

氏 名	紅 林 孝 幸		
学位 (専攻分野の名称)	博 士 (生物産業学)		
学 位 記 番 号	乙 第 941 号		
学位授与の日付	平成 31 年 3 月 17 日		
学位論文題目	醤油醸造における生揚生産協業化工場の意義と生揚品質の安定化に関する研究		
論文審査委員	主査 教 授・博士 (農業経済学)	黒 瀧 秀 久	
	教 授・博士 (農芸化学)	山 崎 雅 夫	
	准 教 授・博士 (農学)	菅 原 優	
	教 授・博士 (農芸化学)	舘 博	
	名 誉 教 授・博士 (農芸化学)	永 島 俊 夫	

論文内容の要旨

日本の醤油の由来は中国から伝来した醬 (ジャン) と考えられる。この醬 (ジャン) が仏教の伝来と共に、日本にやってきて、奈良時代ごろに醬 (ひしお) と呼ばれるようになった。醬 (ひしお) から未醬 (みしょう) が生まれ、鎌倉時代になり味噌となったと考えられている。そして、この味噌の仕込み桶にたまった溜り (液汁) を野菜につけて食べたことが始まりで、これが今の溜醤油に発展していったと考えられている。その後室町時代を経て、江戸時代から日本の文化の中心が京から江戸に移ってきたことに伴い、醤油産業は、今の千葉県を中心に急速に発展してきた。

しかしながら、醤油醸造は大量に食塩を用いる産業の為、製造設備の腐食など装置の老朽化を早めてしまい、個々の醸造所が苦勞している一方で、日本は昭和 30 年代の高度経済成長期に向かうまさにその時、大量消費に対応した大掛かりな生産を求められるなど、国内醤油産業を取り巻く環境は大きく変わりつつあった。

福島県内の醤油醸造業者は昭和 30 年ごろで 300 軒以上あったが、その各醸造所の作る醤油の品質は年間を通じて必ずしも良質かつ安定的であるとは言えなかった。それぞれの醸造所が季節的な要因による品質の不安定さを抱えながら、また醸造技術も決して高いレベルではなかったこと、さらに先の食塩による設備維持の難しさや大量生産への対応など、多くの課題を抱えていた。

1962 年 (昭和 37 年) 5 月、全国醤油工業協同組合連合会より醤油業界安定施策の大綱が発表された。その中で「大企業と中小企業とのあらゆる格差がますます拡大すると予想され、今後中小企業が大企業と共存する道は体質を改善し、レベルアップする以外に道はない。そのためには何らかの形で企業提携の必要性がある。具体的方策としては、生産と販売を分離し、生産は集中生産方式によることが理想的である。」と述べられている。

そのような流れから、福島県内の醤油製造業者がその後約 1 年と 10 ヶ月余りの時間をか

けて十分な検討を重ねた結果、「福島県内 1 か所の集中工場において、原料処理、製麴、諸味管理そして圧搾して生揚（生醤油）を得るところまでを行う」という結論に達した。そして 1963 年（昭和 38 年）12 月 5 日、福島市において福島県醤油醸造協同組合の記念すべき創立総会が、設立同意者 105 名、出席者 75 名の多数の参加者により開催された。翌年の 1964 年（昭和 39 年）2 月 4 日に設立登記が完了し、福島県醤油醸造協同組合が正式に誕生した。これが全国初の生揚協業工場の誕生で、当時はこの製造方式を「福島方式」と呼び、全国の生揚協業工場建設におけるモデルになるなど醤油業界の中では大きな注目を集めた。

醤油業界の近代化を目指して設立された生揚協業工場ではあったが、創業当初から技術的な課題をいくつか抱えていた。例えば、年間を通じて品質の安定した生揚を継続生産することが重要で、つまりは生揚協業工場で製造する麴や諸味にバラツキが無いようにしなければいけない。しかしながら実際に製造する麴や諸味には製造ロットごとや製造ロット内にもバラツキが見られていた。また、発酵中の諸味の成分分析においては、酸性度を示す「pH」や大まかな糖分を表す「還元糖」の分析などが主であったが、醤油の最も主要な有機酸である「乳酸」や、発酵基質として使われるなど重要な単糖である「グルコース」を確認するには、高価な分析装置（高速液体クロマトグラフや分光光度計）を準備しなければならず、また分析する時間も長時間に及ぶなどの技術的問題点が多く見受けられた。

そこで生揚協業工場として取り組むべきこれらのような技術的な課題について種々の検討を重ね、醤油業界の中でも初めての研究発表を含むいくつかの技術的革新を行った。

1 つ目は大型円盤製麴装置を用いて大量の麴を製造する際、大量が故にどうしても起きていた麴品質のバラツキを改善することに成功した。生揚協業工場同士で円盤製麴装置内での麴品質バラツキを調べながら、そのバラツキの起きる原因を調査した。その中で大量生産によって必ず発生する数時間の盛り込みの時間差により、先に培養開始したものが後から盛り込まれて培養されるものよりも先に品温が上昇し、それが麴の品質に大きく影響していることが分かった。現在は自走コンベアによる時間差解消盛り込み法など麴品温経過がどれもほぼ均一になるよう工夫された培養方法で製麴が行われ、品質の安定した麴を本生揚協業工場で生産できるに至った。

この報告は「大型円盤製麴法における醤油麴の均一培養について」として 2003 年（平成 15 年）に醤油業界で初めて発表した。この報告以降「盛り時間差を解消する均一盛り法」は全国の醤油工場で採用された。さらに 2004 年（平成 16 年）には日本醸造協会誌にも同じタイトルの総説が掲載されるなど、醸造業界全体でも注目を集めた。安定した均一な品質の麴を作りたいという生揚協業工場ならではの研究テーマが、醤油業界にとって大きな意義があることを証明した。

2 つ目は小麦焙煎度と諸味のアルコール発酵の関連を明らかにした。工場焙煎小麦を市販酵素剤により食塩水中にて恒温消化し、還元糖とグルコースを定量した。予備的検討の後、

生揚協業工場数社から実際の工場焙煎小麦を取り寄せ、本生揚協業工場のものも含め一斉に酵素消化実験を行った。その結果、小麦の膨化度の高いものほど総合的に還元糖、グルコースがより多く酵素消化されることを確認した。この膨化度を確認する方法として従来の煩雑かつ時間を要した「しょうゆ試験法」ではなく、生小麦と炒り小麦のそれぞれの比重を求め「生小麦比重÷炒り小麦比重」の式で簡単に求められる「比重応用法」が、測定時間1分程度でかつ再現性の高い優れた方法であることを明らかにした。小麦膨化度と生揚のアルコールについて詳細に検討した結果、小麦膨化度の高い諸味ほど生揚のアルコールが高いことが明らかになった。本生揚協業工場で実際に出荷されている生揚のアルコールはこれら一連の研究とその取り組みが活かされ、全国の醤油工場と比較しても高いアルコール濃度を保っていたことから生揚そのものの日持ち性も大きく向上した。また、全国的に見ても各成分のバランスにも優れた生揚品質であることも同時に確認した。そのため生醤油にも関わらず、常温で数週間変質することなく組合員工場で利用され、組合員の製造する醤油の品質向上に大きく役立っていることが確認できた。この独自に開発した「焙煎小麦の膨化度を迅速に測る方法」を利用しながら、工場ではより高いグルコース溶出をするための小麦焙煎へと結びつけ、さらに工場諸味の高レベルアルコール発酵とその維持につなげることができた。

この報告は2014年（平成26年）に醤油業界で発表したが、その中で焙煎小麦の膨化度を表す「比重応用法」の報告は今回が初めてであった。特に業界での公定書である「しょうゆ試験法」よりも、「比重応用法」の方がその簡便性と操作性に優れていることを証明した。またこれまで研究の少なかった「小麦焙煎とアルコール発酵との関わり」を直接的に示す業界初めての報告でもあった。全国の醤油工場が小麦の焙煎状況を重視しながら、迅速かつ適切な管理を行うことで、より適正な発酵管理に活かされレベルの向上につながるなど影響が大きかった。

3つ目は反射式光度計—RQフレックス—の利用である。この装置は単4乾電池を使う簡易分析装置のレベルではあるが、コンパクトながらも非常に有益な分析装置である。今回測定したのは醤油中の乳酸、グルコース、グルタミン酸である。これらを測定する際は、高速液体クロマトグラフ法や分光光度計を用いた酵素法など、高価な分析装置が必要であったり、手間がかかったり、あるいは測定時間が長かったりするなど問題点が多々あった。一方、RQフレックス法は装置自体が10万円程度と安価で、測定時間はいずれも数分から長くても30分程度と迅速である。乳酸、グルコースそしてグルタミン酸いずれもRQフレックス法と従来法との相関性は高く、醤油分析の試料処理は醤油を脱イオン水で500倍程度に希釈するのみという簡単な方法であった。これにより乳酸の場合は、単純にpHを測るだけだったものがより具体的に乳酸量を求めることが可能になり、またグルコースの場合は特にアルコール発酵において、基質であるグルコースを素早く求めることができるようになったため、現在の発酵状況をよりの確に管理することが可能になった。

2013年（平成25年）に醤油業界で初めて醤油中の乳酸とグルコースのRQフレックス法による測定を発表したが、簡易分析法とはいえその迅速さとコストメリットもあり、他の醤油工場でも数多く使用されるようになるなど、その反響は非常に大きかった。その後、2018年（平成30年）に第2報として醤油業界にて発表し、さらに同年、日本醸造協会誌においてもRQフレックス法による醤油中のグルタミン酸測定法を初めて発表した。

4つ目として近年醤油中に含まれるアレルギー様物質として問題視されている「ヒスタミン」を低減化する対策に工場挙げて取り組み、ヒスタミンND（非検出）諸味の製造を実現化した。ヒスタミンとは最近注目されているアレルギー様物質で、これまでの研究ではサバやカツオなどの青魚にて細菌汚染によって生成する不揮発性アミン類であることが分かっている。一方最近の研究で醤油中でも検出されることが判明し、全国の市販醤油において予備的な調査をしたところ、多いもので1,000mg/L以上のヒスタミンが含まれている醤油もあった。醤油中のヒスタミンの生成機構は耐塩性のあるアミン生産性乳酸菌により、アミノ酸のヒスチジンから脱炭酸され生成するものと考えられている。当初は実験室レベルでヒスタミンND諸味はできても工場レベルでは不可能ではないかと考えられていた。しかしながら生揚を生揚協業工場で共同生産するという立場上、この低減化は非常に重要な問題であったので、全力で問題解決に取り組んだ。本生揚協業工場ではまずアミン非生産性の優良な市販乳酸菌の液体培養に取り組み、仕込み初期諸味に添加することを続けた。さらに諸味発酵タンク（高さ10m程度）と仕込み配管（全長150m以上）を洗浄できるシステムに改良し、仕込みする前に洗浄することで従来潜んでいたであろうアミン生産性乳酸菌を駆逐することを繰り返した。その結果、アミン非生産性の優良乳酸菌のみによる適正な乳酸発酵へと変化していき、本生揚協業工場で製造しているすべての諸味がヒスタミンNDとなった。これも生揚を生揚協業工場で共同生産する立場から考えると非常に重要な成果であった。

なおこの研究成果は2016年度（平成28年度）日本醤油技術賞（応用の部）として日本醤油協会から表彰を受けた。また、本生揚協業工場を含めたアミン低減対策プロジェクトチームの一連の実績やデータ公開は醤油業界全体のアミン低減対策に大きな反響をもたらした。特に優良乳酸菌の液体培養方法や配管類の洗浄、大型仕込みタンクの洗浄などの重要性を記したマニュアル本が全国の各醤油工場へと配布され、現在も数多く活用されている。

これら一連の技術とその向上には「醤油」と「生揚協業工場」のキーワードがいずれにも重なっている。安定してなおかつ品質レベルの高い生揚を継続して生産することがとにかく重要で、1964年（昭和39年）の創立以来永遠に続くテーマと言えよう。そんな中、2011年（平成23年）には協業化の横のつながりを生かして「福島県醤油出品評価会」という醤油製品の官能評価の勉強会を立ち上げた。この勉強会では、実際の組合員工場で作っている醤油を持参し、大手メーカーや全国醤油品評会で上位入賞した作品を実際に購入して、これらをお互いに官能評価することを主としている。また、本生揚協業工場にてこれらの醤油の

成分を分析するなどして参加者と技術情報を共有化している。

生揚協業工場としての役割を考えながら行ってきたこれらの技術的な指導等により、組合員同士の情報交換や火入れ技術の向上が効果的にみられるようになった。その結果、特に2012年（平成24年）以降で全国醤油品評会において農林水産大臣賞などの上位入賞作品が飛躍的に増え、全国から福島の生揚に関して注目を集めるようになった。

日本初の生揚協業工場はその歴史を重ねながら、組合員の醤油工場とともに歩んできた。当初は麴品質のバラツキや、詳細な醸造成分の分析方法など技術的課題が多く見受けられたが、熱意検討を重ねた結果、いずれも解決することができた。

審査報告概要

本論文は、醤油醸造において日本初の生揚生産協業化工場として展開した福島県醤油醸造協同組合における生揚品質の向上・安定化に向けた技術的課題の解決に向けた対応から、中小醤油工場の協業化による近代化のプロセスと4つの一般的技術による技術革新の成果を実践的に明らかにしたものである。第一に、大型円盤製麴装置を用いて大量の麴を製造する際、麴品質のバラツキを改善し、高品質化を実現する技術を構築した。第二に、小麦焙煎度と諸味のアルコール発酵の関係を明らかにして合理的な製造方法を構築した。第三に、反射式光度計-RQフレックス-の利用により迅速な醤油中のグルタミン酸測定法を初めて発表した。第四に、醤油中に含まれるアレルギー様物質として問題視されているヒスタミンを低減化する対策に工場をあげて取り組み、ヒスタミンND（非検出）諸味の製造を実現化した。本研究は、生物産業学における実学的研究としての有用な新知見であり、よって審査員一同は博士（生物産業学）の学位を授与する価値があると判断した。