

産学連携による長期間保存が可能な水で戻す乾燥納豆の開発†

善野修平*, 角田翔平**

Development of Rehydratable Dried Natto That Can Be Stored for a Long Time through Industry-Academia Collaboration†

Shuhei Zenno* and Shohei Tsunoda**

Even if freeze-dried natto is rehydrated in water, it loses much of its natto-like quality and cannot be successfully regenerated into natto. In order to be able to eat delicious natto even overseas, we have developed a rehydratable dried natto through industry-academia collaboration. The fermented natto was dried so as not to be subjected to secondary fermentation by blowing at 8-30°C, and then dried to a moisture content of about 7% that enables long-term storage by blowing at 20-80°C. Although this dried natto was very hard as it was, it had a natto-like character, and the cell number of *Bacillus subtilis subsp. natto* was as high as that of normal natto. By swelling with water at room temperature for 6 hours or at refrigerated temperature for 12 hours, it could be regenerated into natto as usual. Natto regenerated with water had more than twice the hardness of normal natto, and the degree of stringing was inversely proportional to the amount of swelling water.

Key words : *Bacillus subtilis subsp. natto*, Industry-academia collaboration, Long-term storage, Rehydratable dried natto, Stockpile food

1 はじめに

納豆は、蒸した大豆を納豆菌によって発酵させた食品で、数多くの日本人に食べられている¹⁾。納豆には良質なタンパク質、繊維質が多く含まれ、大豆の栄養素のみならず、納豆菌や菌が作り出す機能性成分も含まれており²⁾、身近な機能性食品であるといえる。納豆は、血栓を溶かす世界で唯一の食品で、納豆キナーゼが血栓を溶かし、脳卒中や脳梗塞のリスクを軽減してくれる³⁾。その他にも、感染症・癌・動脈硬化・糖尿病・骨粗鬆症など、現代人の抱える様々なリスクを少なくするジピコリン酸・イソフラボン・ビタミンE・レシチン・サポニン・ビタミンB₂・ビタミンK₂・ポリグルタミン酸などが含まれている¹⁾²⁾³⁾。さらに、老化そのものを食い止めるポリアミンも含まれており、アンチエイジング効果が期待できるスーパーフードである¹⁾³⁾。

納豆は乾燥させることにより、スナック菓子のような感覚でサプリメントとして摂取することができる。このような手軽さから、多くの種類の乾燥納豆が国内で販売されている。乾燥納豆には、製法が異なる干し納豆、凍結乾燥納豆、油揚げ納豆の3つのタイプがある⁴⁾。干し

納豆は味が濃厚だが、かなり硬くてそのままでは食べづらい。一方、凍結乾燥納豆と油揚げ納豆は全く硬くなくスナック感覚で食べられる。市販品のほとんどは、何時でも何処でもそのまま食べられる凍結乾燥納豆と油揚げ納豆となっている。

現在、海外在留邦人が130万人、海外旅行者も年間1900万人いる。海外で味香りの良い納豆を手に入れることは簡単ではない。冷凍納豆の輸出は年々増加しているが、輸送や販売時の保管方法に問題があったりして、本来の美味しい納豆がそのまま供給されづらくなっている。また、震災時に日本人が納豆を食べたくても、納豆は常温で保存できないため備蓄用の食料になっていない。これらの海外や震災時の需要に対応する手段の1つとして、乾燥納豆を水で戻して糸引き納豆に再生することが考えられる。実際に、凍結乾燥納豆を3時間水で戻して納豆に再生する方法が公開されている⁵⁾。海外に在住する日本人が水で戻して試食しているが、柔らかすぎて納豆らしさの粘り気がないとコメントしている⁶⁾。

このような状況の中、前橋市の株式会社上州農産は、水で戻して美味しい、水戻し専用の乾燥納豆を開発でき

† 原稿受理 令和4年2月28日 Received February 28, 2022

* 生物工学科 (Department of Biotechnology), 地域連携推進センター (Center for Regional Collaboration)

** 生物工学科 平成28年度卒業生

れば、納豆の新しい商流を作ることができると考えた。この水戻し専用の乾燥納豆の開発を、上州農産と前橋工科大学が連携して行った。本研究では、乾燥納豆の製造方法を確立し、その長期間の保存性を評価し、その水戻し条件を決定して水戻しできる美味しい納豆を創り上げた。

2 研究方法

2・1 乾燥納豆の製造

上州農産は、水戻しにより糸引き納豆として復元可能な乾燥納豆を、チロシンの析出なく製造する方法を確立した⁷⁾。具体的には、大豆を水で洗浄して常温の水に15–18時間浸漬して膨張させ、それを0.12 MPa程度に加圧しながら30–60分間蒸した。蒸し上がった大豆を熱いうちに平容器に拡げ、それに納豆菌(宮城野菌)*Bacillus subtilis subsp. natto* (strain BEST195)の懸濁液を振り掛けた。その種付け後の大豆を網バット(3 mm径の孔が4 mmピッチで形成されたパンチングメタル製)に重ならないように一平面状に拡げてから、湿度90%、温度40℃の条件で15–20時間、発酵熟成させた。この納豆を網バットのまま、送風しながら8–30℃の温度範囲で30–40時間、糸を引かない程度まで予備乾燥した。予備乾燥した納豆を送風しながらより高い20–80℃の温度範囲で30–40時間、表面が飴色になるまで本乾燥して、乾燥納豆にした。

2・2 乾燥納豆の長期保存に関する試験

食品の消費期限は、腐敗指標(一般生菌数が 10^7 個/gに達するまで)⁸⁾や、劣化指標(酸価が3を超えかつ過酸化物質価が30を超えるまで、あるいは酸価が5を超えるまで、あるいは過酸化物質価が50を超えるまで)⁹⁾で決められるのが一般的である。保存可能な期間を明らかにする目的で、一般生菌数と過酸化物質価・酸価の分析を行った。また、保存性の高い乾燥食品であることを確認するため、水分活性(微生物の生育に必要な自由水の割合)¹⁰⁾を決定した。

2・2・1 乾燥納豆の保存

乾燥納豆を透明なポリエチレン袋に入れ、ポリシーラー(富士インパルス)を用いて密封し、机の引き出しの中で室温保存した。一定期間保存した後、一部を分析用に回収し、残りを再び密封して保存を継続した。

2・2・2 一般生菌数の分析

乾燥納豆1 gと滅菌した生理食塩水9 mLを混合して納豆から生菌を外した。このサンプルを適当に希釈してパールコア標準寒天培地(栄研化学)に接種し、36℃で24時間培養してコロニーを形成させた。形成したコロニー数を計測して、一般生菌数cfu(colony forming unit, コロニー形成単位)/gを決定した。また、10分間沸騰処理して、芽胞状態の生菌数を同様に決定した。

2・2・3 過酸化物質価と酸価の分析

乾燥納豆の過酸化物質価と酸価を、群馬県立産業技術センターに依頼して基準油脂分析試験法⁹⁾により決定した。

過酸化物質価は酸化の初めに生ずるヒドロパーオキシドの量であり、酸価は酸化に伴う遊離脂肪酸量である。

2・2・4 水分活性(自由水含水率)の分析

乾燥納豆の水分活性を、株式会社食環境衛生研究所に依頼して電気抵抗式機器を用いたコンウェイユニット法¹⁰⁾により決定した。

2・3 乾燥納豆の水戻しに関する試験

2・3・1 乾燥納豆の水戻し

乾燥納豆20 gに水20 mLもしくは水28 mLを加えて混合し、蓋をしてから室温もしくは冷蔵温度で3–14時間、膨潤させた。Fig.1に示すように、水20 mL(乾燥納豆の1.0倍量)では乾燥納豆の上側が水に漬かっている(水位が低い)が、水28 mL(乾燥納豆の1.4倍量)では乾燥納豆が完全に水に漬かっている(水位が高い)状態である。

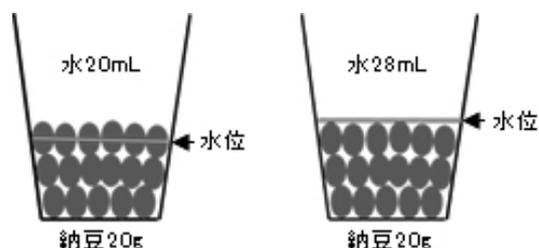


Fig. 1. Water volume and water level when rehydrating dried natto.

2・3・2 水戻し納豆の試食による評価

水で戻した乾燥納豆(水戻し納豆)50粒を1粒ずつ試食して、硬い部分の有無を計測し、水戻しできたかどうかを評価した。

2・3・3 水戻し納豆のクリープメーターによる評価

水戻し納豆5粒を1粒ずつ、Fig.2に示すように、クリープメーター(RE2-33005C, 株式会社山電)にセットして、その破断強度を測定し、水戻しの度合いを評価した。破断強度の測定条件は、格納ピッチが0.25 sec, 測定歪率が95.00%, 測定速度が0.1 mm/sec, 接触面直径が1.15 mmである。

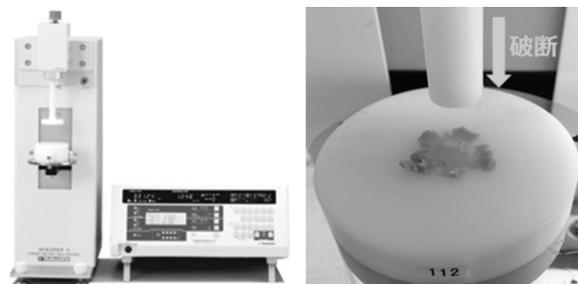


Fig. 2. Creep meter (left) and breaking of rehydrated natto (right).

2・3・4 水戻し納豆の γ -ポリグルタミン酸量の決定

セチルトリメチルアンモニウムプロミド(CET)を用い

た方法¹¹⁾で、水戻し納豆中の γ -ポリグルタミン酸を定量した。納豆 25 g に 2.5%(w/v)トリクロロ酢酸 75 mL を加えて混合し、50°Cで15分間攪拌しながら溶解した。その溶解物をろ過し、さらに遠心分離して上澄みを回収した。その上澄みを pH 7.0 に調整した後、エタノールを加えてから遠心分離して沈殿を回収した。その沈殿を 80%(v/v)エタノールで2回洗浄した後、これを蒸留水で溶解した。このサンプル 1 mL に蒸留水 4 mL と 0.1 M CET/1 M 塩化ナトリウム 1 mL を加えて混合し 20 分間放置してから、400 nm の吸光度を測定した。併せて、2つのブランク 1(サンプルの代わりに蒸留水を用いる)とブランク 2(CET の代わりに蒸留水を用いる)についても、同様に測定した。

3 結果と考察

3・1 乾燥納豆の水分活性と一般生菌数の推移

乾燥納豆の水分活性は、微生物が増殖できない 0.45(水分量が 7.6%)であった。この結果は、乾燥納豆が長期保存に適している乾物であることを示している。

保存期間中の乾燥納豆の一般生菌数の推移を、Fig.3 に示した。微生物が増殖できない水分活性であるので当然であるが、一般生菌数は測定開始から 16 週目まで、 3×10^9 cfu/g 前後で維持されていた。また、保存開始時の乾燥納豆についての煮沸処理後の生菌数は、煮沸処理しない一般生菌数の 92%程であった。このことから、乾燥納豆中の納豆菌の殆どすべては芽胞状態で存在し、少なくとも 16 週間(約 4 ヶ月間)は再生できることが分かった。

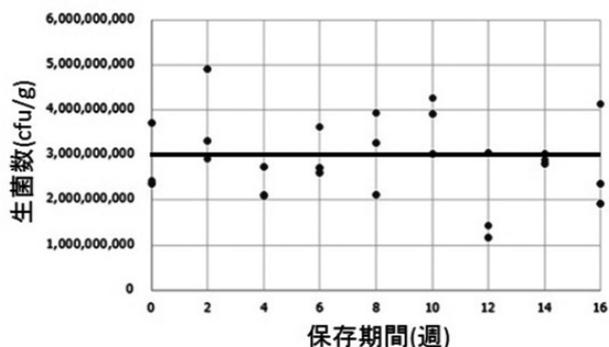


Fig. 3. Changes in the number of general viable bacteria in dried natto.

乾燥納豆の一般生菌数は腐敗指標(10^7 cfu/g)を明らかに超えているが、腐敗を意味するものではない。納豆中の納豆菌を水分活性 0.45 まで乾燥させることで、再生可能な芽胞状態にしているだけであり、全てが善玉菌の納豆菌である。株式会社佐藤醤油店から製造販売されている凍結乾燥納豆には、 4.3×10^9 cfu/g の納豆菌が生きてると発表されている¹²⁾。この凍結乾燥納豆の納豆菌数は、本研究の送風乾燥納豆の納豆菌数(3×10^9 cfu/g)とほぼ一致している。このことから、納豆の乾燥方法が違っても、水分活性 0.5 以下にした乾燥納豆であれば、納豆菌を生かしたまま長期保存ができることが分かる。

3・2 乾燥納豆の過酸化価と酸価の推移

食品中の油脂は酸化して、油脂 \rightarrow 過酸化物 \rightarrow 重合物・分解物に変化する¹³⁾。過酸化物の量が過酸化価で、さらに分解してできた脂肪酸の量が酸価である。室温で保存した乾燥納豆の過酸化価と酸価の推移を、Table 1 に示した。過酸化価は保存日数が 0 日 \rightarrow 40 日 \rightarrow 628 日と増すにつれて増加傾向を示し、628 日目には 2.6 倍に増加した。一方、酸価は 40 日まで増加が見られなかったが、628 日目に 1.7 倍に増加した。

Table 1. Changes in peroxide value and acid value of dried natto.

測定内容	保存期間(日)		
	0	40	628
過酸化価(meg/kg)	2.3	3.0	6.0
酸価	3.5	3.2	5.1

厚生労働省は、油脂で処理した菓子(脂質 10%以上)について、酸価が 3 を超えかつ過酸化価が 30 を超えるもの、酸価が 5 を超えるもの、過酸化価が 50 を超えるものを販売しないことと定めている⁹⁾。乾燥納豆は油脂で処理した菓子ではないが、この指導に則ると保存 628 日目(1.72 年目)の乾燥納豆は酸価が 5 を超えるものに該当する。乾燥納豆を菓子であると考え、消費期限は 1.7 年となる。しかしながら、この結果は酸化防止の措置がとられた長期保存用の袋を使用せず、酸化防止剤の封入等も行っていない場合の結果である。食品の酸化は油脂含量と袋内の酸素量で決っている¹⁴⁾。脱気・窒素置換・脱酸素剤封入や遮光性・ガス遮断性の袋を使用するなどの酸化防止の措置を行えば、乾燥納豆の消費期限を 1.7 年の 3 倍以上にすることは十分可能であると考えられる。水で戻す乾燥納豆は震災用の備蓄食料に利用できると思われる。

3・3 乾燥納豆の水戻しに関する試験

3・3・1 見た目による水戻し納豆の評価

乾燥納豆 20 g を水 28 mL 室温 6 時間で戻した水戻し納豆を、Fig. 4 に示した。水戻し納豆は膨らんで 1 粒 1 粒が明らかに乾燥納豆より一回り大きくなった。また、水戻し納豆の糸引きを箸で伸ばしてみたところ、通常納豆より明らかに糸引きが少ないと感じた。

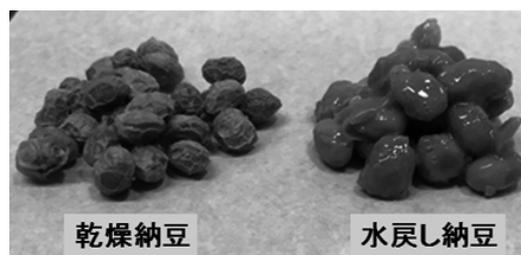


Fig. 4. Dried natto (left) and rehydrated natto (right).

3・3・2 試食による水戻し納豆の評価

水戻し納豆 50 粒について、試食して硬い部分があった粒数を測定した(Fig. 5).

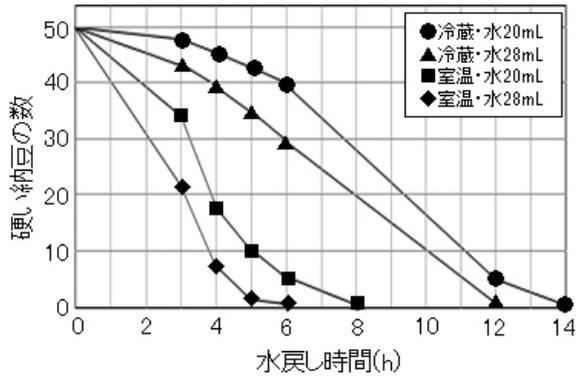


Fig. 5. Texture test of rehydrated natto.

乾燥納豆の水戻しは、冷蔵よりも室温の方がより速く進み、水量 20 mL より 28 mL の方がより速く進んだ。水戻し条件をまとめると、水 20 mL/28 mL で 90%以上の納豆が水戻しできるのに、室温で 5-6 時間、冷蔵で 12 時間を要することが分る。また、室温で 32-58%が水戻しできていることから考えると、挽き割り乾燥納豆であれば、1 時間以内で水戻しできるのではないかと考えられる。

3・3・3 クリープメーターによる水戻し納豆の評価

水戻し納豆 5 粒について、クリープメーターを用いて破断する過程の強度を荷重(N)として計測した。荷重が大きければ、硬い部分があることを意味している。Fig.6 に比較対照である通常納豆, Fig. 7 に室温で水戻した乾燥納豆, Fig. 8 に冷蔵で水戻した乾燥納豆の破断強度試験の結果を示す。

通常納豆は 5 サンプルとも、破断が進む(歪率が増す)につれ荷重が緩やかに大きくなる傾向を示した(Fig. 6)。この破断強度曲線は通常納豆に硬い部分がないことを示している。室温水戻し納豆の場合、3 時間の水戻しでは荷重の大きなスパイクが複数見られたが、6 時間と 13 時間の水戻しではスパイクがほぼなくなった(Fig. 7)。室温での水戻しは 6 時間で十分であることが分る。冷蔵水戻し納豆の場合では、3 時間と 6 時間でスパイクが観察されたが、13.5 時間では観察されなくなった(Fig. 8)。冷蔵での水戻しには、1 晩程度の時間が必要であることが分る。これらの結果は、試食により明らかにされた水戻し時間の結果(Fig. 5)とほぼ一致している。

納豆を 1 粒ずつ食べて噛み終える地点を歪率 80% と仮定して納豆の硬さを見積ると、通常納豆では 5N 程の荷重であるが(Fig. 6)、室温と冷蔵の水戻し納豆では少なくとも 10N 程の荷重になっている(Fig. 7, Fig. 8)。このことは、水戻し納豆が通常納豆の 2 倍以上の硬さであることを示している。また、室温での水戻しの 6 時間と 13 時間で歪率 80% の荷重を比較すると、両方とも約 10 N である(Fig. 7)。このことは、水戻し納豆の硬さは

水への浸潤時間をより長くしても変化しないことを示している。

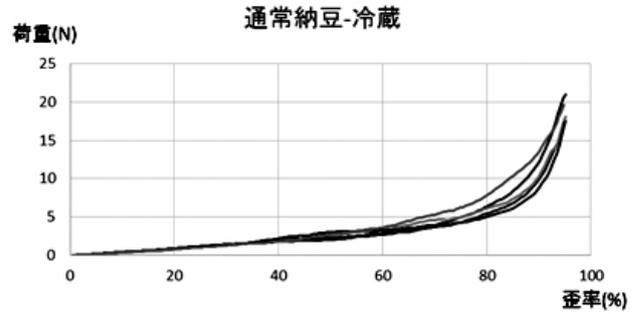


Fig. 6. Breaking strength curve of normal natto stored in a refrigerator.

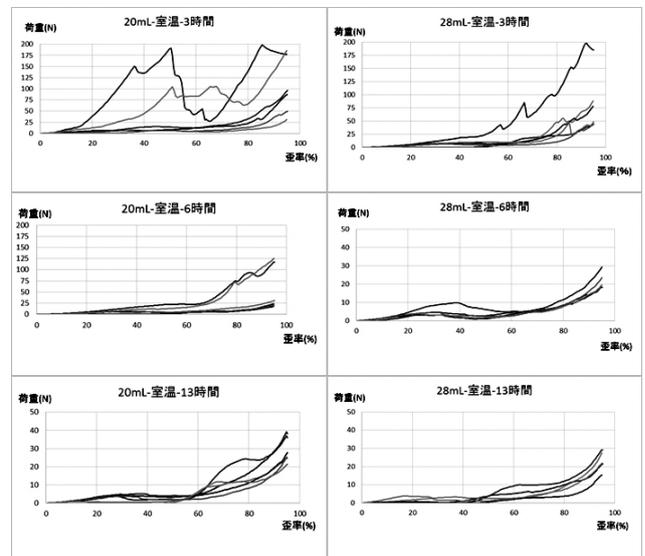


Fig.7. Breaking strength curve of dried natto rehydrated at room temperature.

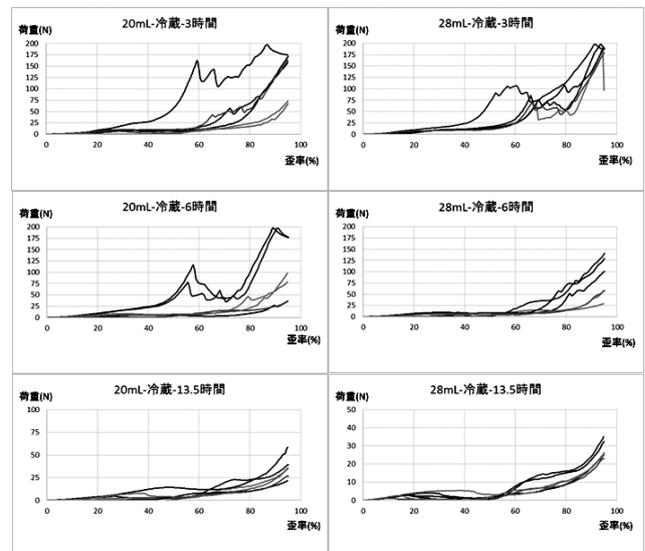


Fig. 8. Breaking strength curve of dried natto rehydrated at refrigerating temperature.

3・3・4 水戻し納豆の γ -ポリグルタミン酸含量

通常納豆と乾燥納豆の重量の差は 13.5 g であった。そのことから、乾燥納豆の水分量を元に戻したサンプルとして、水 13.5 mL で戻した水戻し乾燥納豆も調製した。Fig. 9 は、それぞれの納豆の γ -ポリグルタミン酸含量を調べた結果である。

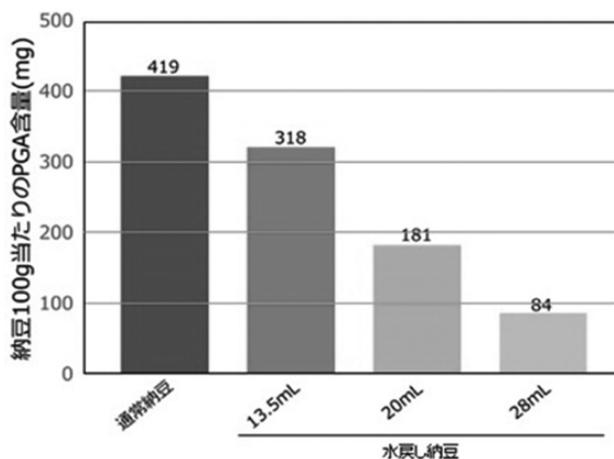


Fig. 9. Γ -Polyglutamic acid content of natto and rehydrated natto.

通常納豆には、 γ -ポリグルタミン酸が 4.19 mg/g 含まれていた。一方、水戻し納豆は水量を増やすに従って、含まれる γ -ポリグルタミン酸が少なくなった。通常納豆を 100% として γ -ポリグルタミン酸の相対量を比較すると、13.5 mL の水戻し納豆が 75.9%、20 mL の水戻し納豆が 43.2%、28 mL の水戻し納豆が 20.0% になる。この結果は納豆に絡み付いていた γ -ポリグルタミン酸が水戻しで外されたと解釈することができる。粘り成分である γ -ポリグルタミン酸が減ることは、納豆らしさを損なうことである。最終的には、粘りと硬さを総合的に判断して、水戻しの水量を決める必要がある。

4 おわりに

開発された水で戻す乾燥納豆は、納豆菌を非常に多く含んでおり、プロバイオティクス効果¹⁵⁾を十分期待できる。雑菌が増殖できない乾物であることから、腐敗には心配が要らないが、油脂含量が高いため酸化による劣化には気を配る必要がある。海外用や備蓄用の長期保存が可能な食品にする際には、酸化防止をしっかりとすることが重要となる。水で戻す納豆は室温で 5-6 時間、冷蔵で 1 晩で、納豆に水戻しできるが、もっと短時間で水戻しができる挽き割り納豆も望まれるところであろう。上州農産は水で戻す乾燥納豆の提案で、群馬ベンチャーサミット 2016「水で戻す糸引き納豆で世界を救う」でグランプリ、ぐんぎんビジネスサポート大賞 2016「美味しい納豆で世界を救う」で優秀賞を受賞した¹⁶⁾。これらの受賞は、長期保存できる納豆、常温輸送が可能な納豆、水

戻し専用の納豆という、今までにない視点が評価されていることであろう。

前橋工科大学では、地元の中小企業と連携して新製品・新技術を開発することに取り組んでいる。本研究もその一環として行われた。地域では新しい発想の興味深い提案があったとしても、予算のかかる技術的な解決が必要でそのまま放置される場合が数多くある。この地域産業ニーズに応える事業として、前橋市は 2012-2016 年度の 5 年間、前橋工科大学と地元企業の共同研究を支援する「前橋市公募型共同研究事業」を、66 件実施した¹⁷⁾。これらの実績も含めてであるが、2014-2017 年度の中小企業との共同研究の割合が最も大きい大学に、前橋工科大学が選ばれた¹⁸⁾。地方大学には中小企業との産学連携を積極的に行う姿勢が、いま求められている。なぜなら、産学連携を必要としているのは、大企業ではなくまさに中小企業であるからである。

謝辞

乾燥納豆を提供して下さった(株)上州農産の松村省兒氏に感謝する。本研究は、NPO 法人北関東産官学研究会の 2016 年度共同研究事業「水で戻す糸引き納豆の品質保証と製造技術の開発」の支援を受けた。

参考文献

- 1) フリー百科事典 Wikipedia : 納豆,
<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E7%B4%8D%E8%B1%86>.
- 2) 有限会社山重食品 : 納豆の効能,
<http://35yamashige.com/good/>.
- 3) 阿部伸之介 : 本当にすごい効果！日本が世界に誇るスーパーフードベスト 10,
https://shinnosukeabe.com/japan_superfood/.
- 4) かえるっ舗 : ご存知ですか？ 3 種類の「乾燥納豆」,
<http://www.kaeruppo.net/?mode=ff>.
- 5) 株式会社キョウワコーポレーション : 海外で納豆を,
<https://www.kyowa-corporation.com/kans3.html>.
- 6) Tarucci : 【海外在住記】納豆が売っていないから干し納豆を買って戻してみた,
<https://ch.nicovideo.jp/tarucci/blomaga/ar1104865>.
- 7) 松村省兒, 松村徳崇 : 乾燥納豆の製造方法, 日本特許公報, 公開特許, 特開 2018-085973, 2018-06-07,
<https://astamuse.com/ja/published/JP/No/2018085973>.
- 8) 厚生労働省 : 食品の期限設定の考え方と実例について,
https://www.maff.go.jp/j/study/syoku_loss/02/pdf/ref_data2.pdf.
- 9) 厚生労働省 : 菓子の製造・取扱いに関する衛生上の指導について(環食第 248 号),
https://www.mhlw.go.jp/web/t_doc?dataId=00ta5745&dataType=1&pageNo=1.
- 10) 一般財団法人日本食品分析センター : 水分活性について～食品の保存性のパラメーター～,
https://www.jfirl.or.jp/storage/file/news_no38.pdf.

- 11) 菅野彰重, 高松晴樹: セチルトリメチルアンモニウムプロミドを用いた納豆の γ -ポリグルタミン酸の定量, 日本食品科学工学会誌, **42**(11), 878-886, 1995.
- 12) 株式会社佐藤醤油店: 乾燥納豆(フリーズドライ製法), https://www.sagawa-shoyu.co.jp/item/dried_natto/.
- 13) 間瀬雅子: 賞味期限設定指標としての油脂の酸化, http://www.aichi-inst.jp/shokuhin/other/shokuhin_news/s_no18_03.pdf.
- 14) 独立行政法人中小企業基盤整備機構: 最終回包装による食品保存, <https://j-net21.smrj.go.jp/special/foods05/44.html>.
- 15) 細井知弘: Probiotic としての納豆菌の作用: 腸内菌叢と腸管免疫システムに対する作用, 日本醸造協会誌, **98**, 830-839, 2003.
- 16) 上州農産: 水で戻す納豆, http://joshunousan.jp/?page_id=449.
- 17) 善野修平, 下田祐紀夫: 前橋市公募型共同研究事業5年間のまとめ, 1-26, 公立大学法人前橋工科大学, 前橋, 2018.
- 18) 安田聡子, 隅藏康一, 長根(齋藤)美, 富澤宏之: 産学連携: 中小企業と積極的に協力する大学および連携プロジェクトの研究, 日本政策金融公庫論集, **44**, 71-98, 2019.