Network Now
石川県立大学｜産学官ネットワークナウ
VOL.34
2025.2.26 発行

特集

小豆×麹発酵×乳酸菌発酵の技術開発で新たな挑戦

株式会社越山商店
越山甘清堂・
AZUKI de HAKKO研究所
代表取締役社長
徳山 康彦 氏

食品科学科
教授　関口 光広
准教授　小柳 喬

CONTENTS

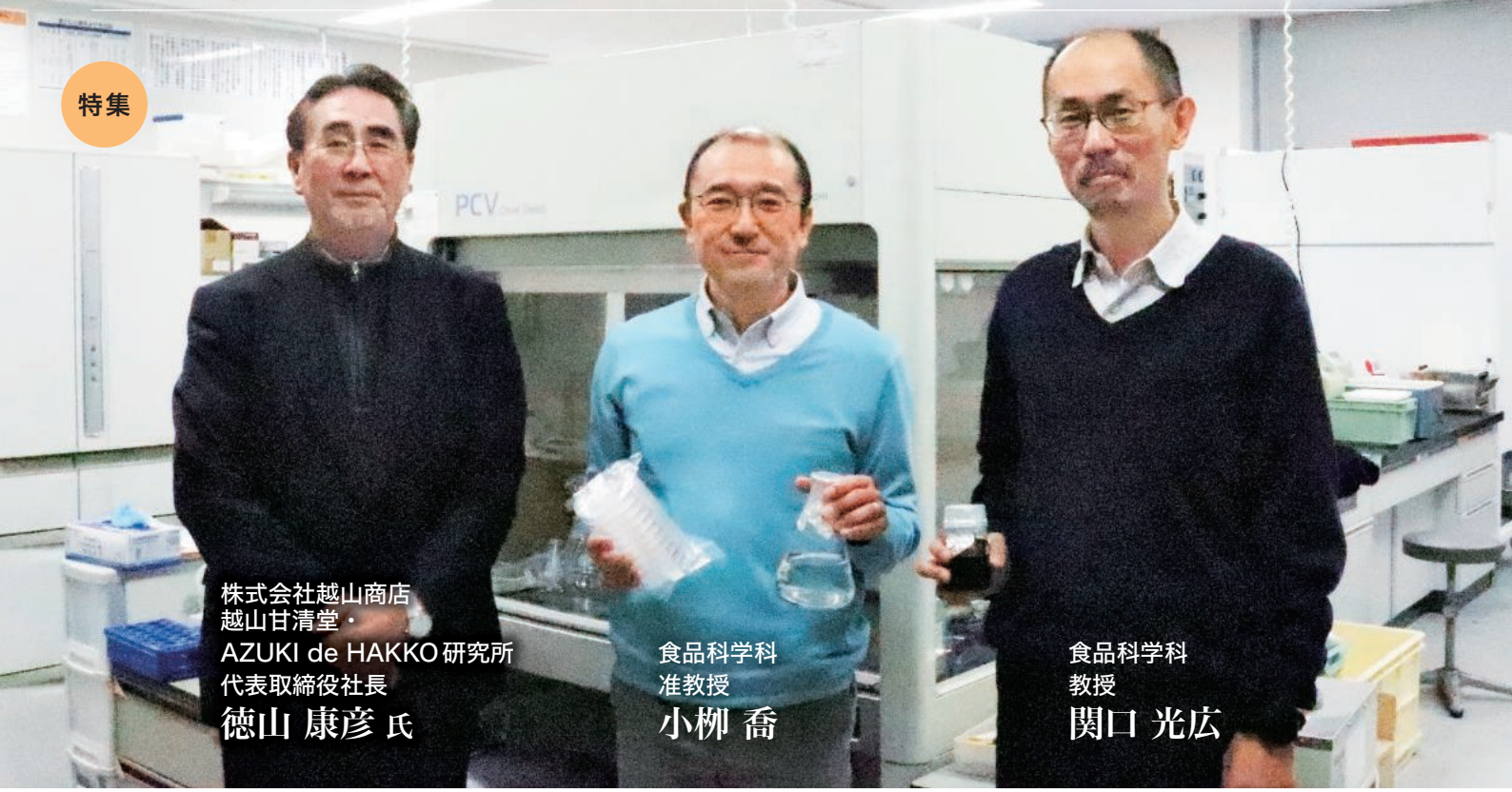
4 ｜ 研究紹介
組織工学の食品科学への応用
食品科学科・食品加工学研究室　准教授　古澤 和也

食品に含まれるビタミンB12化合物の分析
食品科学科・食品化学研究室　助教　小関 喬平

6 ｜ CLOSE-UP
生活習慣病予防や腸の健康に役立つ食品素材を研究
食品科学科　教授　松本 健司

7 ｜ 活動報告 2024年奥能登豪雨による被災地支援のボランティアレポート 文科省の「スタートアップ・エコシステム共創プログラム」北陸3県のTeSH

8 ｜ 令和６年度 石川県立大学「シーズ発表会」＆産学連携インキュベータ「i-BIRDセミナー」



小豆×麹発酵×乳酸菌発酵の技術開発で新たな挑戦

明治21年に創業した金沢きっての老舗和菓子店「越山甘清堂」。定番の饅頭や餅、婚礼の際の五色生菓子のほか地元食材を使ったオリジナル菓子など、金沢の四季と風土をさまざまな菓子で彩ってきました。そして5年ほど前から取り組んでいるのが小豆を発酵させて作る「小豆麹（あずきこうじ）」の新プロジェクト。石川県立大学との共同研究として、食品科学科から成分分析の専門家として関口光広教授、発酵食品に詳しい小柳喬准教授が参加しています。今回はプロジェクトの経緯や進捗を振り返りました。

老舗の知恵と経験で伝えられていた栄養価 成分分析で高い抗酸化作用を裏付け

関口教授●共同研究のきっかけは、徳山社長から和菓子に使う小豆を麹発酵させて商品を試作したら、抗酸化作用が強く出たとのお話で、詳しい成分分析のご依頼をいただいたことでしたね。

徳山氏●はい、麹は酒饅頭を作るための濁酒の材料としてずっと身近にありましたが、それ以外の目的を考えたことはありませんでした。しかし、コロナ禍で少し時間ができ、菓子屋として積み上げ、受け継いできた経験や知識を総動員して新しいことに挑戦してみようと思い立ちました。菓子屋ならではの材料をいくつか掛け合わせているうちに、先人の知恵というのでしょうか、小豆やインゲン豆の煮汁には高い栄養価があると言われていたことを思い出しました。それをベースに試したところ、小豆と酒饅頭用の麹を合わせると思いがけずおいしい「小豆麹」が出来上がったんですね。

関口教授●「先人の知恵」は、本当にその通りでしたね。「小豆麹」の材料となる小豆の煮汁や豆の皮を調べたところ、おっしゃる通り高い抗酸化作用を確認。御社で製造する通常のあんこに比べて、小豆麹は約3～7倍多い数値を示しました。特に煮汁での上昇率が高く、御社は小豆の煮汁と発酵を組み合わせる技法で取り組んでいらっしゃるので、商品開発ではより高い効果や付加価値が期待できるのではないかと思いました。また、小豆と発酵技術の相性が良いのであれば、乳酸菌と組み合わせても面白いのでは？ ということで、本学の小柳先生をご紹介したんですよね。

小柳准教授●最初に「小豆を発酵させる」というお話をうかがった時は、新しい発酵食品に出合ったような衝撃を受けました。小豆も豆の一種。一般的に豆と麹菌で作るといえば「味噌」ですが、それとはまったく異なる新しい発想だなと。良い研究ができそうだとわくわくしながら、大学に何百株とストックしている菌株から小豆麹に合いそうな乳酸菌の菌種7、8種をピックアップしてご提案しました。

小豆麹で作られた「発酵ようかん美甘」。小豆能登塩、能登紅はるか、濃茶、生いちじくの4種がある

ジャムの代わりにあんスプレッドを塗って

小豆麹を使用した「発酵あんスプレッド」

小豆の発酵に使用したのは、越山甘清堂の看板商品の酒饅頭「焼きまん」の材料として、自社で仕込んでいた濁酒の麹菌

2025年2月下旬発売の「発酵 あずきドリンク」。小豆麹を使用した初めての飲料商品

乳酸菌発酵では、奥能登の「あじのなれずし」から採取した乳酸菌と小豆との相性が良いことがわかった

奥能登の「あじのなれずし」の乳酸菌 小豆麹と好相性

徳山氏●乳酸菌は糖を栄養にして酸を出すということですから、味に爽やかさをプラスしてくれるのが素晴らしいですよ。乳酸菌を入れて新しい味が生まれ、成分値も変化する。しかも自然発酵なので、食品としても安心です。小豆の煮汁を麹発酵させた「発酵液」にご提案いただいた乳酸菌を入れ、時間を変えながら相性の良い菌を探してみたところ、２種類に絞られました。

小柳准教授●いずれも、奥能登のあじのなれずしから採取した異なる乳酸菌です。ほかには、ぬか漬けの乳酸菌などもご紹介しましたが、マッチするものがあり、ほっとしています。

徳山氏●最初にお聞きした時、なれずしや漬物の味がするあんこになっていたら大変だ！と思いながらも、結果が非常に楽しみでした。実際に食べてみるとおいしくて、米酢のツンとする酸味とは異なる乳酸菌独特のまろやかな酸味、ほんわりとした酸っぱみは優しい感じがしましたね。

小柳准教授●ありがとうございます。絞られた２種類のうち、どちらがより効果的なのか、これからまた実験や試作を重ねていくのが非常に楽しみですね。また、乳酸菌発酵と小豆の相性の良さにも驚きました。中には1mℓあたりの乳酸菌が約1000億匹増えたものも。私の実験室で培地に使おうかと思ったほどです。（笑）

2022年に金沢市内で開かれた試食会の様子

健康飲料、スポーツ、美容… 新技術で広がる夢

徳山氏●「発酵」は生きているものを扱うので、知識がないままに商品開発を行うのは怖さがあると経験的に感じていました。自社で濁酒を仕込む時も変異しないように細心の注意を払っています。でも今回、このように専門家の先生方に理屈や理論を教えていただき、サポートしていただけて非常に心強いです。この共同研究の成果で得た小豆麹の技術を当社の新ブランド「AZUKI de HAKKO」の看板の下、お菓子だけでなく乳酸発酵の飲料や、時間はかかるかもしれませんが美容製品など、さまざまな分野に生かせないだろうかと考えています。

関口教授●こちらこそ、研究の成果を商品の付加価値として発信していただけることが励みになっています。私の研究では、小豆麹には抗酸化作用に加えて、アミノ酸値も高く検出しました。原材料の小豆は糖質も多く、小豆麹は麹菌で自然発酵させた天然もの。身体にかなり良いと考えられます。スポーツ分野でも御社の小豆麹を使った新しい商品開発が期待できそうですね。分析機器も年々進化しています。これからも小豆麹に秘められたさまざまな成分や効果を見出すお手伝いができたらうれしいです。

小柳准教授●私も小豆と乳酸菌を掛け合わせる今回の技術と向き合うことが、「発酵」を新しい視点でとらえる良い経験になっています。この発見や驚きを学生たちにも伝え、発想を膨らませたり新しい視点でものごとを見る上での一つの糧にできたらいいなと思います。スポーツ分野での商品開発、私も楽しみです。長い歴史の中で積み重ねられた越山さんの技術と知恵があり、関口先生の栄養成分分析、私が乳酸菌発酵の部分をサポートさせていただく。その３者が力を合わせて素敵な商品が出来上がり、マラソンのゴールテープを一緒に切る日を夢見ています。

組織工学の食品科学への応用

食品科学科・
食品加工学研究室
准教授
古澤和也

細胞を操作して立体組織を作る組織工学

私たちの体は、細胞と細胞の外側の物質である細胞外基質で作られています。 細胞外基質とは、コラーゲンなどの生体高分子からなるゲル状物質です。 細胞は細胞外基質の中に埋め込まれたり、細胞外基質の表面を覆うように接着したりすることで、生体組織を作っています。 私たちの体を作る細胞と材料を組み合わせて人工的に生体組織を作る研究領域のことを組織工学と呼びます。もともとは損傷した臓器や器官を治療するための移植組織を作ることを目的としていた組織工学ですが、近年では医薬品のモデル実験系の構築や、培養肉などの細胞性食品、そして細胞を部品に用いたバイオロボットなど様々な分野で組織工学の技術が応用されています。

組織工学を支える足場材料の開発

組織工学では細胞と足場材料を組み合わせて生体組織（再生組織）を構築します。 足場材料の原料や物性は当然細胞の特性に影響を及ぼします。 私たちの体を作る組織の細胞外基質は、多くの場合コラーゲンを主体とした素材で作られているので、コラーゲンは足場材料として最も汎用的に利用可能な足場材料となります。そのためウシやブタの表皮などから抽出されたコラーゲンがpH3.0くらいの酸性水溶液の形態で市販されています。コラーゲン水溶液を4℃くらいに冷却した状態で中性（pH7.4）に中和してから温めると、均一なコラーゲンゲルを作ることができます。 一方で、このコラーゲン水溶液を特定の組成の中性緩衝液中に室温で透析すると、一定方向に多管構造が伸長したコラーゲンゲル（マルチチャネルコラーゲンゲル：MCCG）を作ることができます（図 1）。MCCGは骨格筋や緻密骨、肝小葉など様々な生体組織の細胞外基質の形態をよく再現しています。

組織工学技術の食品科学への応用

上述のように、MCCGは骨格筋の細胞外基質である筋周膜の形態をよく再現しています。そこで、ニワトリ胚由来の筋芽細胞をMCCGの多管構造内腔に播種（はしゅ）し、筋管細胞へと分化誘導させて再生筋組織を構築したところ、実際の骨格筋と同様に筋細胞がコラーゲンゲル基質で結束された組織形態を再現することができました（図2）。また、この再生筋組織に電気刺激を与えると、実際の骨格筋のように筋収縮を引き起こすことも確認できています。 骨格筋の組織形態を再現した再生筋組織の構築技術は、食肉の食感を再現した培養肉の実現に役立つと期待できます。またこのことは、細胞培養技術が食品加工技術として応用可能であることも示唆しています。

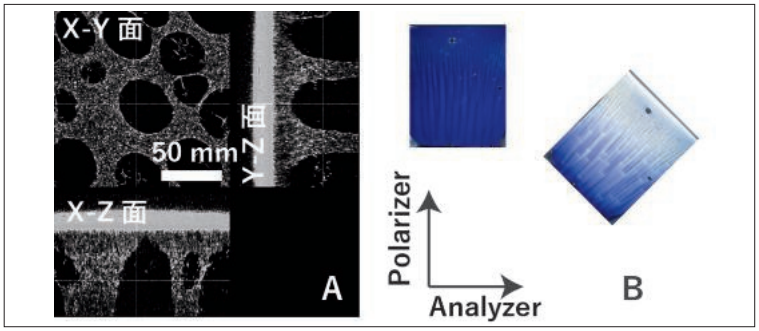


図1　A：多管構造を持つコラーゲンゲル（MCCG）の共焦点レーザー顕微鏡像
B：MCCGの複屈折

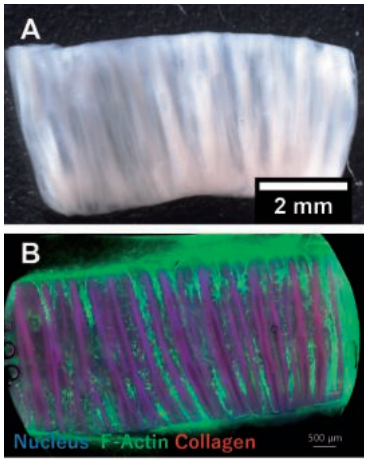


図2　A：MCCGを用いて構築した培養鶏肉の実体顕微鏡像とB：蛍光顕微鏡像

食品に含まれるビタミンB_{12}化合物の分析

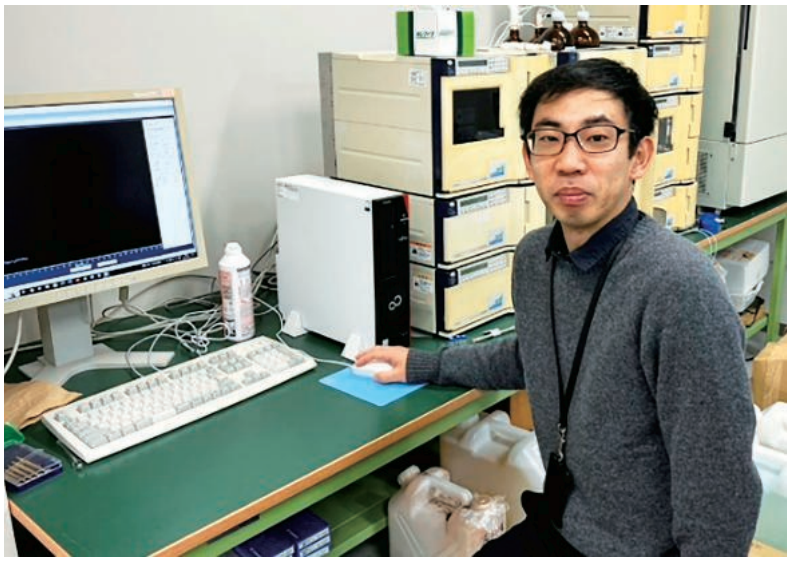
食品科学科・
食品化学研究室
助教
小関喬平

はじめに

食品には様々な栄養素が含まれています。これらの栄養素は、ヒトの体を構成したり、体の調子を整えたり、生命活動のエネルギー源になったりします。その中で私は、水溶性B群ビタミンであるビタミンB_{12}（B_{12}）や葉酸に注目して研究を行ってきました。本稿では、B_{12}に関する研究を紹介したいと思います。B_{12}は奇数鎖脂肪酸やアミノ酸の代謝に関与しており、B_{12}欠乏は神経障害や巨赤芽球性貧血（きょせきがきゅうせいひんけつ）を引き起こします。またB_{12}は、微生物のみが生合成能を有し、自然界の食物連鎖により動物細胞へと蓄積されるため、動物性食品が良いB_{12}供給源となっています。一方、植物はB_{12}の生合成能やB_{12}依存性酵素を有さないため、植物性食品にはB_{12}は含まれない稀有なビタミンです。近年、動物性食品を摂取しない厳格な菜食主義者（いわゆるビーガン）の人口が増加しており、B_{12}を含有する植物性食品の探索や開発は重要な課題になっています。

べったら漬けに含まれるB_{12}の分析

これまでに、いくつかの植物性食品の発酵品にはB_{12}が含まれていることが報告されています。これらは発酵過程で微生物により、B_{12}が合成されるためだと考えられます。日本食品標準成分表によると日本の伝統的な発酵食品である『べったら漬け（大根の漬物）』には湿重量100 g当たりに12 μgのB_{12}が含有されていると記載されています。他の植物性食品の発酵品と比較して、べったら漬けのB_{12}含有量は非常に高い値を示しています。しかし、一部の食品には、B_{12}として機能しない疑似ビタミンB_{12}（疑似B_{12}）などのB_{12}類縁体が含まれることが報告されています。また、日本食品標準成分表に使用されるB_{12}定量法では、B_{12}と疑似B_{12}を区別して定量できません。そこで、べったら漬けに含まれるB_{12}化合物が生理的な活性を有するかどうかを高速液体クロマトグラフィーや精密質量分析を用いて分析しました。市販されている4種類のべったら漬け製品を分析したところ、精密質量分析により2製品のべったら漬けのみで、生理的な活性を有するB_{12}が検出され、それぞれのB_{12}含量は1.0 μg/100 gおよび1.3 μg/100 gでした。また、すべての製品に疑似B_{12}などのB_{12}類縁体は含まれていませんでした。日本食品標準成分表と比較して含有量が低いものの、一部のべったら漬け製品には生理的な活性を有するB_{12}が含有されることを明らかとしました。また、べったら漬けは麹菌により発酵されますが、麹菌はB_{12}生合成能を有しません。今後、B_{12}を含むべったら漬け製品の菌叢を調べることで、B_{12}合成する微生物を特定できれば、B_{12}を強化した発酵食品を効率よく開発できる可能性があります。



研究室での様子

生活習慣病予防や腸の健康に役立つ食品素材を研究

食品科学科
教授 松本 健司
（まつもとけんじ）

Profile

大阪医科大学第一解剖学教室助手、理化学研究所実験動物開発室ジュニアリサーチアソシエイト、岐阜県国際バイオ研究所専門研究員、岐阜県生物工学研究所主任研究員を経て2010年から現職。専門は食品機能学。

Q：どのような研究をなされているのですか。

A：血糖値や血中脂質濃度の上昇を抑えたり、腸内の免疫機能を高める食品素材について、消化されにくい糖質（難消化性糖質）を主なサンプルとして研究しています。糖質といえば炭水化物のイメージが強く、糖尿病や肥満の要因として見られがちですが、難消化性糖質は糖質としてはほとんど吸収されないため、逆に糖尿病や肥満を予防する効果があり、さらに腸内細菌によって酪酸やプロピオン酸などの「短鎖脂肪酸」に変換されるため、短鎖脂肪酸が持つ整腸作用などの効果が期待できます。現在、複数の企業からサンプルの提供を受けて研究に取り組んでおり、難消化性糖質の一つに腸の免疫機能に重要な「IgA」を増加させる働きがあることを発見し、2023年には特許を取得しました（特許第7351472号）。また、難消化性糖質の一つである「難消化性でんぷん」を多く含む米について開発者らと共同研究を行い、加工や調理方法の違いによる腸への影響について調べています。難消化性糖質以外では「柿」の機能性研究に取り組んでいます。柿に含まれる「柿タンニン」が腸内で胆汁酸と結合して、便に胆汁酸を積極的に排泄することを明らかにしました。さらに、柿の未成熟果実から柿タンニンを多く含む「渋くない柿粉末」を作製してヒト試験を行った結果、食事前に摂取すると悪玉コレステロールが低下することがわかりました。渋くない柿粉末を添加したパンや麺を作って、主食として日常的に取り入れられないかと考えています。

柿に含まれる「柿タンニン」。便に胆汁酸を多く排出させる効果がある

腸で糖質が吸収されにくい「難消化性でんぷん」を含んだ米。健康志向の高まりで注目を集める

Q：今後の抱負をお聞かせください。

A：現在、石川県内の酒造メーカーと乳酸発酵物の機能研究に取り組むなど、石川の食との関係も深めています。また、石川県の特産品として干し柿である「ころ柿」があり、ころ柿の機能性に関しても今後は研究していく予定です。国（消費者庁）が認可する「特定保健用食品（特保）」は、1991年に始まり、現状1000品目ほどに留まっています。一方、食品の機能性や安全性に関する科学的根拠を企業の責任として届け出る「機能性表示食品」は2015年のスタート以来8000品目を超え、玉石混交の状態です。信頼できる科学的根拠を自らの研究を通じて明らかにし、それを基に人々の健康に役立つ本当に価値あるものを生み出したい―そんな強い気持ちでこれからも研究に取り組んでいきます。

活動報告

2024年奥能登豪雨による被災地支援のボランティア活動を行いました

石川県立大学では、2024年9月の奥能登豪雨によって甚大な被害を受けた地域の復興支援のために、全学的にボランティア活動に取り組んでいます。11月9日(土)に学生・教員13名が珠洲市長橋地区、そして11月10日(日)には学生・教員16名が輪島市町野地区に入り、土砂掻き出しのボランティア活動に汗を流しました。

長橋地区は伝統的な「揚げ浜式製塩法」の塩田でしたが、山の崩落や道路沿いの斜面崩落により大きな被害を受けました。町野地区では洪水により流木が流下したり河川の護岸が削られ、溢れた土砂と水が広く市街地に流れ込んでいました。それらの堆積した土砂をスコップで削りバケツや一輪車を使って外に運び出したり、さらに土嚢に詰めて、軽トラックで運び出す作業を手分けして行いました。学生たち最初は慣れない作業で戸惑っていましたが、

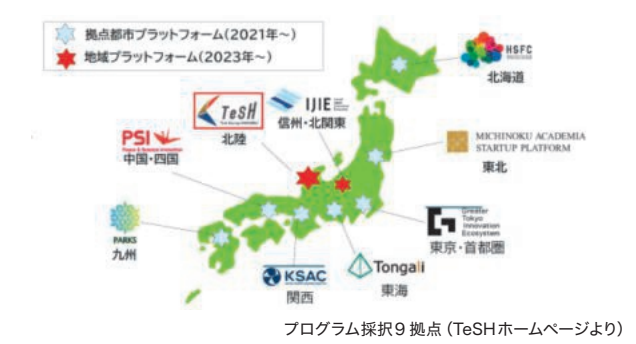
輪島市町野地区の泥掻き出し作業の様子

時間がたつについて要領がわかり、掻き出し作業が驚くほど速くなりました。洪水による被害は甚大ですが、みんなで協力して着実に復旧してゆくことの重要性を認識することができました。

レポート

文科省の「スタートアップ・エコシステム共創プログラム」北陸3県のTeSH

総額988億円をかけてスタートアップエコシステムを構築し、全国からシーズを発掘して人材・知・資金を循環させるプログラム。目的は社会・経済にインパクトを生み、国際展開を含め事業成長するポテンシャルを有する、大学等のアカデミアから生まれるスタートアップの創出を質・量ともに格段に充実させるとともに、大学等発スタートアップの継続的な創出を支える、人材・知・資金が循環するエコシステムの仕組みを全国に形成することを目指します。



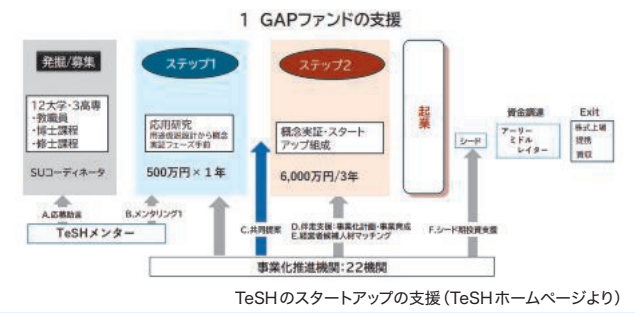
プログラム採択9拠点(TeSHホームページより)

北陸3県で連携したSU創出に向けたプラットフォーム、「Tesh　StartupHOKURIKU(TeSH)」は、スタートアップ・エコシステム共創プログラム(2023年8月29日公募)のうち、地域プラットフォーム共創支援に採択されました。

Tech Startup Hokuriku(TeSH)は、北陸先端科学技術大学院大学と金沢大学を主幹機関とし、北陸3県10大学、3高専を共同機関とする北陸地域の大学・高専発スタートアップ創出プラットフォームです。石川県立大学も、スタートアップ創出に向けて本事業へ参画しています。

本事業では、北陸地域の大学・高専スタートアップを質量ともに格段に充実させ、北陸発の上場企業や世界にはばたく新産業を育成することによって地域の活性化を促し、新たな人材ニーズと設備投資につなげることで北陸地域の社会課題の解決に貢献していきます。

TeSHのスタートアップ支援では、①GAPファンドの支援、②スタートアップ支援人材の支援があります。



TeSHのスタートアップの支援(TeSHホームページより)

今後、2027年度まで毎年のGAPファンドの公募があり、事業が継続されます。活発な北陸地域のスタートアップ事業が創出されることが期待されます。

令和6年度石川県立大学「シーズ発表会」&産学連携インキュベータ「i-BIRDセミナー」

2024年11月21日（木）地場産業振興センターにおいて「令和6年度研究シーズ発表会」が開催されました。今回のテーマは「能登半島地震からの創造的復興を支援する新テクノロジー～産学連携による研究シーズの実用化に向けて～」です。能登半島地震からの復旧・復興に関して、社会的な関心も高く、会場には70名以上の参加者がありました。

まず冒頭に西澤直子石川県立大学学長が、2024年元旦に発生した能登半島地震により大きな被害を受けた能登地方に対して、農業分野において石川県立大学では全学を上げて復旧支援のための研究に積極的に取り組んでいるというご挨拶をいただきました。次に県立大学の3名の教員が分野ごとにから研究成果を発表しました。

まず食品科学科小柳喬准教授は、「能登の発酵食品文化の伝統を守り、新価値創造に繋げる微生物資源の保全と利用」として、震災によって倒壊など大きな影響を受けた奥能登地域の酒蔵における酵母菌のレスキュー活動や、いしる工場における発酵安定化のための種乳酸菌の接種を実施したことを報告しました。

次に環境科学科藤原洋一准教授は、「衛星データを用いた能登半島地震による農地への影響評価と復興に資する水田の排水性評価」というテーマで、農地・農業用施設被害データや衛星写真データなどをAI技術と組み合わせることにより、現地へのアクセスが困難な地域においても農地・農業用施設の被害状況を効率的に把握する方法について紹介を行いました。

3番目に登場した生物資源工学研究所馬場保徳准教授は、「平時も災害時にも資する自立運転可能なメタン発酵を用いた発電システム『エコスタンドアロン』の社会実装」というテーマで発表を行いました。馬場准教授は2011年に発生した東日本大震災を経験し、自立的なエネルギーの重要性を痛感したことから、食物残差を活用したメタン発酵による発電システムの開発の経緯と能登半島地震の復興への可能性について紹介しました。

また後半に行われたi-BIRDセミナーでは、「地震から復興に向けて～金沢拠点をつくるまで」として能登町のブルーベリー農家、みゆき農園代表の平美由記氏が、元旦に大きな被害を受けた農園の実態とその後の関連業界からの支援、そしてアイバードに活動拠点を持つまでの奮闘の日々について紹介いただきました。そして能登SDGｓラボサテライトオフィスNPO法人能登すずなり統括課長篠川杏子氏から、「珠洲市の観光産業と能登すずなりの役割」としてこれまでのすずなりの観光産業での取り組み、能登半島地震による被害の影響、そして今後の復興への取り組みについて紹介をいただきました。

最後に、中小企業基盤整備機構北陸本部大田原良子企業支援部長により、締めのあいさつをいただきました。その後、会場内で発表者を囲んで、意見交換会が開催されました。今後、能登半島地震からの創造的な復興が県内企業でも重要な課題となってくることから、会場では多くの参加者間で活発な意見交換が行われました。

西澤学長による開催挨拶

小柳准教授による能登発酵文化の保存支援活動についての報告

後半i-BIRDセミナーで能登町のブルーベリー農家平美由記氏による能登半島地震からの復興への取り組み紹介

お問い合わせ先　石川県公立大学法人 石川県立大学 Ishikawa Prefectural University　産学官連携学術交流センター

〒921-8836 石川県野々市市末松1-308
TEL 076-227-7566　FAX 076-227-7410
E-mail：sangakukan@ishikawa-pu.ac.jp
URL：https://www.ishikawa-pu.ac.jp/