

〈特集：文化講演・第26回年次学術集会より〉

## 沖縄のユニークな伝統発酵飲食品 —泡盛と豆腐よりの歴史とサイエンス—

安田 正昭

### History and scientific characteristics of Awamori and Tofuyo: indigenous fermented foods from Okinawa, Japan

Masaaki Yasuda

**Summary** Awamori (distilled liquor) was considered to be introduced in the 15<sup>th</sup> and 16<sup>th</sup> centuries in the Ryukyus (present Okinawa). Awamori is made from Thai rice by the fermentative action of black *Aspergillus* (*A. luchuensis*) and yeast (*Saccharomyces cerevisiae*). The use of black *Aspergillus* in brewing is unique because it produces large quantities of citric acid, whereby moromi mash (pH 3.4-3.6) is protected from contamination and spoilage.

Tofuyo (fermented tofu) was considered to be prepared around the 18<sup>th</sup> century in the Ryukyus region. Tofuyo is made from tofu and awamori by the action of *Monascus purpureus* and *Aspergillus oryzae*. This use of awamori in food production is unique. Soybean proteins are degraded during fermentation, and their partial decomposition products contribute to the formation of the body of tofuyo. In addition, the amino acids and peptides are involved in producing the good taste and physiologically functional properties of tofuyo, respectively.

**Key words:** Awamori, Black *Aspergillus*, *Aspergillus luchuensis*, Tofuyo, *Monascus purpureus*

#### I. はじめに

発酵食品は微生物機能を利用して農水産物から作り出されるものであり、その発酵過程で原料にはもともと存在していなかった風味に、独特のおいしさと香り、そして口当たりの好ましい感覚が付与される。また、発酵させることで原料である農水産物の栄養性や保存性を高めることもできる。さらに、発酵中に健康保持に役立つ成分も醸成される。このように発酵食品は魅力に満ちた食品である。

本稿においては、沖縄の伝統発酵食品の中から「泡盛」と「豆腐よう」の歴史、発酵、おいしさと健康にかかわる機能性などについて紹介したい。

#### II. 泡盛

泡盛は単式蒸留しょうちゅうのうち、黒麹菌を使用した麴と水を原料として発酵した一次もろみを単式蒸留機で蒸留したもので、琉球国で生まれた独特の蒸留酒である。泡盛は、歴史、

醸造技術、飲酒の仕方そして食文化を語る上で興味の尽きない話題を提供してくれる。泡盛の歴史、文化、醸造技術に関する優れた成書<sup>1)~5)</sup>や学術論文等が数多く公刊されている。本項では、それらの成果をもとに泡盛のごく一般的な事柄を中心にまとめる。

## 1) 泡盛の歴史

### ①琉球国時代の泡盛事情<sup>1)~5)</sup>

琉球は、1429年から明治政府による琉球処分(1872(明治5)年の琉球藩設置から1879(明治12)年沖縄県設置に至る過程)が行われるまで約650年間王国として存在し、独特の文化が花開いた。

大交易時代と呼ばれる14~16世紀前半頃の琉球は中国や東南アジア諸国との交易が盛んであったことから、タイから南蛮酒、インドから天竺酒、中国から白酒などの蒸留酒が伝来し、琉球王府における重要な行事の接待用あるいは贈答用として多用されていたようである。蒸留酒とともに蒸留器や蒸留技術も伝えられ、15世紀頃には琉球でも蒸留酒が生産されるようになったと考えられている。

『朝鮮王朝実録』(『李朝実録』(1479))によれば、1477年に暴風で琉球に漂着した朝鮮済州島民は那覇で南蛮酒(蒸留酒)を飲んだとされる。冊封使である陳侃は国王にすすめられ「南蛮酒」(『使琉球録』(1534))を、汪楫は強い酒「火酒」(『使琉球雑録』(1683))を飲んだと記述している。

島津の琉球侵攻(1609)以来、琉球王府は江戸幕府に対して「江戸上り」と呼ばれる使節の派遣が義務付けられた。江戸上りの際に琉球国王から将軍へ献上された品の中に蒸留酒(「焼酒」や「泡盛酒」などと記載)があった。1667年以降泡盛づくりは琉球王府の厳しい統制下におかれ、首里三箇のみに許された。1713年に琉球王府が編纂した『琉球国由来記』に泡盛は「この国の名酒なり」と記述されており、良質の泡盛が醸造されていたことがうかがえる。また、「御用酒御蔵」(1733)ができた頃にはコース(古酒)の熟成法が確立されたと推定される。

1816年にバジル・ホールらは琉球王府から琉球料理で接待を受け、「サキ」(酒)、「チーズに似たもの」や「赤く染めたゆで卵」などが出さ

れたと航海記に記載されている。さらに、1853年にペリー提督一行は琉球王府の晩餐会で、良質の「コース」(古酒)が振舞われたようである。「泡盛ロード」や「泡盛名称」の由来等は興味深い話題<sup>1)~5)</sup>であるが、紙数の関係で割愛したい。

### ②明治から第二次世界大戦前までの泡盛事情<sup>2)~6)</sup>

1879(明治12)年に沖縄県がスタートした。明治政府は酒造りを税務署の指導管轄下におき、酒税を納めることで酒造りを自由化した。その後、泡盛酒造業界では1928(昭和3)年に沖縄県酒造組合連合会を設立、「琉球泡盛」のブランドで日本本土(東京、大阪、福岡)や台湾などへ多量に移出された。

### ③第二次世界大戦後の泡盛事情<sup>6)</sup>

第二次世界大戦で沖縄全域が焦土と化してしまい、泡盛工場や蒸留機などの施設・設備が完全に破壊し尽くされた。1949年1月米国民政府官営酒造廠から各酒造メーカーに酒造免許が交付されたが原料不足に悩まされた。1952年にタイ国から破碎米が輸入され、本格的な泡盛製造が開始された。1958年に酒造組合法に基づく「琉球酒造組合連合会」(1972年「沖縄県酒造組合連合会」、2012年「沖縄県酒造組合」と組織改編)が設置された。1960年に日本政府大蔵技官により「泡盛醸造技術診断」が行われ、「泡盛製造の技術指針」が出された。この技術指導は、泡盛製造技術水準の向上と製造管理技術の改善に大きなインパクトを与えた。発酵学で著名な坂口謹一郎<sup>7)</sup>は1970年発行の世界誌に「君知るや名酒泡盛」を発表し、「黒麹菌というカビは沖縄だけに発生した利用の道」と指摘するとともに「古酒」を含めた泡盛の良さを紹介、泡盛の知名度向上に大きく貢献した。なお、「君知るや名酒泡盛」の石碑が沖縄県酒造組合敷地内に設置されている。

1960年代中頃から1970年中頃まで琉球大学農学部で泡盛麹菌や泡盛酵母、泡盛の醸造学的研究が行われた<sup>8)~10)</sup>。当時は産学連携の機運に乏しかったので研究成果の社会貢献が果たせなかったのは残念なことである。

### ④沖縄の施政権返還から現在の泡盛事情<sup>6)~11)</sup>

1972(昭和47)年5月15日に沖縄の施政権が米国から日本に返還(以下「復帰」と省略)され、新生沖縄県が誕生した。復帰にともない沖

縄国税務所に鑑定官室が設置され、泡盛研究与業界への技術指導が開始された。同年沖縄国税事務所主催「第1回泡盛鑑評会」(後年に沖縄県との共催)、1981年沖縄国税事務所主催「第1回市販酒研究会」が実施された。両者は現在に至るまで継続開催され、泡盛の製造技術および品質向上に寄与している。著者は発酵科学に関する教育研究に従事していたので1981年に泡盛鑑評会と市販酒研究会の審査委員に依頼されて以来2012年まで泡盛の品質審査に携わった。これらの審査会を通して、泡盛の品質が年々向上していることを実感したものである。

一方、復帰後の沖縄県工業試験場(後の沖縄県工業技術センター)においても泡盛研究与業界への技術指導が行われている。さらに、泡盛業界においてもこれら国と県による技術指導に対して積極的な対応と自社努力を行った結果、その製造技術が飛躍的に向上し、現在に見る高品質の泡盛が造られるようになった。

メーカー側では、1976年に沖縄県酒造協同組合<sup>11)</sup>を結成し、原料米の確保や同協同組合独自の事業を展開している。同協同組合は本格的なタース(古酒)づくりと積極的な県外出荷に貢献している。沖縄の泡盛は全国酒類コンクールをはじめ、モンドセレクション(ベルギー)、ザインターナショナルワイン&スピリッツコンペティション(英国)、クリオ・アワード国際パッケージデザイン(米国)など国際的な品評会で最優秀賞を受賞するなど、品質、デザインが高く評価されている。沖縄県酒造協同組合による10年古酒「海乃邦」もその例である(図1)。このように泡盛は今や世界に通用するハイレベルの位置に到達したといえよう。

一方、消費者サイドでも泡盛文化の伝達、啓蒙、普及並びに泡盛産業の発展に寄与する立場から2005年3月に(社)泡盛マイスター協会を設立し、泡盛及び酒類全般にわたる幅広くかつ深い専門知識、テイステイング理論と実技等所定の認証試験に合格した者に「泡盛マイスター」(2007年度から沖縄県知事認証資格)の称号が授与され、彼らは泡盛の良き伝道師として活躍している。

## 2) 泡盛づくり

### ①泡盛づくりに用いる微生物



図1 沖縄県酒造協同組合による10年古酒「海乃邦」

泡盛製造に用いる微生物は黒麹菌と泡盛酵母である。黒麹菌の学名は*Aspergillus luchuensis*で、微生物の名前に琉球が付けられている。1901(明治34)年に乾<sup>12)</sup>は黒麹菌を分離し、*A. luchuensis*と命名した。その後、中澤<sup>13)</sup>も黒麹菌を分離し、*A. awamori*と命名。それ以来、長い間*A. awamori*が使用されたが、黒麹菌の名称には混乱があった。分子生物学研究の進展<sup>14)~16)</sup>により、黒麹菌の名称は2013(平成25)年に*A. luchuensis*になった。

黒麹菌は、耐酸性、低pH活性を有するアマラーゼの高生産性およびクエン酸生成能に優れた特徴を有しており、産業上重要な微生物<sup>17)</sup>である(図2)。実は、このクエン酸が醗中の雑菌汚染を防ぐ防腐効果として働き、そのことが夏季の暑い沖縄地方でも酒造りが可能となる秘密である。この黒麹菌による酒づくりは世界的にみても琉球のみである。蟹江<sup>18)</sup>によれば、焼酎づくりの現場ではしばしば腐造に悩まされたが、1907(明治40)年に沖縄の黒麹菌が鹿児島に導入されて以来安定した焼酎づくりが可能になったとされる。その後、黒麹菌の変異株、いわゆる白麹菌(*A. kawachii*)が開発され、それが焼酎づくりの主流となっている。近年、酒質多様化の一環として再び黒麹菌が注目され、「黒〇〇」と呼ばれる銘柄の焼酎が市販されている。

黒麹菌は、黄麹菌とともに2006年に日本醸造学会より国菌として承認され、我が国で極めて重要な醸造微生物と位置付けられている。



図2 泡盛麹菌の顕微鏡写真（照屋比呂子氏提供）

泡盛製造に用いる酵母はクエン酸耐性の泡盛酵母 (*Saccharomyces cerevisiae*) が使用される。泡盛発酵の特徴は、モロミのpHが3.5付近の酸性条件下で行われることである。

泡盛の安定生産を図るため、玉城<sup>19)</sup>は「泡盛1号酵母」(1980)を開発、実用化した。その後、新里<sup>20)</sup>は泡盛1号酵母をもとに、いわゆる泡なし酵母「泡盛101号酵母」(1989)の開発を行った。現在、製造現場では「泡盛101号酵母」を用いた泡盛造りが行われている。玉城と新里は泡盛醸造に多大な貢献をしたのである。

最近、産学官連携研究が活発に推進されている。酒質の多様化に対応した酵母を求めてマンゴーやハイビスカスなど植物由来の酵母の分離、探索が行われた。選抜菌株による新商品の誕生が新聞等で報道されている。一方、分子生物学的手法により「泡盛101酵母」から香味豊かな泡盛酵母（「101H酵母」）の育種<sup>21)</sup>も行われている。泡盛の今後の発展に期待したい。

## ②泡盛製造法

泡盛製造工程を図3に示した。九州の焼酎が原料の一部（米あるいは麦）で麹をつくり、残りを蒸した米あるいは芋、麦などを原料として仕込む方法（二次仕込み）を採用しているのに対して、沖縄の泡盛は全麹仕込み（一次仕込み）である点が大きく相違している。

泡盛の原料米は通常タイ国産のインディカ米が使用される。洗米、浸漬、水切りをした後で蒸す。蒸煮米に黒麹菌のスターターを接種した後34～38℃で約40時間製麹を行い、出麹とする。

次に、大型のステンレスタンクあるいは伝統的には甕（約1石）に黒麹と水および酒母を一定の配合割合で加えてよく攪拌する。これを仕込みと称している。モロミのpHは3.4-3.6付傍であり、強酸性条件下における発酵である。発酵タンク内では、黒麹由来の酸性アミラーゼ（ $\alpha$ -アミラーゼやグルコアミラーゼなど）は米デンプンに作用し、グルコースを生成する。生成したグルコースは直ちに泡盛酵母の菌体内に取り込まれ、解糖経路を経てピルビン酸に変化する。続いてエチルアルコールに変換され、菌体外に放出される。このように泡盛の発酵は、発酵タンク内で米デンプンの糖化とアルコール発酵が同一行程で行われる形式、いわゆる並行複発酵形式により進行する。発酵中はモロミの温度が30℃以上に上昇しないよう配慮する必要がある。夏期では10～14日の発酵期間でアルコール濃度が約18%の熟成モロミが得られる。

発酵終了後の熟成モロミは直ちに単式蒸留機で蒸留される。蒸留法には常圧蒸留法と減圧蒸留法とがある。前者は従来法で濃醇タイプの泡盛が得られる。後者による製品は前者によるものに比べてクセが少なく、淡麗タイプで軽快な

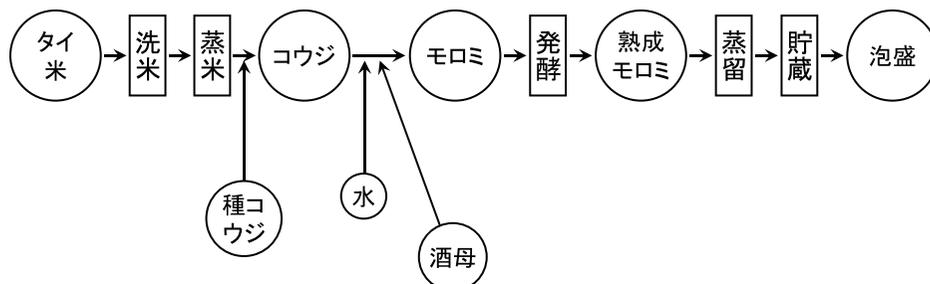


図3 泡盛の製造工程

酒質の泡盛が得られる。

蒸留直後の泡盛原酒の風味は刺激的な匂いと荒々しい味を呈し、飲用には適しないのでガス抜きや刺激臭味の除去、エステル類の生成を促すために大型タンクにて適当な期間貯蔵、熟成させる。蒸留後の貯蔵における香气成分の組成変化は一般酒の製造管理上重要な情報源となる<sup>23)</sup>。その後、活性炭濾過やイオン交換樹脂による処理を行った原酒を適宜ブレンドして瓶詰め、箱詰にして一般酒として出荷される。コース（古酒）の場合には3年以上適当な容器で熟成させる。

### ③泡盛の熟成、コースとおいしさ<sup>24)</sup>

泡盛を南蛮甕か素焼きの甕に入れて長期間熟成させたコースは芳醇な香りとまろやかなフレーバーが形成され珍重される。熟成中に容器から鉄イオンやマグネシウムなどの金属イオンが溶出されることや甕を通して酸素が供給されるので製品の酸化が促進される。このコースをつくるには「仕次ぎ」と呼ばれる独特の技法が用いられる。この技法は、スペインのシェリー酒で採用されている“ソレラ”と呼ばれる熟成法と同様とされている。

泡盛熟成中、香味成分は酸化的条件下で化学変化の起こることが知られている。硫黄化合物、カルボニル化合物、不飽和脂肪酸などは酸化、縮合、付加反応が行われ、その結果としてガス臭、刺激臭および刺激味が減少する。一方、泡盛に存在する脂肪酸や有機酸はエチルアルコールとの間でエステル化が起こり、対応するエチルエステルが生成する。華やかな香りを呈するバニリンは蒸留工程における留出成分であるばかりではなく、原料米に由来するフェルラ酸が蒸留により4-ビニルグアイアコールとなり、さらにそのものはコース熟成中にバニリンへと変化する。また、熟成中に不飽和脂肪酸の酸化やその酸化生成物の二次的な化学変化、エチルエステル類の生成や加水分解なども行われる。これらの化合物はコースに豊かな風味を与える。一方、物理変化もまた重要である。蒸留後の泡盛では、エチルアルコール分子と水分子はバラバラに存在しており、エチルアルコールの刺激味が強く感じられるが、熟成年月が経過するにつれ、エチルアルコール分子と水分子とが会合し、分子塊（クラスター）が形成される。この

ことがエチルアルコール特有の刺激味の減少にかかわり、泡盛のまろやかな味形成に寄与すると考えられている。事実、よく熟成したコースはまろやかで甘く、バニラのような華やかな香りを呈する。熟成過程で生成するコースのおいしさにかかわるメカニズムは多くの要因が存在すると考えられ、その科学的解明が待たれる。古老の話によれば、第二次世界大戦前においては、100年以上のコースが数多く存在していたらしい。しかしながら、今次大戦で沖縄中のすべてのものが破壊し尽くされ、いわゆる“100年コース”は今ではほとんど残されていない。1990年代に入り、心ある泡盛愛好者の手で“100年コース”をつくる活動が行われている。今世紀末あるいは来世紀初頭には生まれるであろう“100年コース”とはいったいどのような香味をわれわれに提供するのだろうか？ロマンのある話題である。

### ④泡盛と健康、泡盛の琉球料理への利用、そしてユネスコ無形文化遺産登録への取り組み

昔から酒は“百薬の長”とか“気違い水”ともいわれ、酒にまつわる美談や失敗談に事欠かない。酒には、人々をとりこにする不思議な力が宿っているのである。泡盛に関する民間伝承によれば、やけどや夏のアセモ、皮膚病の治療薬として患部に泡盛を塗布することで治癒効果があること、また、風邪をひいた時にニンニクと黒糖を泡盛に漬け込んだヒルザキ（ニンニク酒）を飲むことで体力が回復すること、そして、少量の泡盛飲酒は血行をよくするとされている。ヒトを対象としたある臨床研究<sup>25)</sup>によれば、適量飲酒したグループの血液中血栓溶解酵素活性は非飲酒者グループのそれに比べて高い値を示すという興味深い報告がある。また、その血栓溶解酵素活性は焼酎・泡盛を適量飲用したグループの方がウィスキーやビールを飲用したそれに比べて高い値を示す傾向が見られるとの報告は多くの泡盛ファンには大変嬉しい話である。ただし、飲み過ぎは禁物であることはいうまでもない。

アルコール飲料そのものではないが、泡盛の蒸留粕を活用した健康食品として“もろみ酢”<sup>26)</sup>が市販されている。このものは、泡盛発酵中の代謝産物（アミノ酸類）や黒麹由来の有機酸（クエン酸）を豊富に含有しており、種々の健康素

材や調味料を配合することで、飲みやすく、付加価値を高めた健康飲料として注目されている。最近の新聞報道によれば、もろみ酢を乳酸発酵させた $\gamma$ -アミノ酪酸（GABA）リッチな製品が産学連携研究で開発されている。それは、血圧降下作用の効果を期待したものである。

沖縄では、泡盛は飲用に供されるばかりではなく、料理や食品の加工にも利用される。ポピュラーな琉球料理の中に“ラフテー”（角煮）がある。豚のバラ肉（三枚肉）を使った料理で、調味料（砂糖、カツオだし、醤油および泡盛）や香味野菜を加えて長時間やわらかくなるまで煮込むのである。その間に、泡盛の揮発性成分が豚肉に染み込み、獣肉臭をマスクするとともにやわらかな風味豊かなラフテーができあがる。また、泡盛を利用した加工品には、上記ヒルザキ（ニンニク酒）やコーレーグース（沖縄の代表的な辛味調味料）がある。後者は、島唐辛子を3週間程度泡盛に漬け込んだもので、沖縄そばの薬味として用いられる。そして、後述する“豆腐よう”も泡盛を利用した発酵食品の例である。

2014年8月に「琉球料理」及び黒麹菌による「琉球泡盛」文化圏のユネスコ無形文化遺産登録を目指した活動が開始した。黒麹菌を酒造りに用いる文化は世界中で沖縄以外にほとんど見られない。琉球料理、琉球泡盛、そして酒器（カラカラや抱瓶等）は沖縄の年中行事でいずれも欠かせない結びつきをもつ固有の文化である。琉球の食文化は歴史と伝統そして地域性に恵まれた「琉球料理」、黒麹菌を使用した「泡盛」として発展し、他の地域には類似性が見られない独特なものがある。しかしながら、この頃では食生活の欧米化、利便性が先行した調理形態の変化にともない、琉球料理離れが進行している。また、若者の泡盛離れも深刻である。それ故、琉球料理、黒麹菌、泡盛という独自の文化を保護し、次世代に継承することを使命とし、その世界遺産登録に向けた活動が行われているのである。本年（2016）9月に第3回目のシンポジウムが開催され、県民の関心を高めることができた。琉球食文化の世界無形文化遺産登録への早期実現に期待したい。

### Ⅲ. 豆腐よう

豆腐ようは、琉球国で生まれた沖縄独特の豆腐発酵食品である。この食品は室温で乾燥させた木綿豆腐を麴と泡盛を含むもろみに漬け込んで熟成させたもので、一般に塩味が薄く、甘みがあり、組織がなめらかなソフトチーズに類似したテクスチャーを有することとユニークな植物性タンパク質食品である。豆腐の発酵食品<sup>27)</sup>は沖縄（tofuyo）以外にも中国（豆腐乳tou-fu-ru、腐乳fu-ru、乳腐ru-fuとも呼ばれる）、タイ（tau-hu-yee）、ベトナム、ミャンマーなどに分布している。中国の豆腐乳は塩辛く、匂いや味にくせがあるのに比べて沖縄の豆腐ようはマイルドな風味を有しており、現代人の嗜好に合う食品として注目されている。

本項においては、著者らの研究成果を中心に豆腐よりの歴史、発酵、おいしさ、健康に関する機能性について紹介する。

#### 1) 豆腐よりの歴史

豆腐よりの歴史とその文化に関する記録はきわめて少ない。著者はその原材料となる豆腐と豆腐乳の琉球への伝来を手がかりに豆腐よりの起源について考察した<sup>27)、28)</sup>。豆腐乳の伝来については、種々の状況判断からすると、18世紀中頃に紅麴で造った紅腐乳が中国（福建省）から渡来したと考えられる。伝来当時の腐乳は塩辛く、匂いがきつく、味も非常に濃厚であったことから琉球王家の料理人たちは、泡盛を利用することで微生物汚染を防ぎ、低塩化に成功した。彼らは沖縄の気候、風土、食嗜好に合ったマイルドな風味に改良を加えつつエレガントな食品に仕立て上げ、“豆腐よう”と命名したのである。

1816年、英国人バジル・ホールらが琉球王府に振舞われた接待料理の中に「サキ」や「チーズに似た食べ物」などがあったことを泡盛の歴史の項ですでに述べた。それは、豆腐ようらしきものが登場する初めての記述であるが、詳細は不明である。“豆腐よう”の文字が明記されるのはそれより16年後の『御膳本草』（渡嘉敷通寛、1832）であり、それによれば、「豆腐乳（タウフニウ）は“豆腐よう”也。香ばしく美にして胃気を開き、食を甘美ならせむ。諸病によし」

とされている。この記述から「豆腐よう」は「豆腐乳」を起源とし、その頃すでに現在に見る形に完成されたと推察される。

この食べ物は当時の上流社会でのみグルメ食品あるいは病後の滋養食、副食物として賞味され、庶民はほとんど知らなかったようである。その後、この食品は琉球王家と関係の深い特定の地域（首里や那覇）や家庭でのみ門外不出の「秘伝」として代々継承され、ごく一部の人たちの珍味として食されてきたため、今日に至るまで一般的な食品として普及することはなかった。明治の初期に尚家の第四王子として生まれた尚順男爵は大の豆腐よう愛好家であったらしく彼の遺稿集『松山王子尚順遺稿集』（1969）の中で「豆腐ようは世界で首位に列なる珍味」と礼賛している。

## 2) 豆腐ようづくり

秘伝とされる豆腐ようづくりは概ね次の通りである。豆腐ようは通常冬につくる。まず、きめが細かくて堅めの豆腐をつくり、それを2～3 cm角に切り揃える。それらを室温で陰干し乾燥させる。半乾燥させた豆腐を米麴（紅麴や黄麴）と泡盛を含むもろみに漬け込んで約6ヶ月間室温で熟成させる。その際、豆腐の物性や麴の品質は製品の良し悪しに直接影響を与えるので、原料の調製には特に考慮を払う必要がある。なお、紅麴の製麴技術は沖縄では確立されておらず、中国や台湾産の紅麴が用いられた。古老の話によれば、第二次世界大戦後は紅麴が手に入らず、黄麴で豆腐ようを造る場合もあるが、紅麴を使用することで風味が一段と向上するらしい。

“豆腐よう”製造の振興・発展を図るためには、これらの経験と勘に基づいた製造技法を科学的に解析し、製造のプロセスを人為的に制御し得る基礎技術を確認することが重要である。そこで、著者ら<sup>29)</sup>は、これまで門外不出の秘伝として継承されてきた豆腐よう製造の技術的特徴を解明し、研究室の卒業生を通して地場産業に技術移転した。紅麴を用いた本格的な赤い豆腐よう（図4）が市販されたのは1980年代後半のことである。豆腐ようは、今では沖縄のオリジナル特産品として発展している。



図4 市販の赤い豆腐よう

## 3) 豆腐よりの発酵・熟成、おいしさ、そして機能性

著者ら<sup>30),31)</sup>は豆腐よりの発酵や食品科学的特性を明らかにした。発酵にかかわる主な微生物は*Bacillus*属細菌、紅麴菌 (*Monascus purpureus*)、黄麴菌 (*Aspergillus oryzae*) である。*Bacillus*属細菌は豆腐の乾燥工程でその表面に生育し、前発酵としての役割を担っている。主発酵にかかわる微生物は麴菌である。豆腐よう発酵の特徴は、泡盛のエチルアルコール存在下でこれら麴菌の産生する各種酵素群が協調して働き、豆腐よりの熟成、物性や香味形成などに深く関わっていることである。

発酵過程で大豆タンパク質はプロテアーゼの作用で低分子化し、一部はアミノ酸やペプチドに変換される<sup>30),32)</sup>。豆腐よう水不溶性画分では、大豆タンパク質の主要成分であるβ-コングリシニンの各サブユニット、グリシニンの酸性サブユニットは熟成中に分解された。一方、グリシニンの塩基性サブユニットは薄いバンドとして残存することがSDS-PAGE法により明らかになった。未分解の塩基性サブユニットは豆腐よりのテクスチャー形成に大きく寄与している。物性測定装置（レオナー）で調べた最終製品の各物性値は、原料豆腐のそれとは全く異なり、むしろ、市販のクリームチーズやソフトチーズのそれと同様かあるいは類似の値を示すことがわかった。さらに熟成中、豆腐よう組織の微細構造変化を走査型電子顕微鏡で調べたところ、熟成初期には網目構造を形成するタンパク質の太い繊維が観察されるが、熟成時間の経過にともない小さな粒状のタンパク質が連なった構造に変化することがわかった。これらの物性変化

や組織の微細構造変化は豆腐よう独特のおいしさ（なめらかな食感）に深く関わっている。

水溶性タンパク質は熟成過程でプロテイナーゼやペプチダーゼなどの酵素作用によりペプチドやアミノ酸に変換された。豆腐ように最も多い遊離アミノ酸はグルタミン酸であり、次に、アラニン、アスパラギン酸、グリシン、セリンの順であった。グルタミン酸やアスパラギン酸はうま味アミノ酸、アラニン、グリシンなどは甘味を示すアミノ酸として知られている。豆腐ようのアミノ酸以外の呈味成分は糖（グルコース）が主要成分であり、その他に有機酸、ヌクレオチドおよび食塩が存在する。豆腐よ味の味形成には、上記呈味成分とともに存在する各成分との成分間相互作用も関与していると考えられる。

ガスクロマトグラフを用いて豆腐よう香気濃縮物の化学分析を行ったところ、アルコール類、脂肪酸のエチルエステル、有機酸のエステル類が検出された。熟成中に大豆油は麴のリパーゼによりグリセロールと脂肪酸に分解されるが、遊離脂肪酸あるいは麴由来の各種有機酸は共存する泡盛のエチルアルコールとの間でエステル化が起こり、それぞれのエチルエステルが生成される。これらエステル類が豆腐よの好ましい香り形成に寄与している。

以上のように、豆腐よう独特のおいしさはクリーミーな食感を始め、アミノ酸、糖、食塩などの食品成分とこれらの成分間相互作用による呈味の増強、さらにアルコール類やエステル類などによる好ましい香り成分などが調和のとれた総体として発現していると考えられる。

最近、発酵食品の健康維持に関わる新機能が明らかにされつつある。高血圧は正常者の平均値よりも常に高い状態（140/90 mmHg以上）を指している。高血圧の状態が持続すると虚血性心疾患、脳卒中、腎不全の発症リスクが高くなることが知られている。Kuba-MiyaraとYasudara<sup>33),34)</sup>は、血圧上昇抑制効果と関係の深いアンギオテンシンI変換酵素（ACE）阻害活性を豆腐よの抽出液に見出し、その活性成分の単離、精製を行い、2個のペプチド（IFLおよびWL）を得た。両ペプチドのアミノ酸配列は大豆タンパク質に存在することから豆腐よ熟成中に生成したタンパク質の加水分解物であると考えら

れた。豆腐よ由来ペプチドが生体に取り込まれた後でどのような消長をたどるかはACE阻害効果を知る上できわめて重要である。そこで、両ペプチドの消化耐性試験を行った。消化酵素には、豚胃粘膜由来ペプシン、牛睪臓由来のキモトリプシン及びトリプシンを使用した。その結果、両ペプチドはこれら消化酵素処理により影響を受け難いことがわかった<sup>33),34)</sup>。したがって、両ペプチドは、生体内の消化、吸収という関門を通過して血圧上昇抑制作用を示す可能性が示唆された。そこで、豆腐よを食餌に与えたラット（高血圧自然発症ラット）の血圧上昇抑制作用に関する動物実験を行った。その結果、豆腐よ投与群は、コントロール群に比べると有意にラットの血圧上昇抑制効果を認めるとともに腎臓のACE活性が低下していることがわかった。これらの実験結果から、豆腐よには生体内の血圧上昇抑制効果があると期待される。豆腐よの機能性に関し、マウスを用いた動物実験の報告もある<sup>35)</sup>。マウスにおいては豆腐よ投与群がコントロール群に比べて赤血球変形能改善作用があることのほか、血漿TG値を有意に低下させるとともにHDL値を増大させる現象が見出されている。

豆腐よには、その他にもいくつかの生理機能物質の存在が期待される。豆腐よの発酵に用いる紅麴菌の産生する生理活性物質<sup>33)</sup>や発酵過程で生成する微生物の代謝産物あるいは大豆由来の生理活性物質についてもさらに注目したい。

#### 4) 豆腐よの魅力

豆腐よの魅力は、健康に良いとされている大豆タンパク質の低塩発酵食品であり、クリームチーズのようななめらかな物性と独特のフレーバーにあるといっても過言ではない。豆腐よの利用法は、2～3 cmの角形をそのまま小皿に盛り、泡盛の肴あるいはご婦人の嗜好品として賞味されるのが一般的である。しかし、最近では、こうした伝統的な食べ方に飽きたらず、フランス料理をはじめとする料理の素材として豆腐よが活用されている。〈フォアグラと豆腐よのプリオッシュ添え〉、〈魚介類のポワレ豆腐よソース〉はその好例である。また、〈豆腐よカナッペ〉あるいは〈豆腐よのパイ包

み)では豆腐のような旨味とクリーミーな物性が楽しめる。その他にも〈和えもの〉、〈サラダのドレッシング〉などに利用すれば、マイルドな風味に仕上げられる。

#### Ⅳ. おわりに

伝統食品はその地方の特定の人が造り出したものではなく、人々の知恵が結集して生み出されたものである。また、それはその土地の気候・風土、歴史と食文化とのかかわりの中で生まれ発展してきたのである。伝統技術は昔ながらの技を無批判に伝承するのではなく、伝統に有する合理的な技を理解し、その時々、社会的ニーズに対応した技術革新が行われ、発展しつつ現在に至っているのである。

小稿を通して黒麹菌による泡盛文化や豆腐のような沖縄の発酵食品に関する認識を深め、また、伝統発酵食品の素晴らしさを感じ取っていただければ著者の望外な幸せである。

#### 文献

- 1) 小田静夫：泡盛の考古学，25-47, 67-111, 勉誠出版，東京，2000.
- 2) 萩尾俊章：泡盛の文化誌，68-93, 128-149, ボーダーインク，沖縄，2004.
- 3) 菅間誠之介：焼酎のはなし，112-133, 技報堂出版，東京，1984.
- 4) 小川喜八郎，中島勝美：本格焼酎の来た道，13-21, 45-47, 金羊社，東京，2007.
- 5) 泡盛浪漫特別企画班：泡盛浪漫-アジアの酒ロードを行く，ボーダーインク，沖縄，1996.
- 6) 沖縄県酒造組合連合会：沖縄県酒連50年誌，19-120, 沖縄県酒造組合連合会，沖縄，2006.
- 7) 坂口謹一郎：古酒新酒，199-228, 講談社，東京，1974.
- 8) 当山清善，宮里興信：泡盛麹菌に関する研究（第1報）澱粉及び蛋白質分解力から見た泡盛麹菌について，琉球大学農学部学術報告，13: 118-126, 1966.
- 9) 宮里興信，当山清善，安田正昭：泡盛酵母に関する研究（第1報）沖縄本島北部地区酒造所の醗より分離した泡盛酵母について，琉球大学農学部学術報告，16: 156-167, 1969.
- 10) 当山清善：泡盛製造における技術の進歩と問題点，発酵と工業，39: 23-30, 1981.
- 11) 沖縄県酒造協同組合：沖縄県酒造協同組合三十年誌，27-128, 沖縄県酒造協同組合，沖縄，2007.
- 12) 乾環：琉球泡盛酒発酵調査報告（官報），工業化学，4: 1357-1361, 1901.
- 13) 中澤亮治：泡盛麹菌について第一報、第二報，台湾総統府研究所報告，2: 93-98, 1913, 4: 215-222, 1915.
- 14) Yamada O, Takara R, Hamada R, et al.: Molecular biological researches of Kuro-Koji molds, their classification and safety. J Biosci Bioeng, 112: 233-237, 2011.
- 15) Hong SB, Lee M, Kim DH, et al.: *Aspergillus luchuensis*, an industrially important Black *Aspergillus* in East Asia. PLOS ONE, 8: e63769, 2013.
- 16) 山田修：黒麹菌の学名が*Aspergillus luchuensis*になりました，醸協，110: 64-67, 2015.
- 17) Ichishima E: Development of enzyme technology for *Aspergillus oryzae*, *A. sojae*, and *A. luchuensis*, the national fungi of Japan. Biosci Biotechnol Biochem, 80: 1681-1692, 2016.
- 18) 蟹江松雄，岡寄信一：薩摩における焼酎造り500年の歩み，154-158, 蟹江松雄，鹿児島，1986.
- 19) 玉城武：泡盛1号酵母の性質とその実用化，醸協，77: 74-77, 1982.
- 20) 新里修一，宮城剛，高江洲朝清 ほか：泡盛1号酵母から分離した泡なし酵母の性質について，醸協，84: 121-123, 1989.
- 21) Takagi H, Hashida H, Watanabe D, et al.: Isolation and characterization of awamori yeast mutants with L-leucine accumulation that overproduce isoamyl alcohol. J Biosci Bioeng, 119: 140-147, 2015.
- 22) 社団法人泡盛マイスター協会：沖縄県知事認証資格泡盛マイスター教本【2016年版】泡盛マイスター協会，沖縄，2016.
- 23) 玉村隆子，和田浩二，種岡文恵 ほか：泡盛製造過程における香気特性の変化，食科工，50: 90-95, 2003.
- 24) 佐藤信監修：西谷尚道：焼酎，食品の熟成，170-200, 光琳，東京，1984.
- 25) 須見洋行：本格焼酎一泡盛の機能性，醸協，96: 513-519, 2001.
- 26) 石川信夫：沖縄の麹黒酢（もろみ酸）一泡盛蒸留液の有効利用一，醸協，95: 520-525, 2000.
- 27) Edited by T.B. Ng; M.Yasuda: Fermented tofu, tofuyo. Soybean-Biochemistry, Chemistry and Physiology, 299-322, INTECH, Croatia, 2011. ISBN: 978-953-307-219-7, InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/books/soybean-biochemistry-chemistry-and-physiology/fermented-tofu-tofuyo>
- 28) 原泰根編集；安田正昭：豆腐の文化—沖縄の豆

- 腐づくりと豆腐よう－.民俗のころを探る, 295-337, 初芝文庫, 大阪, 1994.
- 29) 安田正昭：とうふよう製造に関する研究-製造秘伝の科学的解析と技術展開. 日食工誌, 37: 403-409, 1990.
- 30) 安田正昭：大豆発酵食品「豆腐よう」に関する食品科学的研究. 食科工, 57: 181-190, 2010.
- 31) Yasuda M, Tachibana S and Kuba-Miyara M: Biochemical aspects of red koji and tofuyo prepared using *Monascus* fungi, *Appl Microbiol Biotechnol*, 96: 49-60, 2012.
- 32) 桂正子：豆腐よう. 調理科学, 29: 314-322, 1996.
- 33) Kuba-Miyara M and Yasuda M: Bioorganic compounds produced by the fungus *Monascus* and their use in health sciences and medicine, *Mini-Reviews in Organic Chemistry*, 9: 11-19, 2012.
- 34) 家森幸男監修；安田正昭：豆腐よう. 大豆の栄養と機能性, 132-139, シーエムシー出版, 東京, 2014.
- 35) 井上文英, 上田智之, 安田正昭 ほか:「唐芙蓉」投与による高脂肪食摂取マウスの赤血球変形能の向上. 医学と生物, 150: 438-441, 2006.