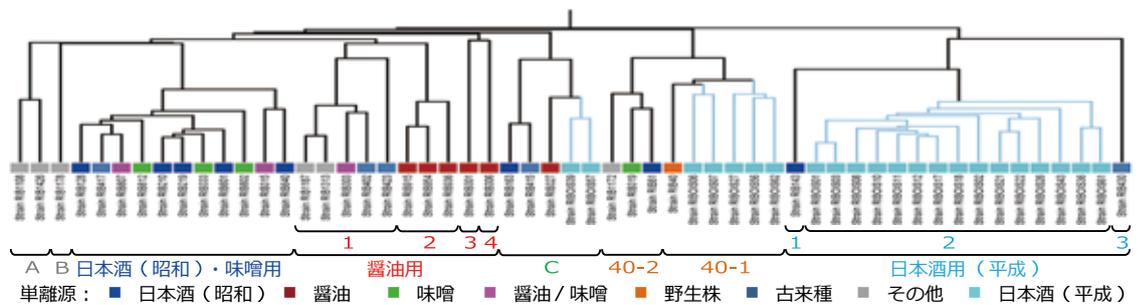
## ✓ 解けなかった謎に迫る

—少しずつ謎が解明されつつある黄麹菌ですが、日本酒の味や成分への影響で分かったことはありますか。

ゲノムには生物の特徴が書き込まれています。つまり、ゲノ

\* エヌリブ15号(麹と麹菌) : <https://www.nrib.go.jp/sake/pdf/NRIBNo15.pdf>  
エヌリブ23号(麹菌の機能を調べる) : <https://www.nrib.go.jp/sake/pdf/NRIBNo23.pdf>

## 黄麴菌株の系統図



ムの系統が異なれば黄麴菌の特徴も変わり、当然お酒の味にも影響を与えると考えられます。実際に、13系統の各黄麴菌を使用して米麴を造ってみると、原料米のデンプンを分解するのが得意な系統や、うま味となるアミノ酸をよく作る系統、お酒の香りの素をたくさん作る系統など、系統ごとに特徴がありました。これらの米麴で造った日本酒は、やはり系統ごとに味や代表的な香りの成分量に違いがありました。日本酒の香味には原料米の精米歩合や酵母の菌株が大きく影響することが知られていますが、麴菌の菌株の影響も大きいことが分かったのです。

しかし、味や香りといっても、その成分は実に様々です。例えば日本酒には、わかっているだけでも約300種類の成分が含まれ、それらの成分の量や割合、有無によって、味や香りは変化します。以前は300種類の成分を分析するのに多くの機器と年単位の時間を要していましたが、近年はメタボロミクスという分析技術が発達し、一度にたくさんの成分を分析することが出来るようになりました。また、未報告の成分も多くあることがわかりました。この技術を使うことによって、黄麴菌の系統ごとのより具体的な特徴が分かるのではないかと期待しています。



メタボロミクスによる清酒成分の分析

### 一望ましい日本酒の成分を黄麴菌に作らせることも可能になるでしょうか。

黄麴菌の遺伝子を実験的に変異させ、有用な成分を作らせることは理論的には可能です。しかし、黄麴菌は一つの細胞の中に複数の核を持つという特徴がある微生物であるため、遺伝子の改変を行うには、全ての核に同じ変異をさせなければならず、容易なものではありません。

一つの方法として、DNAトランスポゾンという、「遺伝子内で動くことのできる特殊な領域」を活用する方法があります。DNAトランスポゾンは環境変化が起こると遺伝子内の別の場所に動きやすくなります。これにより遺伝子を変異し、黄麴菌の働きや形質が変化します。実際にこの方法で、日本酒造りに求められる「より甘くて色の良い」黄麴菌を作ること成功した

例があります。

また、よい性質の黄麴菌を掛け合わせるという方法も考えられます。ゲノム解析により黄麴菌にも動物のオスメスのようなものがあることがわかりました。つまり、まだ発見はされていませんが、掛け合わせ（接合）ができるかもしれないのです。さらに調べると、どうやら黄麴菌株の間にも相性があるようで、接合しやすい組み合わせ（和合性）と接合しにくい組み合わせ（不和合性）があることを、つい最近、東京大学などとの共同研究により発見しました。不和合性のメカニズムを明らかにすることができれば、黄麴菌の効率的な交配育種が可能となるかもしれません。

### ✓ 今後の研究 ～日本酒から世界酒へ～

—最後に、黄麴菌の研究について、今後の方向性や展望などを聞かせてください。

これまでにご紹介したとおり黄麴菌にはまだまだ不思議が沢山詰まっています。しかし、この不思議は「全く分からなかったもの」から「調べることができるもの」となりました。黄麴菌が発見されてから140年以上過ぎて、初めて黄麴菌の不思議に真っ向勝負することができる世界が訪れたのです。さらに、醸造は麴菌と他の微生物の働きがかみ合わさって初めて成り立つものでもあります。麴菌は酵母や乳酸菌などにも大きな影響を与えていることが経験的には知られていましたが、具体的なことはほとんど分かっていませんでした。ゲノム解析やメタボロミクス解析により、これらの疑問にも一つ一つではなく一気に挑戦することができるようになりました。黄麴菌が変われば、日本酒も変わります。日本酒と和食は絶妙な組み合わせですが、黄麴菌とお酒の成分の関係が分かれば、フランス料理やイタリア料理に合う日本酒も作ることができるようになるかもしれません。

「日本酒から世界酒に」というのが私の夢です。いろいろな食文化にも合う「世界酒」を目指し、日々、黄麴菌の謎と向き合っています。

平成3年国税庁入庁。平成7年より国税庁醸造研究所（現・酒類総合研究所）勤務。黄麴菌の遺伝子や酒類中に含まれる成分などに関する研究を担当。

醸造技術基盤研究部門副部長、醸造技術開発研究部門長などを経て、平成28年7月より現職。

成分解析研究部門長

**岩下 和裕**（いわした かずひろ）



## 1 研究成果の発表

日本農芸化学会2018年度大会（3月15日～18日、ホテルナゴヤキャッスル・名城大学）においてワインと清酒の食品との組み合わせや麹菌のゲノム解析などに関する研究8題、第70回日本生物工学会大会（9月5日～7日、岡山大学）において微生物が呈味成分に与える影響や黒麹菌学名に関する研究2題を発表しました。

## 2 研究所講演会の実施

5月21日に東広島芸術文化ホールから（広島県東広島市）において、第54回独立行政法人酒類総合研究所講演会を開催しました。

後藤理事長の「酒類総合研究所の取組」に続き、「全国新酒鑑評会出品酒の「甘臭」「焦げ臭」に関する成分について」「原料米と酒造り」など3題の成果報告と、「和食：日本人の伝統的な食文化」のユネスコ無形文化遺産への登録に貢献された株式会社菊の井代表取締役社長の村田吉弘氏から、「日本料理とは何か」と題した特別講演が行われました。

ポスター説明でも活発な質疑応答が行われ、研究所の成果をより詳しくお伝えする場となりました。



## 4 研究所で清酒造りを学ぶ

日本酒造組合中央会との共催で、第112回酒類醸造講習（清酒コース：5月15日～6月27日、清酒短期コース：5月15日～6月8日、短期製麹コース：8月27日～31日）を開催しました。当講習を修了された皆様の今後益々のご活躍を期待しています。



## 5 清酒の官能評価の専門家を目指して

清酒に関する官能評価の専門家を養成することを目的として、清酒官能評価セミナー（9月11日～14日）を開催しました。

当セミナーの修了者で、セミナー中に実施する試験に合格後、清酒の官能評価に関する経験を証明する申請書を提出し、基準を満たした方を「清酒専門評価者」として認定しています。

## 6 イベントへの出展

第11回一都三県蔵元との交流会（4月14日）や広島国税局主催のイベント「SAKE in 広島」（4月27日）に出展し、清酒の楽しみ方、清酒の造り方などについて来場の皆様からの質問にお答えしたほか、パンフレット類の配布などを行いました。



## 3 酒類製造技術の向上のために

日本酒造組合中央会との共催で、平成29酒造年度全国新酒鑑評会及び第41回本格焼酎・泡盛鑑評会を開催しました。

製造技術研究会は、5月30日及び6月26日に行い、会場には、酒



# お 知 ら せ

## 1 日本酒を海外に伝えるために

海外の消費者に日本酒を分かりやすく紹介するために、A5サイズのリーフレットを作成しました。現在、英語、韓国語、中国語（繁体字）、中国語（簡体字）の4言語を用意しています。海外の方への日本酒の説明にぜひご活用ください。詳細は、当研究所ホームページをご覧ください。

[https://www.nrib.go.jp/sake/sake\\_leaflet.htm](https://www.nrib.go.jp/sake/sake_leaflet.htm)

失することを防ぐための受託保存（バックアップ）や、黄麹菌・黒麹菌の受託DNA解析を行っています。詳細は、当研究所ホームページをご覧ください。

<https://www.nrib.go.jp/data/zyutakuhozon.htm>  
<https://www.nrib.go.jp/bun/kouzizyubun.htm>

## 2 清酒・焼酎の専門用語の標準的英語表現リスト ご意見募集中

清酒・焼酎を英語で説明する際に参考にしていただけるよう、専門用語の標準的英語表現リスト（Sake Terms, Shochu Terms）を作成しています。今後の改訂に当たり、利用者の皆様のご意見を反映させたいと考えておりますので、ご意見・ご要望などございましたらお寄せください。詳細は、当研究所ホームページをご覧ください。

清酒 [https://www.nrib.go.jp/info/st\\_info.htm](https://www.nrib.go.jp/info/st_info.htm)

焼酎 [https://www.nrib.go.jp/info/sht\\_info.htm](https://www.nrib.go.jp/info/sht_info.htm)

## 4 酒類総合研究所標準分析法注解が発売されました

当研究所では、酒税関連法規に関連する分析法だけでなく、酒類の製造管理や品質管理等に関する分析方法などを規定した「酒類総合研究所標準分析法」を作成しています。このたび、この解説書である「酒類総合研究所標準分析法注解（標準分析法注解編集委員会 編）」が、公益財団法人日本醸造協会より発売されました。詳細は、当研究所ホームページをご覧ください。

<https://www.nrib.go.jp/topics/nribtopi291108.htm>

## 5 皆さまのご意見をお寄せください

今後の誌面作成等の参考とするため、広報誌エヌリブに関するアンケートを実施しておりますのでご協力のほどよろしくお願い申し上げます。詳細は当研究所ホームページをご覧ください。

<https://www.nrib.go.jp/sake/sakeinfo.htm#kouhou>

## 3 お酒造りに必要な微生物を守るために

当研究所では、公設試験研究機関、酒造組合、酒類製造業者等の皆様が所有する麹菌や酵母などの酒類醸造微生物リソースが災害等によって亡

### 発行 独立行政法人酒類総合研究所

National Research Institute of Brewing (NRIB)  
 ホームページ <https://www.nrib.go.jp/>  
 〒739-0046 広島県東広島市鏡山 3-7-1  
 TEL: 082-420-0800(代表)

◆「エヌリブ」は当研究所ホームページからご覧になれます。  
<https://www.nrib.go.jp/sake/sakeinfo.htm#kouhou>

◆本誌に関する問合せは、広報・産業技術支援部門までお願いします。  
 なお、ご意見やご感想もお寄せください。

TEL: 082-420-0840  
 メール: [info@nrib.go.jp](mailto:info@nrib.go.jp)  
 (山根、重田、藤井)