岡山大学寄付講座　微生物インダストリー講座シンポジウム レポート〈前編〉

麹菌の固体培養で未利用素材をアップサイクル！SDGs時代の新たなものづくりの可能性とは

岡山大学微生物インダストリー講座は11月10日、おかやま未来ホール（イオンモール岡山5F）で、「SDGs時代の『麹菌×固体培養』を活かした新たなものづくり－発酵食品からアップサイクルまで－」と題したシンポジウムを開催しました（共催：株式会社フジワラテクノアート）。昨年2022年にスタートした株式会社フジワラテクノアートによる寄付講座「微生物インダストリー講座」では、地域の未利用素材を原料に、麹菌の固体培養技術で有用素材や機能性のある食品・化粧品素材を開発することを目指しています。これまでの成果として、同社の固体培養装置を用いた試験によってオリーブの葉やワインパミス、タイの有色米などの成分変化を確認しており、昨年の講座開設記念シンポジウム以降、様々な分野の企業から関心が寄せられています。今回のシンポジウムのテーマは、“古くて新しいフードテック”ともいうべき「麹菌の固体培養」と、SDGsの観点からも注目を集めている「アップサイクル」。3人の登壇者による講演と総合討論のもようをレポートします。

【那須学長】
シンポジウム冒頭で岡山大学の那須保友学長は、ビデオメッセージにて次のとおりあいさつしました。

「岡山大学微生物インダストリー講座は、日本の強みである微生物発酵技術を、醸造分野から食料生産分野、バイオ素材生産分野へと応用・進化させるため、株式会社フジワラテクノアートからのご寄付により設立された講座です。

今回は、麹菌の固体培養についての理解をさらに深めるとともに、**SDGs時代のものづくり**や**アップサイクルの取り組み**について、**固体培養を切り口に討論**します。

『アップサイクル』とは、**捨てられるはずだった廃棄物に付加価値を持たせることで、新たな製品にアップグレードして生まれ変わらせる**という意味を持ちます。私はこの言葉に初めて接し、目から鱗が落ちる思いでした。**新たな価値創造**という観点から、大きなポテンシャルを感じております。SDGs推進研究大学である岡山大学の学長としても、大変興味のあるテーマです。

本日ご参加いただきました皆様におかれましては、ぜひ本領域への理解を深めていただければ幸いです。」

【藤原副社長】
続いて、株式会社フジワラテクノアートの藤原加奈代表取締役副社長があいさつしました。

「昨年の講座開設記念シンポジウムには400名、今回は**550人もの方々に聴講いただいており、発酵技術への注目度**が伝わって参りました。日本が1000年近くにわたり育んできた技術に、**醸造業界だけでなく他の業界からも、さらには国内のみならず海外からも注目**いただいております。

本日は、**遺伝子の話題**から、**機能性に注目した開発**、さらには**『発酵×アップサイクル』に関するマーケット**まで、色々な切り口でご講演いただきます。伝統ある業界に新たな方々が参入され、今後**共創によって多くのイノベーションが起きる**ことと期待しております。」

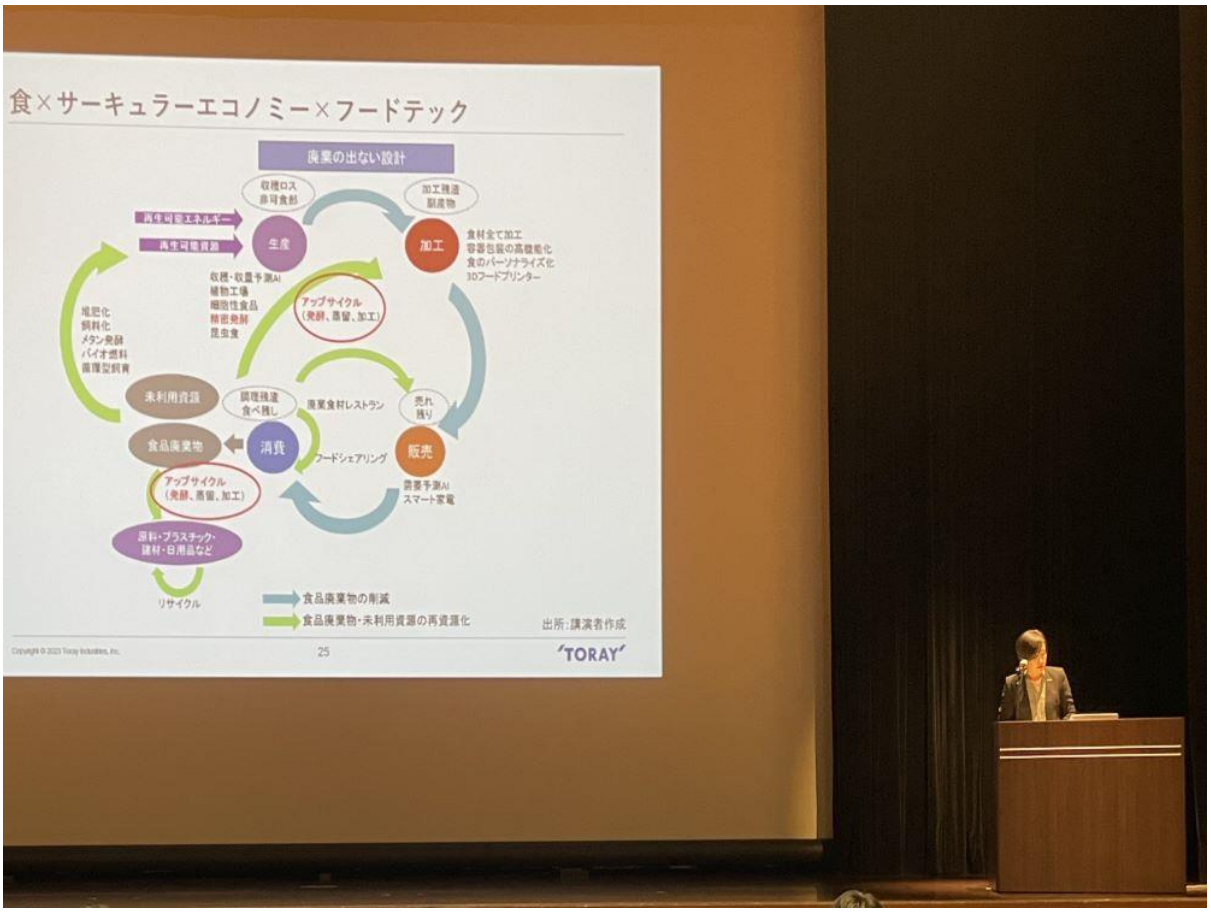
サーキュラーエコノミーのカギは日本の伝統的なフードテック「発酵」にあり

最初の登壇者は、株式会社東レ経営研究所の産業経済調査部シニアアナリスト 川野茉莉子氏。**「発酵×アップサイクル：フードテックによる持続可能なイノベーション」**をテーマに講演いただきました。

世界のフードシステム（食品の生産から加工・流通、消費に至るサプライチェーンにおける人・モノの流れ）は現在、**付加価値よりも各種コストが上回っており、約2兆ドルの赤字**と言われています。また、世界人口の拡大や経済発展にともない、**食への需要は量と質の両面でニーズが多様化**しています。

こうした食をめぐる課題解決法として、**フードテック**への期待が高まるとともに、その**市場規模も拡大**しており、中でも**食品廃棄物の再資源化やアップサイクル**は、**持続可能な食糧システムの確立**という観点から特に注目されています。

※フードテック：IoT、AI、ロボット、バイオテクノロジーなどの技術を融合させたフードサプライチェーン（食品の生産から製造、加工、物流、調理、廃棄物管理に至る一連の過程）におけるイノベーション。経済産業省における定義は「生産から加工、流通、消費等へとつながる食分野の新しい技術及びその技術を活用したビジネスモデル」とされている。



【川野氏1】
フードテックは、新たな経済概念であるサーキュラ―エコノミーの実現に力を発揮します。従来型の経済概念であるリニアエコノミーは、原材料の利用から廃棄までが一方通行で、資源、キャパシティ、ライフサイクル価値、潜在価値の無駄が生じていました。これに対して**サーキュラーエコノミー**は、**バイオマスなどの再生可能資源やリサイクル可能な資源をベースに、可能な限り廃棄を出さずに製品や材料を使い続ける**という概念です。

日本の食品廃棄物は年間約2400万トン、農作物非可食部は1200万トン発生しており、それぞれ現在の利用率は58%と31%にとどまっています。食品産業におけるリサイクルの現状を見ると、食品製造業では74%が主に飼料や肥料などの農用途として再生利用されている一方で、小売では61%、外食では77%が廃棄されています。こうした廃棄の現状を背景に、**未利用資源や食品廃棄物を削減し、再資源化し、食領域全体を循環（食領域でのサーキュラーエコノミー）させるべく、フードテックに注目**が集まっているのです。

アップサイクルは、**未利用資源の再資源化の一形態**です。**捨てられるはずの廃棄物を高付加価値製品へとアップグレードすること**を意味するため、「創造的な再利用」とも言われます。米国の調査

会社の試算によると、**食品廃棄物を原材料として食品や化粧品などの高付加価値製品にアップサイクルする市場は、2022年時点で2.8億ドル、2032年にも5.1億ドルへと成長する見込み**です。

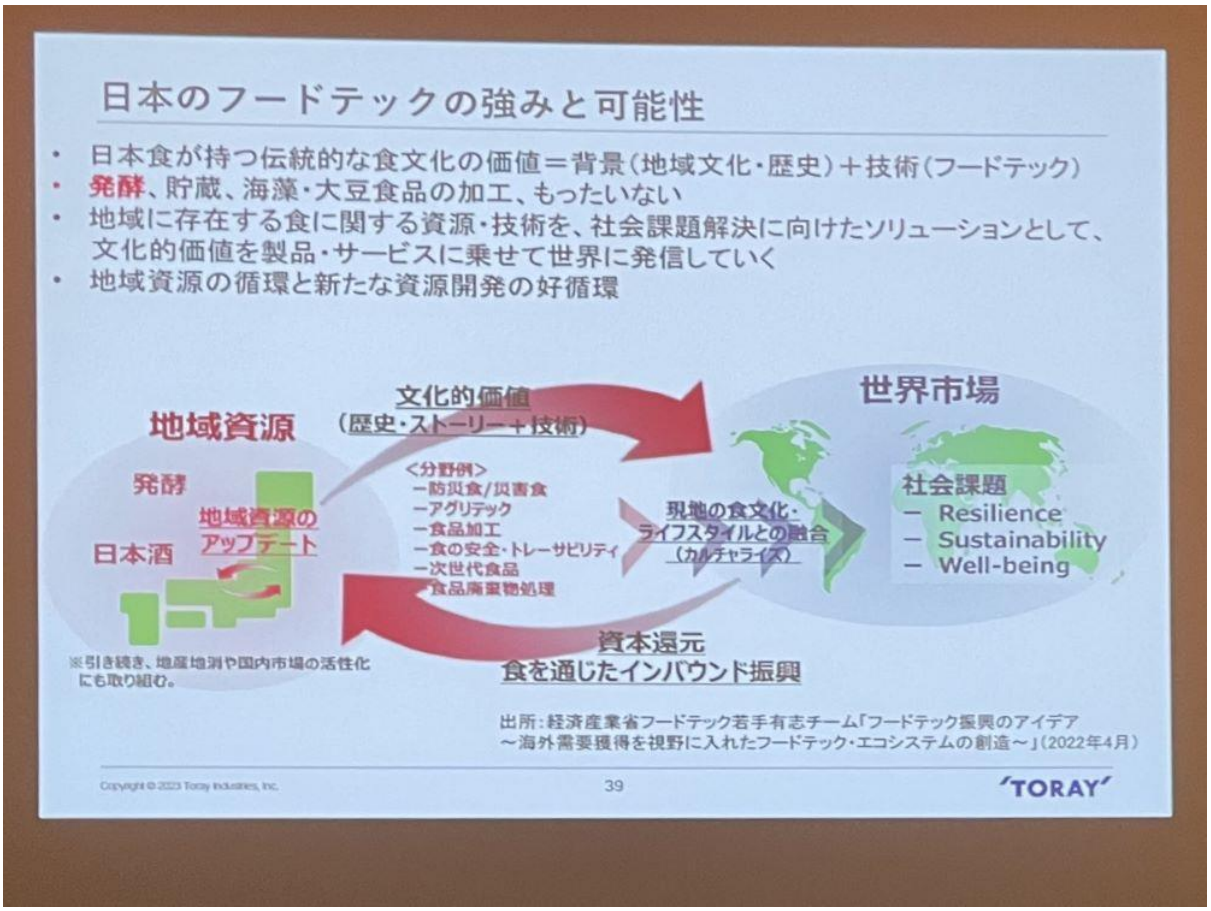
川野氏は、「食品のアップサイクルの事例」として、次の4つを紹介しました。

- クラストジャパン：売れ残りのパンや製造過程で発生したパンくずを用いてクラフトビールを製造。コーヒーやカカオの殻などを用いてノンアルコール飲料を製造。
- 三和酒類：焼酎かすから作られる発酵大豆エキスを用いて乳酸菌発酵させた高純度ギャバを製造。
- アサヒグループ：廃棄コーヒー豆やパンのみみを原材料にクラフトビールを製造。ビールかすを原料にグラノーラを製造。コーヒーかすとプラスチック端材を組み合わせてエコカップを製造。ビール製造過程で抽出されるホップ精油を原材料にアロマミストを製造。食品のみならず容器や日用品へとアップサイクルしている点が特徴的。
- エシカルスピリッツ：酒かすと麹を発酵させて蒸留したり、売れ残ったビールなどを再蒸留したりすることで、クラフトジンを製造。カカオハスクやコーヒーかすなどを、ジンの香りづけに活用。パッケージやデザインで高付加価値化を図っている点が特徴的。

これらの事例のように、**未利用資源や食品副産物を有用素材や高付加価値製品へと変換するアップサイクルに、サーキュラーエコノミーの視点、そして微生物や発酵、広くは昆虫や藻類などを含むバイオ技術を掛け合わせることで、新たな価値を創造できます。**

一方で、次のような課題も残されています。

- **生産、流通、在庫管理にコストがかかる**：そのまま廃棄する場合と比べて食品廃棄物の鮮度や温度の管理にコストがかかるうえ、有用資源を質と量ともに安定的に調達する難しさがある。
- **市場が未成熟**：消費者のサステナビリティ意識を高め、人や環境に配慮した消費行動「エシカル消費」を促すには、価格に限られないメリットや社会や環境に対するメリットを明示し、品質や機能を高める必要がある。当該商品を買うことで貢献できる社会課題を正しく伝えることも重要。**企業や開発者が製品に対するストーリーや世界観を発信することで、消費者の共感を呼ぶ**ことが求められる。



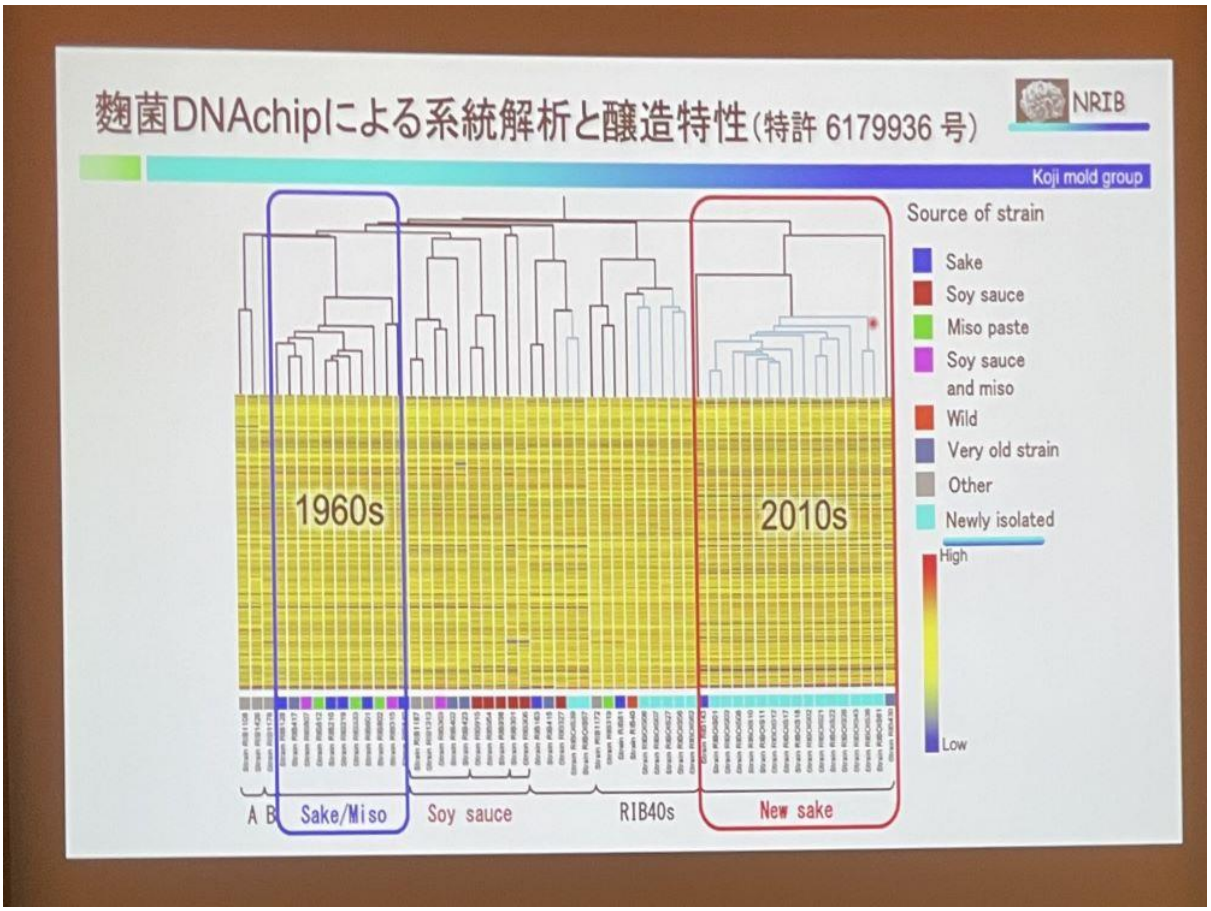
【川野氏2】
川野氏は、日本のフードテックの強みは「地域に根付いた文化や歴史に、発酵や独自の貯蔵方法などの技術が融合していること」と指摘します。また、海藻や大豆食品といった日本ならではの食材と加工技術、そして「もったいない」精神などの文化的価値も、社会課題に対するソリューションとして製品・サービスに投影できると言います。

とりわけ、**一次産業が盛んな地方には、活用可能な未利用資源や副産物が豊富**にあります。また、**伝統的な醸造や発酵の歴史・技術**も受け継がれています。地域の未利用資源を、伝統的な食文化や技術によって高付加価値化し、新たな製品・サービスに乗せて発信していくことで、地域資源の循環と新たな資源開発の好循環が生まれます。

最後に川野氏は、新たな市場の開拓や若い世代への訴求効果、地域ビジネスの活性化、そしてサーキュラーエコノミーへの貢献など、アップサイクルの持つ可能性に期待を寄せ、講演を終えました。

メタボローム解析による「日本酒醸造ビッグデータ」の現在地

続いて登壇したのは、独立行政法人酒類総合研究所の成分解析研究部門長 岩下和裕氏。「麹菌群のゲノム研究と日本酒醸造のDX化への新展開」をテーマに講演いただきました。



【岩下氏1】
岩下氏のグループでは、**麹菌群パンゲノム解析**による**麹菌総合ゲノムデータベース(CAoGD)のアップデート**に取り組んでいます。同グループは、麹菌群パンゲノム解析によって**麹菌では最大の系統樹を書くことに成功**し、**新たに8つの系統を発見。**麹菌ゲノムシーケンスの精度を高め、少なくとも各系統から1株ずつギャップクローズした**完全長ゲノムシーケンスを獲得**しています。また、アフラトキシン合成遺伝子クラスターのサブグループを発見するなど、**醸造関連で重要とされている遺伝子の比較解析**を行っています。

現在データベースには、最初にゲノムシーケンスされたRIB40の3バージョンに、RIB128、RIB915、RIBOIS01など10株を加えた**全19株のマッピングデータ**が掲載され、次のような情報を閲覧できます。

- ゲノム上、コンティグ上の遺伝子の位置や配列の取得
- パラログ、オルソログの情報検索
- 麹菌株間のIn/DelやSNPs情報
- 遺伝子破壊株のフェノタイプ情報
- 麹菌DNAchipによる進化系統情報
- 麹菌DNSchipによる発現情報
- タンパク質情報:アミノ酸配列取得、ドメイン解析、ECナンバー、BLAST解析、局在性予測など

- エキソン・イントロン情報、mRNA配列の取得

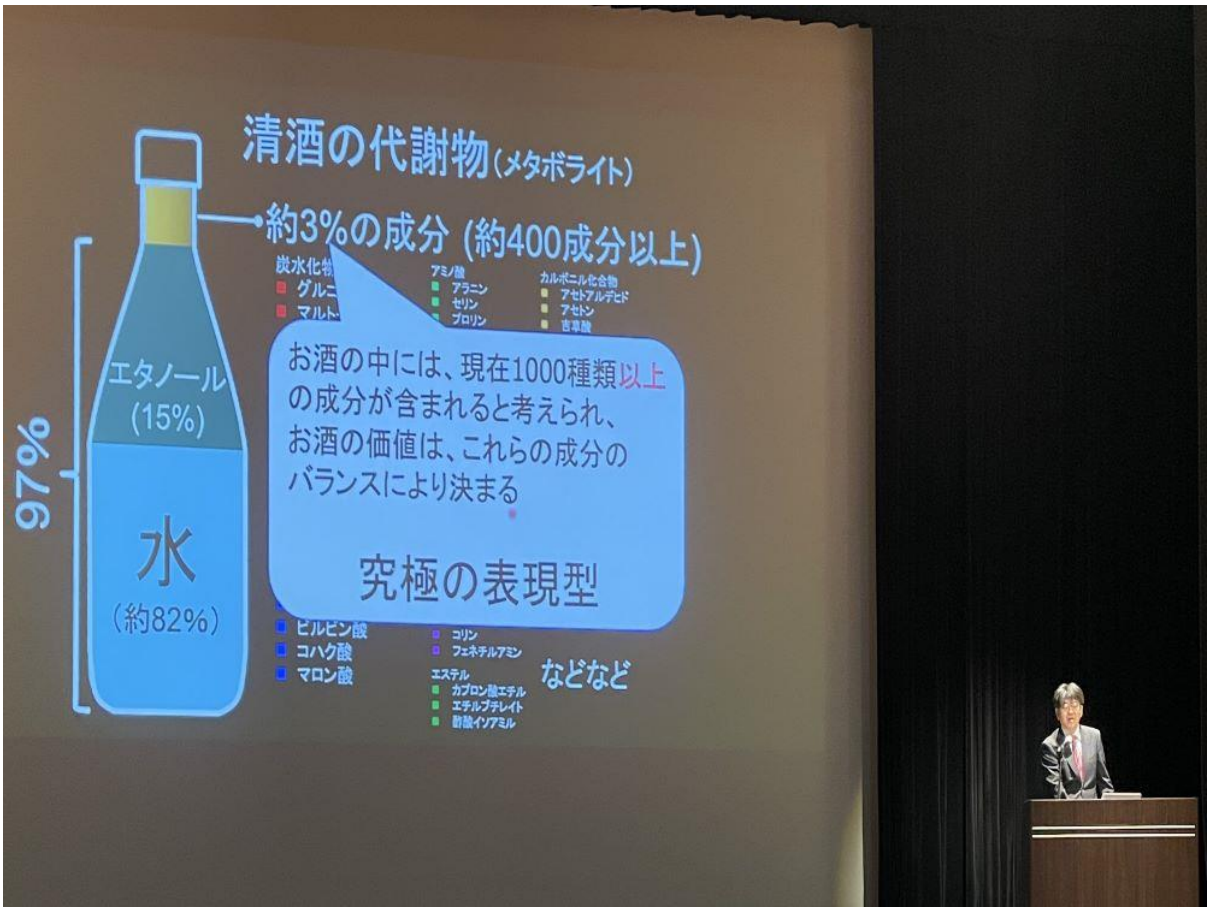
岩下氏のグループでは、**モロミックス研究と日本酒醸造ビッグデータ**作成にも取り組んでいます。

醸造の研究には、通常、長い時間を要します。例えば、大吟醸のリンゴのような香りのもととなる成分「カプロン酸エチル」が発見されたのが1966年、その製造プロセスが明らかになったのが1986年と、20年を要しました。さらに、これを生成する酵母を取得できたのが約5年後の1991年、最終的に「きょうかい1801号酵母」が発表されるまでさらに15年かかっています。同様のことが、酒米の開発にも当てはまります。

このように醸造研究に長い期間を要する要因として、岩下氏は「きき酒が重要な判断基準となっているため」と指摘します。すなわち、**感覚として個人に蓄積された属人的な情報が判断基準となっているため、理化学的な逆算ができず、試行錯誤を繰り返さざるを得ないことが、醸造研究のボトルネックになっている**のです。

清酒の醸造プロセスでは、麹菌がタンパク質になり、米を溶解させ、酵母がアルコール発酵させたり香りを生成したりします。そして、ゲノムやタンパク質レベルでの様々な作用が、もろみ中の成分1つひとつの変化となって蓄積されます。

お酒は97%が水とエタノールでできていますが、残り約3%の代謝物（メタボライト）に400以上の成分が含まれています。**清酒の醸造プロセスは、最終的にもろみ中に蓄積したメタボロームによって表現される**のです。**この3%の成分をいかに管理できるかが酒造りにおける究極の表現型**だと考えると、**メタボローム解析のシステム**が有用です。現在すでに、30分で339の成分を検出・比較解析できるシステムが立ち上がっています。



【岩下氏2】

清酒の成分には、原料米、精米歩合、酵母、発酵温度・期間など、様々な醸造条件の組み合わせが影響します。**メタボローム解析では、どの成分がどの醸造条件に影響を受けているかを分析して記録します。**このため、醸造条件を変えたもろみを作り、データベース化することで、**醸造条件とメタボロームを記録した「日本酒醸造ビッグデータ」を構築**できます。いわ**ば杜氏の経験をデジタル化して記録できる**ことになります。

メタボローム解析は、**酒米の育種・開発にも活用**できます。酒米の開発には、発酵特性や酒質を見るまでに通常8年から10年を要します。そのうえ、例えば1000株から選抜しようとすると東京ドーム約13個分の土地が必要となり、精米設備、発酵設備も要ることを踏まえると、約23億円もの費用がかかります。

一方、例えば1000株から選抜するときに玄米1gで醸造特性を判定できるとしたら、苗1株×1000ポット、テニスコート半分以下の広さの土地で栽培できます。そして、**1gの米があれば、メタボローム解析によって、デンプン構造、プロテインボディ、米粒構造(心白など)、ミネラルといった成分を予測**できてしまいます。

また、玄米の**メタボロームによる醸造特性予測は、新米ができてから醸造繁忙期に入るまでの間に完了**できます。これまでは実際に酒造りに入って初めて新米の使い心地を確認しながら調整していたわけですが、**メタボロームによる醸造特性予測を行うと、酒造りに入る前から製造方法の調整ができる**のです。

岩下氏のグループでは、苦みを軽減した麹の開発、きき酒データとの融合、精米品質の解析など、日本酒醸造ビッグデータのアプリケーションを展開しています。同氏は、日本酒醸造ビッグデータが

杜氏の経験を超える「醸造シンギュラリティ（技術的特異点）」の可能性を示唆して、講演を締めくくりました。

黄麹菌で初の機能性表食品「あまさけ」を開発した八海醸造、麹甘酒研究から麹菌の機能性に迫る！

シンポジウム前半の締めくくりには、八海醸造株式会社の倉橋敦 取締役製造部長が登壇。「日本伝統甘味飲料麹甘酒の魅力－麹菌の食品機能の可能性－」と題して、同社がこれまで行ってきた麹甘酒の研究結果について解説されました。

【倉橋氏1】
2009年に麹甘酒「あまさけ」の製造を開始した同社は、甘酒ブームのピーク時には年間442万本（1本825g）、2022年現在で322万本（同）を売り上げる甘酒トップメーカーのひとつです。

同社の甘酒「あまさけ」のユーザーからは、「お通じが改善しました」「肌が整うようになりました」「化粧ののりがよくなりました」「髪のツヤが増しました」といった嬉しい声が届くと同時に、「とても甘いので太りませんか」「血糖値への影響が心配です」といった懸念の声も届いていました。麹甘酒研究は、これらの声に科学的に応えるためにスタートしました。

同社はまず「あまさけ」の成分分析に着手しました。その結果、次のような成分が判明しました。

・**全体の23%程度がグルコース**（3%程度の多様なグルコオリゴ糖を含む）。

・**必須アミノ酸を含む20種類のアミノ酸**がすべて含まれる（50%は総アミノ酸のうち吸収しやすい遊離アミノ酸）。

・多くの**ビタミンB**が含まれる。

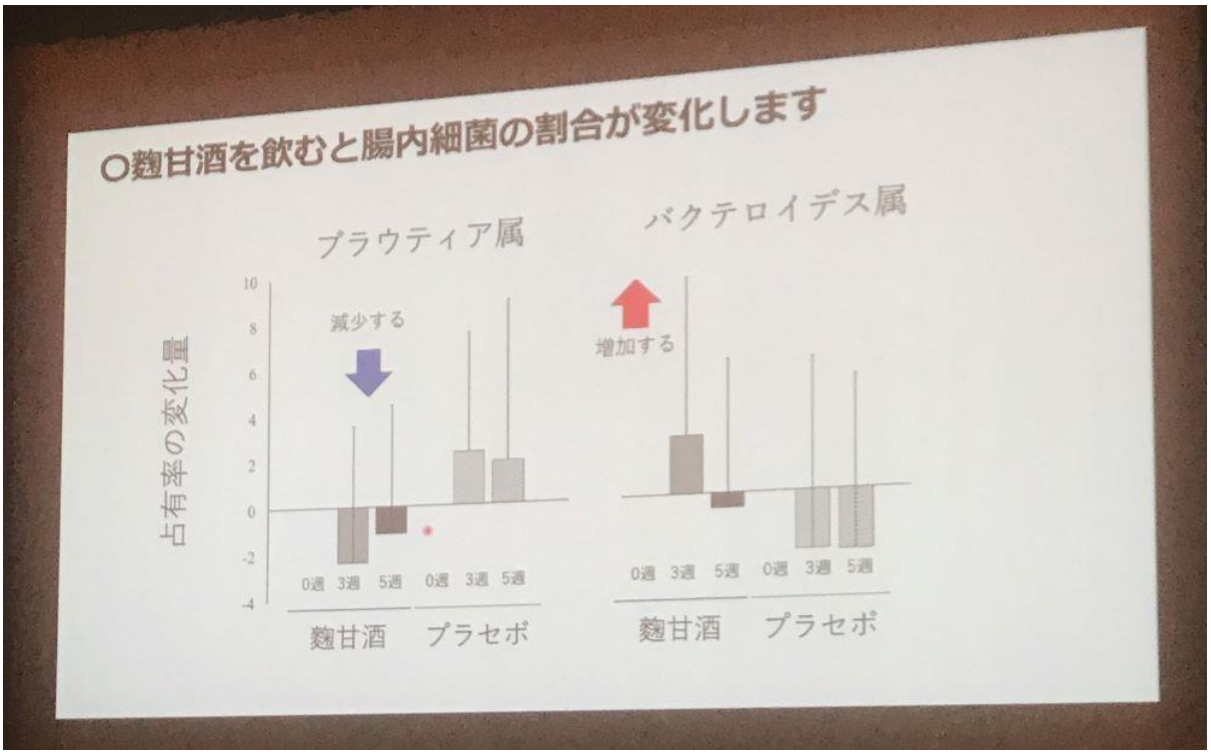
次に、安全性を確認するために、過剰摂取試験と長期摂取試験を行いました。

過剰摂取試験では、血糖値高めの男女24人のボランティアが、毎日「あまさけ」の小ボトル（1本118g）を3本一気に飲むことを1カ月間継続しました。その結果、副作用や有害事象はなく、体重や体脂肪率、BMIの変化もありませんでした。

長期摂取試験では、血糖値高めの男女22人のボランティアが、毎日「あまさけ」の小ボトル1本を4ヵ月間飲み続けました。ここでも、副作用や有害事象はなく、体重とBMIの変化もありませんでした。体脂肪率については、減少傾向が見られました。

同社の研究では、プラセボとして、見た目と味を甘酒に似せた米糖化液を使っています。「あまさけ」とプラセボは、エネルギー、タンパク質、脂質、炭水化物の含有量はほぼ同じですが、「あまさけ」にだけ麹菌が含まれます。

プラセボを用いた実験では、18人のボランティアを、「あまさけ」118gを飲むグループ、同39g飲むグループ、プラセボ118gを飲むグループに分け、3期にわたり各グループが全種類摂取する3分3期クロスオーバー試験を実施しました。その結果、**「あまさけ」には食後血糖・インスリン上昇を抑制する有効成分が含まれる**ことが分かりました。



【倉橋氏2】
便通改善の効果検証では、**「あまさけ」の飲用開始直後から便通が改善**し、飲用をやめた3週目以降は便通が元に戻ってしまうことを確認しました。一方、プラセボではそのような変化は起こりませんでした。この実験では、**「あまさけ」を摂取した腸内ではブラウティア属という腸内細菌が減少し、バクテロイデス属という腸内細菌が増加する**ことも分かりました。麹菌が腸内細菌叢に何かしらの影響を与えているようです。

肌の保湿に関する効果検証では、**冬の乾燥する時期に8週間にわたり「あまさけ」を毎日118g摂取したところ、プラセボでは肌水分量が減少するのに対して、「あまさけ」では水分量が維持され**ました。

同社は、これらの検証結果と既報の論文から、**麹菌の細胞壁に含まれるキチングルカン複合体が便通改善に効いており、細胞膜に含まれるグルコシルセラミドが肌の保湿に効いている**と考察しました。

さらには、これらのデータと考察を根拠に、「あまさけ」の機能性食品表示を申請し、**黄麹菌で初めての機能性表示食品**としての発売が決定。2024年3月には、パッケージに「肌の潤いを守るのを助ける」「腸内環境を整え便通を改善する」を表示してリニューアル発売する予定です。

機能性表示食品の申請の際には、菌株の定性解析が求められます。倉橋氏は、「酒類総合研究所で収集・蓄積されたデータを、当社のような産業界でも活用させていただいている」と、産学連携の一端にも触れました。

同社による麹甘酒のデータによると、麹甘酒がマウスの樹状細胞に作用して免疫性サイトカインを誘導することも判明しました。また、新潟大学との共同研究では、米麹がマウスの心理・身体的ストレスを軽減するという結果も出ています。

倉橋氏は、「**麹菌が生成する酵素や機能性成分が脚光を浴びてきましたが、麹菌そのものにも大きなポテンシャル**を感じている」と語り、「引き続き、麹甘酒、米麹、そして麹菌の機能性に関する研究を進め、論文を書いていきたい」と熱を込めました。

〈レポートの後編では、総合討論のもようをお届けします。〉