

納豆の科学

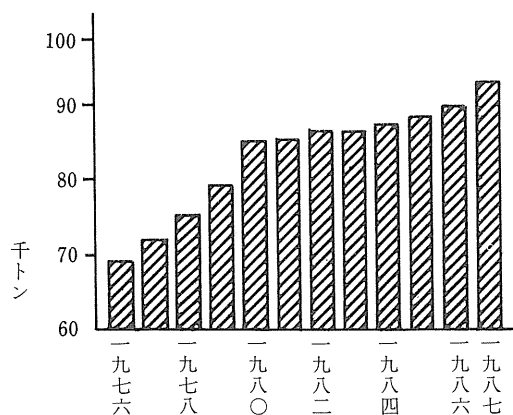
江崎 秀 男

1. はじめに

大豆は「畑の肉」、「畑のマグロ」と呼ばれるように、蛋白質と脂肪に富むすぐれた食糧資源であり、我国においても古くから、味噌、醤油、納豆、豆腐、油揚げ、がんもどき、凍豆腐、ゆば、黄粉、煮豆等の形で庶民に親しまれてきた。これらの伝統的な大豆食品は味噌、醤油、納豆のような微生物を利用した大豆醸酵食品と非醸酵食品とに2分される。後者に属する食品の大半は大豆組織を破壊して蛋白質を主体とする可溶性成分を取り出して利用したものである。いずれの場合も大豆中の栄養成分を有効に利用しようとする我々先祖伝来の文化的遺産といえよう。また、近年においては、大豆より得られた「植物性分離蛋白質」が「もう1つの肉」として種々の加工食品等に利用されるようになった。

これらの大豆食品は、近年世界各地で注目を浴び、特にアメリカにおいては、テンペ（インドネシアの伝統的な大豆醸酵食品）、豆腐、醤油、分離大豆蛋白、味噌等の消費が伸びている。また、Beuchat¹⁾は1984年、「醤油、味噌、テンペ等の大豆醸酵食品の消費が合衆国において増加しつつあり、今後も増加の傾向を歩むことは確かである。」と述べている。我国においても、最近のヘルシー食品ブームの波にのり、大豆食品の見直しが行われるようになりつつある。

これらの大豆醸酵食品の中で、現在、特に納豆に人気が集まっているようである。納豆は豆腐、味噌に次ぐ生産量の多い大豆加工食品であり、その伸び率も順調である(図1)。



注) 1965年 / 33,000トン, 71年 / 67,000トン,
86年 / 89,000トン (前年比1.1%増)

図1 納豆の生産量推移(使用大豆換算)
〔佐藤正忠：食品と科学、Vol.31(1989)より〕

納豆は従来関東以北の人々の食べ物であったが、最近では近畿、九州、沖縄地区でも消費が伸び、これまでの地域食品としてのイメージを脱却して、次第に広域食品のイメージへと転換をみせてきている。

ところで、私が所属する食品微生物学研究室においても、数年前より「納豆の持つ健康との関わり」をメインテーマとして納豆の研究を始めており、今回、この生活の科学の執筆のチャンスを借りて、「納豆の科学」というテーマで納豆という日本の伝統的な食品を考え直してみたい。

2. 納豆の歴史

納豆のはじまり

納豆には塩納豆（塩辛納豆）と糸引き納豆がある。前者の納豆は、すでに米、大豆の栽培が広まる弥生時代（BC300年頃）において豆豉姜（煮豆を生姜とともに塩漬し醗酵させたもの）という納豆の祖形で存在していた。この納豆は中国から我国に入ってきたものと考えられ、唐納豆とも呼ばれる。そしてAD239年には、邪馬台国の若き女王卑弥呼もこの豉と呼ばれた塩辛納豆を薬餌兼調味料として利用していたという記録もある。その後、奈良時代においては、この塩辛納豆は寺納豆として各地に広がっていった。

この塩納豆に対し、糸引き納豆は日本で生まれた産物である。その起源については諸説があるが、そのトップに八幡太郎義家の「納豆ロード」が登場するのである。彼は前9年の役（1051～1062年）において、現在の岩手県の平泉付近で、父源頼義とともに衣川関にこもった安部一族を攻略するために近くに布陣していた。馬糧大豆を煮こんでいる時、突然敵の襲来の知らせをうけた義家軍は、急いで煮豆を俵づめにし、馬の背につけて数日間応戦に挑んだ。戦いを終え、俵を開いてみると煮豆はこうばしい香気を放ち、いわゆる納豆となっていたのであった。思いきってこの豆を食べてみるとなかなか旨いことがわかった。また義家は、この豆が野戦食としても十分に役目を果たすことに気付いたのである。奥州で納豆を発見した義家軍団は、その後も、この納豆の製法を街道筋に残しながら京への長旅を続けた。彼らが馬とともに歩いた道は、まさしく「納豆の道（納豆ロード）」であったのである。その後、1083年に始まる後3年の役も納豆の手法を各地に広める結果となった。そして、これらの戦いに遠征した兵士たちも、奥州から帰還後、各地に納豆の製造技術を広めていった。

室町時代になると、この糸引き納豆は醤油と出会うことにより、納豆の粘りを醤油でのばす方法を知り、これまでの香のもの、なめ物として納豆を利用するのみならず、納豆に混ぜ物をしたり、ご飯にかけて食べるようになったのである。そして納豆は、その糸引き性のため、「いと」、「おいと」などの愛称で庶民に親しまれていった。さらに戦国、安土桃山時代においては、納豆は陣中食としての役割をも果たしていた。

時代は経ち、徳川の安定期に入ると糸引き納豆はさらに大衆化し、「ナット、ナットオーッ！」という威勢のよい売り声が朝早くから江戸の町を活気づけていった。江戸っ子の朝食には、納豆が味噌汁、おしんことともになくてはならないものになっていたのである。

挽き割り納豆、ゴト納豆、木綿納豆等が東北各地でつくられたのもこの時代の初めであった。

納豆近代化の夜明け

明治に入ると、江戸時代のバラ納豆、^{ザル}箆納豆の行商スタイルに代わり、東京にもワラ^{ツト}苞納豆が急速に普及していった。ほこりっぱい町中での量り売りが明治の人には不潔な印象を与えたためであろう。

この時代はまた、納豆近代化の夜明けでもあった。ワラに付着した天然納豆菌にのみ依存してきたこれまでの長い納豆史の流れを大きく変える転換期を迎えたのである。

明治27年、矢部規矩治氏は納豆菌の研究に初めて着手し、桿状菌1種類、小球菌3種類の分離に成功し、納豆はこれらの数種類の混合菌によって作られるという見解を示した。

しかし明治38年、東大の沢村真農学博士は、市販の納豆より納豆特有の粘りと風味をだす好気性有胞子の単一の菌を見出し、この細菌を *Bacillus natto* SAWAMURA と命名し、「納豆は単一の菌によって十分に作り得る。」という単独説を発表した。その後、さまざまな納豆より納豆菌が分離されたが、いずれもその菌性は *Bacillus natto* SAWAMURA に一致し、従来の混合菌説は否定されていった。明治45年には、盛岡高等農林学校の村松舜祐博士が3種類の優良な納豆菌（村松1号、2号、3号）を分離し、この菌によって良質の納豆が製造できることを公表した。

他方、北海道大学の半沢洵博士は、納豆菌の純粹培養に成功し、納豆菌の頒布に努めた。また彼は、従来のワラ苞納豆に代わり、衛生的な経木や折箱を利用する納豆製造法の研究に着手した。大正8年には、納豆容器改良会を設立し、培養菌と改良容器を用いた「半沢式納豆製造法」の普及に努めた。この半沢式製造法は、先見性のある業者には大歓迎され次第に普及していったが、醗酵管理の無知、未熟さが原因で失敗も続出し、廃業する業者も少なくなかった。納豆業者は、ひたすら神仏にひれ伏し、死にもの狂いで納豆作りを行ったのであった。まさしく、納豆業界にとっては暗黒の時代であった。

このような背景の中で納豆製造業者に画期的な解決策を提供したのが、仙台の三浦二郎氏の「文化室」の発案であった。彼もまた、納豆の製造法に対して血のにじむような苦勞を重ねていた。ある日彼は、堆肥から立ち昇る湯気を見て「これだ」と思い、さっそく醗酵室の天井に通気孔を取り付けその室で納豆を作ってみたところ、思い通りの製品ができることを発見したのである。この室はやがて「文化室」と呼ばれるようになり、この文化室を利用することによって、経木を使った折箱の中での安定した宮城野納豆作りが行われていった。ここにきて、半沢氏の提唱した「培養納豆菌と改良容器による新製法」の夢が実現し、納豆工業の近代化が急速に進むことになったのである。

そして昭和11年には、水戸駅で納豆のホーム売りが爆発的な人気を集めた。また秋田の横手村でも、1村73軒中、70軒の家族が毎日早朝に、前日仕込んだ挽き割り納豆をカゴいっぱい背負い行商に出かける繁盛ぶりであった。

しかし昭和も、納豆の普及にとっては容易な時代ではなかった。第2次世界大戦の敗北、そして原料大豆の入手難等で、昭和20年頃には、ほとんどの納豆業者が休業せざるを得な

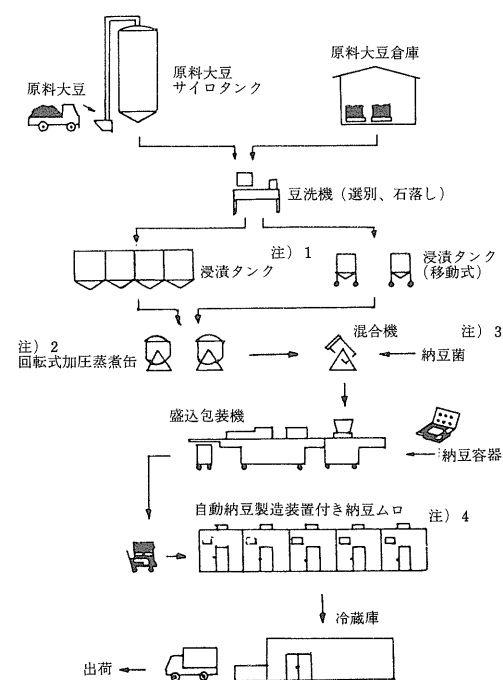
いのが実情であった。しかし、納豆産業に一身を賭けた人々や各県の納豆協組、全国納豆工業組合協会等の努力の結果、再び現在の繁栄への道を切り開いていったのであった。

3. 納豆の種類と製法

納豆と呼ばれるものの中には、蒸煮大豆に納豆菌（*Bacillus natto*）を繁殖させ熟成した糸引納豆と、麴カビ（*Aspergillus oryzae*）を作用させた塩納豆がある。一般に納豆といえば、前者の糸引納豆を指す場合が多い。その他、原料として丸大豆を使用しないで、割砕した大豆を利用した挽き割り納豆も有名である。また、納豆の2次加工品として、ゴト納豆、叩き納豆、干し納豆、トウゾウ等も一部の地域においては郷土食として現在まで受け継がれている。

(1) 糸引納豆

糸引納豆は、古くは蒸煮大豆を稲ワラに包んで暖かい所におき、稲ワラに付着している納豆菌の自然醗酵に依っていたが、現在では、純粋培養された納豆菌を用いて図2に示す



- 注) 1. 浸漬は冬季24時間、夏季6時間
 2. 加圧蒸煮缶の圧力は1.2～1.8kgで、時間は40分程度
 3. 納豆菌の接種時の温度は60～80°C
 4. 醗酵室の温度は37～40°C。時間は約16～20時間

図2 最近の納豆製造ラインのフローシート
 〔図説・日本の食品工業、P385、光琳(1986)より〕

ような製造方法にて衛生的に作られている。

原料大豆は選別、水洗された後、浸漬工程に進む。浸漬時間は大豆の種類や季節によっても異なるが、吸水量が大豆の1.2～1.5倍、すなわち大豆の重量が浸漬前の2.2～2.5倍になる程度が適当である。

水切りを終えた浸漬大豆は、回転式加圧蒸煮缶と呼ばれる蒸気吹き込み加圧釜で蒸煮される。この蒸煮大豆に混合機や噴霧器を用いて納豆菌を接種する。納豆菌は普通、専門の種菌メーカーによって培養されたものが使用されているが、これらは、納豆菌胞子の懸濁液、あるいは乾燥粉末として出回っている。接種された納豆菌胞子は蒸煮大豆表面にて発芽を行い、栄養細胞となり増殖を開始するのである。納豆菌胞子の発芽の最適温度は40℃前後であるが、実際の納豆製造においては、大豆の品温が80℃位で接種される。これは、納豆菌胞子は、耐熱性が強くこの温度ではほとんど発芽力を失わないばかりでなく、休眠状態にある納豆菌胞子を短時間高温に曝らすことは、逆に納豆菌胞子の発芽を促進する効果をも持つからである。また、高温で接種することは納豆菌以外の雑菌の侵入を防ぐのにも有効である。

納豆菌を接種した蒸煮大豆は、即座に自動計量包装機にて一定量ずつポリスチレンや加工紙等の包装容器に盛り込み、醗酵室へと移される。現在では、醗酵室内の温湿度を自動的にコントロールできる自動納豆製造装置も利用されるようになってきた。醗酵初期においては、室の温度が40℃以下に下がらないようにヒーターが点灯し、また、納豆菌の繁殖が強くなる4～6時間後には醗酵熱を生じるので、逆に冷却装置が作動するしくみとなっている。室入れ後、16～20時間で醗酵を終了させる。冷却後、2～7℃にて熟成（後熟）を行うことにより、アンモニア臭等の異臭を揮散させると同時に、納豆の味をまろやかなものとするのである。熟成を終えた納豆は、その品質が低下しないように低温管理のもとで消費地へ運ばれる。

(2) 塩納豆

塩辛納豆、寺納豆とも呼ばれ、古くは寺僧の蛋白性食品として寺院で製造されたもので

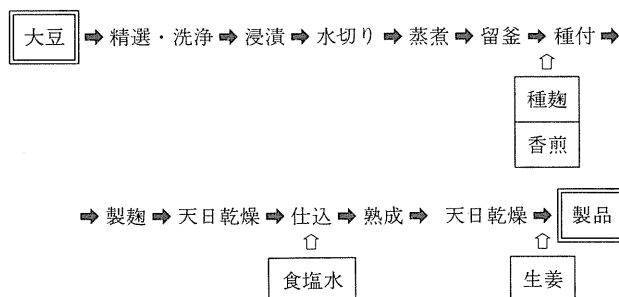


図3 浜納豆の製造工程

ある。京都の大徳寺納豆、静岡県三ヶ日の大福寺納豆が有名である。また、静岡県の浜松地方で商品化された塩納豆は浜納豆という名で市場に出回っている。

浜納豆の原料としては、大豆、香煎(大麦、小麦)、食塩を用い、副原料として生姜や山椒を利用する。その製法を図3に示す。精選、洗浄した大豆は20℃の水に3～4時間浸漬し、その重量を原料大豆の1.6倍程度とする。十分に水切りを行った後、常圧で5～6時間蒸し一晚留釜を行う。翌朝、この蒸大豆を室に広げ、品温が40℃前後になったところで、これに種麴と香煎を混合したものを散布し、よく混ぜ合わせる。種付を終えた蒸大豆は30℃前後にて2～3日間製麴を行うことにより大豆麴をつくる。この麴を天日で乾燥した後、仕込槽にて食塩水とともに3～6ヶ月間熟成させ、再度天日乾燥し、醤油漬けた生姜を加え製品とする。

(3) その他の納豆製品

i) ゴト納豆(雪割り納豆)

山形県の米沢盆地で作られた「納豆づけ」の別名を持つ郷土色の強い塩蔵食である。「ゴト」は5斗に通じ、昔は5斗も入る大樽に仕込んだので「ゴト納豆」の名がつけられた。原料比率は挽き割り納豆1斗に対し、麴5升を加え、塩は好みに応じて適量とされた。このゴト納豆を商品化したものが米沢名物の「雪割り納豆」で、東京にも出荷されその人気も高い。ゴト納豆の由来については別の説もある。大豆1石に対し、麴5斗と塩5斗、つまり、「麴5斗」をとって「ゴト(5斗)納豆」と命名したという説である。

ii) 干し納豆

古くは、熊本県の肥後や福島県の会津地方で考えられた保存食である。納豆を濃い食塩水に浸けるか、納豆に食塩を直接散布し、塩味が内部まで浸透するのを待つ。その後ザルに広げ、時々もみほぐしながら天日、あるいは熱風で水分8%以下まで乾燥させる。熱風乾燥においては品温が60℃以上になると風味や色調が悪くなるので、通常は40℃前後が設定される。好みに応じて、赤唐辛子やうす口醤油が利用される場合もある。

iii) トウゾウ

千葉県の市原地方と茨城県の一部で作られた納豆加工食品で、元来、春の農繁期に備えて考案された保存食である。納豆に大豆の煮汁(豆汁)、麴、塩、干し大根などを加え、約半月位熟成させたものである。「トウゾウ」の語源は原料として加える「豆汁」からきたという説や、「豆蔵」すなわち「豆を蔵する」という説など多くの諸説があり確かでない。秋田県の横手地方にも「トゾ」と呼ばれる古代なめみその面影を残した郷土食があり、「納豆塩辛」として親しまれているが、その製法や内容はこの「トウゾウ」に以ている。

iv) ユニセフパウダー

昭和34年、国連ユニセフの委託をうけ、農林省食糧研究所と国立栄養研究所の協同研究により開発された納豆乾燥粉末である。製法は納豆によく似ているが、醗酵時間が6～8時間と短い。醗酵を終えた納豆は減圧下で乾燥し、粉末状とする。製品は貯蔵性に富み、大豆臭は消失し、独特の軽い芳香と淡白なうま味を有する。このユニセフパウダー入りのビスケットを試作し、学童を対象として嗜好テストを行ったところ、学齢、男女の区別な

く良好な結果が得られた。

4. 納豆の化学成分と栄養価

(1) 納豆の栄養成分

納豆は表1に示すように豊富な蛋白質、脂質、ミネラル、ビタミン等の栄養成分を含む食品であるが、これらの成分は、原料大豆に由来する成分と納豆菌の醸酵によって2次的に生産される成分とに分類できる。また、大豆を納豆に加工すると、大豆組織が納豆菌の生産する酵素作用により軟化し、その結果、煮豆等では期待できない消化吸収の向上がはかられる。

表1 納豆の栄養成分 (100 g 当たり)

	ゆで大豆	納豆	牛肉(もも肉)	鶏卵
〈栄養成分〉(g)				
水分	63.5	59.5	71.0	74.7
タンパク質	16.0	16.5	22.3	12.3
脂質	9.0	10.0	4.9	11.2
糖質	7.6	9.8	0.7	0.9
セニ	2.1	2.3	0	0
灰分	1.8	1.9	1.1	0.9
エネルギー(kcal)	180	200	143	162
〈無機質〉(mg)				
カルシウム	70	90	3	55
リン	190	190	160	200
鉄	2.0	3.3	2.2	1.8
ナトリウム	1	2	55	130
カリウム	570	660	350	120
〈ビタミン〉				
A効力(IU)	0	0	0	640
B ₁ (mg)	0.22	0.07	0.10	0.08
B ₂ (mg)	0.09	0.56	0.19	0.48
ナイアシン(mg)	0.5	1.1	6.1	0.1
C(mg)	0	0	2	0
〈コレステロール〉(mg)	0	0	76	428

[科学技術庁資源調査会編、四訂日本食品標準成分表より]

i) 蛋白質

納豆の原料となる大豆中の蛋白質は、納豆菌の生産するプロテアーゼ²⁾の作用によりその50～60%が水溶性の窒素化合物となり、消化吸収性が上昇するといわれている。しかし、その吸収率については、納豆の摂取の方法によって幅がある。納豆のみを摂取した場合の結果を表2に、米飲に28%納豆を加えた場合を表3に示す。

表2 納豆の消化吸収率（小嶋ら）

	蛋白質	脂 肪	炭水化物	纖 維	灰 分
	%	%	%	%	%
大 豆	71.4	73.5	98.1	54.1	60.7
納 豆	81.0	82.3	97.5	53.3	61.6

〔納豆沿革史、P347(1975)より〕

表3 白ネズミによる大豆製品の消化吸収率

大豆製品食の種別			28 % 納 豆 食			28 % 蒸 煮 大 豆 食			28 % 生大豆粉食		
供試白鼠	番 号		1	2	(平均)	1	2	(平均)	1	2	(平均)
	性		♂	♀		♂	♂		♂	♂	
	体 重 { 初 終 g g }		193 187	149 150		225 222	210 210		159 160	197 197	
総 摂 取 食 量 (乾物) g			61.52	62.58	62.05	85.94	85.94	85.94	71.48	71.02	71.25
1 日平均摂取食量(乾物) g			8.79	8.94	8.87	12.23	12.23	12.23	10.21	10.15	10.18
総 排 せ つ 糞 量 (乾物) g			4.27	4.16	4.21	5.16	4.93	5.05	4.83	4.90	4.87
1 日 平 均 糞 量 (乾物) g			0.61	0.59	0.60	0.74	0.70	0.72	0.69	0.70	0.70
消化吸収率	粗蛋白質%		86.16	87.40	86.78	83.20	83.16	83.18	80.92	82.49	81.71
	粗 脂 肪%		89.90	89.60	89.77	89.66	89.73	89.70	83.38	82.01	82.70
	糖 質%		98.25	96.53	97.39	97.93	98.18	93.06	98.39	98.09	98.24
	粗 纖 維%		56.76	54.94	55.83	74.71	74.19	74.45	69.91	74.71	72.31
	粗 灰 分%		48.43	53.54	50.99	71.63	74.07	72.85	75.24	71.63	73.44
総 量 の 消 化 吸 収 率 %			—	—	93.20	—	—	94.37	—	—	93.11

備考：粗繊維は分解率とすべきものと考えたが一応消化吸収率の欄に加えて表示した。

〔林：国民衛生、Vol.28(1959)より〕

ii) 炭水化物

大豆中には約28%の炭水化物が含まれるが、穀類やイモ類と異なり、デンプンはほとんど含まれない。主な炭水化物はアラビノガラクトンをはじめとする複雑な多糖類とシュクロース、ラフィノース、スタキオース等のオリゴ糖である。これらの炭水化物のうち、シュクロースは消化されるが、その他のラフィノース、スタキオース等は人間の消化器内での消化吸収が困難である。そのため、これらの炭水化物は大腸まで移行し、腸内細菌の栄養源となり、その結果として腸内ガスの発生をひき起こすので、食品として大きな問題を生じてくる³⁾。

この難消化性オリゴ糖の納豆製造工程における動向に関して菅野ら⁴⁾の研究がある。

当研究室においても、石川⁵⁾はこの難消化性オリゴ糖の問題に取り組み、納豆醗酵によるこれらの糖の変動について調べた。生大豆、浸漬大豆、蒸煮大豆および納豆中のオリゴ糖をガスクロマトグラフィーにて定量したところ(図4)、生大豆中のシュクロース、ラフ

イノース、スタキオースは浸漬、蒸煮の過程を経て半減した。この原因としては、これらのオリゴ糖が水溶性であるため、主に浸漬水に移行したためであると考えられる。さらに、蒸煮大豆中に残存するオリゴ糖は納豆醗酵の過程を経てほとんど消失している。これは、納豆菌の生産する β -フラクトシダーゼ等が納豆醗酵時にこれらのオリゴ糖を分解したためである。

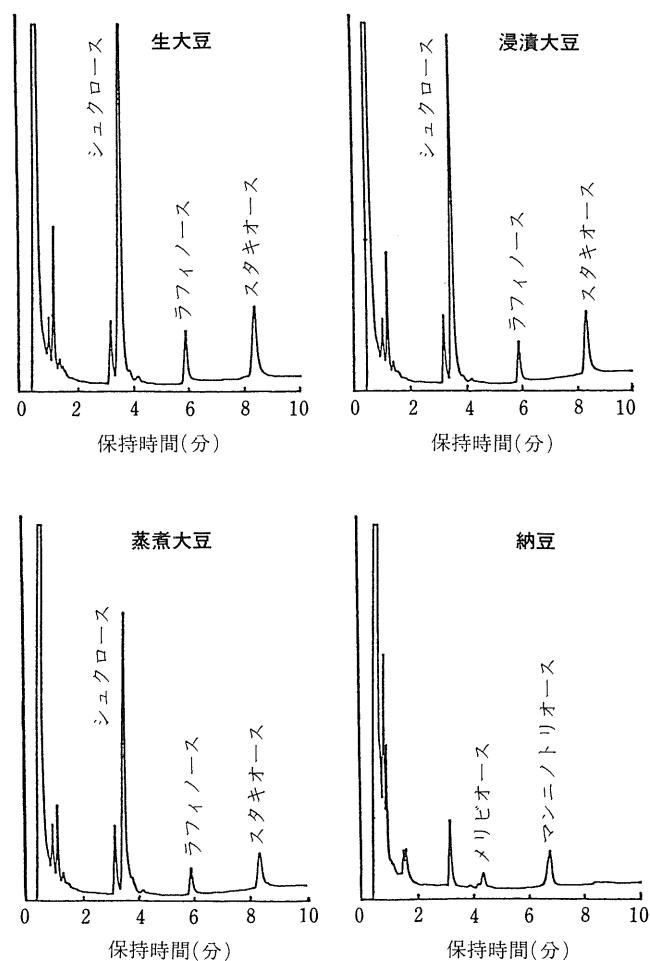


図4 生大豆、浸漬大豆、蒸煮大豆および納豆中のオリゴ糖のガスクロマトグラム

iii) 脂質

納豆中に含まれる良質の脂質は原料大豆に由来するところが多い。従って、納豆中に

も、低コレステロール作用を有するリノール酸等の不飽和脂肪酸が豊富に含まれている。また、納豆中に含まれるレシチンというリン脂質も生体内において重要な役割を果たしてくれることが期待できる。

iv) ビタミン

成分表によるゆで大豆と納豆のビタミン量（表1）を比較すると、ビタミンB₁は減少しているが、ビタミンB₂とナイアシンは増加していることが明らかである。特にビタミンB₂の増加は著しく⁹⁾ その1例を表4に示すが、一般的に醗酵時間とともにその含量が増加し、納豆中には原料大豆中の5～10倍のビタミンB₂が含まれる場合もある。また、ビタミンB₁₂に関しても高橋⁹⁾ は生大豆中の10倍近くの量を納豆に認めている。これらのビタミン類の増加の原因は、納豆醗酵過程における納豆菌のビタミン生産によるものである。

表4 納豆醗酵中のビタミンB₂の消長

醗酵時間 hrs	B ₂ mg%
0	0.216
4	0.292
6	0.415
8	0.709
10	0.860
14	0.979

〔有本ら：栄養研報(1964)より〕

v) 酵 素

大豆中に含まれる酵素類は納豆製造工程の蒸煮過程において完全に熱失活する。しかし、納豆には豊富な酵素群が含まれている。プロテアーゼ²⁾、アミラーゼ¹⁰⁾、セルラーゼ、リパーゼ等の加水分解酵素の他、カタラーゼ、パーオキシダーゼ等の酵素も納豆菌により生産される。プロテアーゼは特に納豆の熟成において重要な役割を果たしている。

これらの酵素類の生体内における有効性については未知の点も多いが、少なくとも、消化器内で同時に摂取した食物の消化を助けるのは事実である。

(2) 納豆の特殊成分

i) 納豆の粘質物

納豆の特徴の1つはその粘質性にあり、この糸引き性が納豆製品の良否を決定するとも言われている。この糸引き性に関与する粘質物は、グルタミン酸のポリペプチド (γ -PGA) とレバンと呼ばれるフラクタン（フラクトースポリマー）との混合物であるが、前者が糸引き性の主体をなしており、後者のレバンはその安定化に役立っている。¹¹⁾⁻¹³⁾

γ -PGAは一般的に納豆醗酵時間に比例して増加するが、このポリマーは納豆菌のプラスミド上に位置する γ -グルタミルトランスペプチダーゼの作用によって生合成されている。¹⁴⁾ また、レバンは、フラクトース残基を有するシュクロース、ラフィノース、スタキ

オース等を基質として、納豆菌の生産するレバンシュクラーゼの作用によって合成される¹⁵⁾ この精製酵素によって合成されたレバンは分子量が約2万であるが、条件次第では、さらに高分子量のレバンも生成することが認められている。当研究室においても、小野崎ら¹⁶⁾ は市販納豆より分離した納豆菌を用いてレバン生成に及ぼす培養条件を検討するとともに、種々の条件下で生成したレバンの分子量分布を調べた。その結果、どのような菌株においても高分子と低分子のレバンが生成されることが判明した。

ii) 納豆の風味

納豆の風味もまた納豆菌の働きによるところが大である。

納豆の旨味は醗酵により大豆蛋白質が分解されて、ペプチド類やアミノ酸類、特にグルタミン酸を生成するためである。グルタミン酸の遊離率は11%程度で、納豆100g中に約0.36gとかなり高濃度で含まれている。

納豆の香気成分としては低級脂肪酸、ジアセチル、ピラジン類、含硫化合物等¹⁷⁾¹⁸⁾ が知られている。低級脂肪酸としては酢酸、プロピオン酸、酪酸、バレリアン酸、カプロン酸、コハク酸等が含まれるが、醗酵によって増加した有機酸は酪酸、プロピオン酸、コハク酸である。納豆中のピラジン類も多種多様であるが、特にテトラメチル、トリメチルおよびジメチルピラジンの含有量は大きい。また、これらのピラジン類は含硫化合物とともに大豆由来の不快臭をマスクし、納豆の風味を改善するうえで重要な役割を担っている。

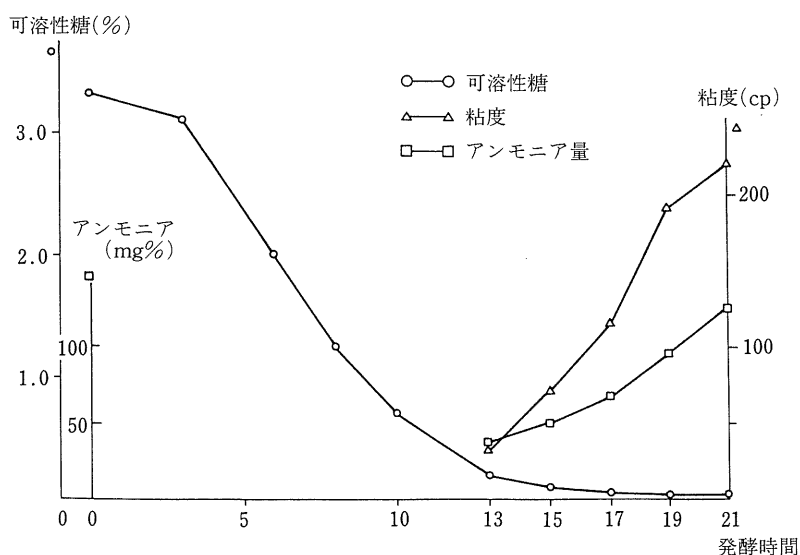


図5 納豆の発酵中の糖の消長と粘質物、アンモニアの生成
〔田村正紀：食品と開発、Vol.23(1988)より〕

納豆の風味に悪影響を及ぼす成分として、俗に不精香とも呼ばれる不快臭の主成分であるイソバレリアン酸やアンモニアが知られている。アンモニアは図5に示されるように大豆中の遊離糖が消失し、代わりにアミノ酸がエネルギー源として利用されはじめた頃より

増加する。これは、納豆菌増殖のために利用されなかったアミノ酸が脱アミノされ、アンモニアを生成したためである。現在、矢野¹⁹⁾ は卒業研究においてこのアンモニア臭の問題に取り組んでおり、その結果によると、市販納豆中のアンモニア量は約90mg%である。一般にアンモニア含量が200mg%を越えると納豆の香気よりアンモニア臭が強くなり、400mg%に達すると食用とならない。

また、納豆中の苦味はペプチドによる²⁰⁾ ものである。苦味の発現にはロイシン、イソロイシン、フェニルアラニン等の疎水性アミノ酸がペプチド末端に位置することが重要であると判っている。

納豆のテクスチャーに関する問題としては、納豆を購入した後冷蔵庫に保存すると、時々納豆表面に斑点状の白色物質が生じ、口に入れるとザラザラした異物感を感じることがある。これは、チロシンというアミノ酸とストラバイトと呼ばれるリン、マグネシウム、アンモニウムからなる無機化合物が納豆表面に析出したためである²¹⁾。

5. 納豆の機能性

近年、食品学、栄養学、生理学等の急速な発展により、健康の維持と食品との関わり、

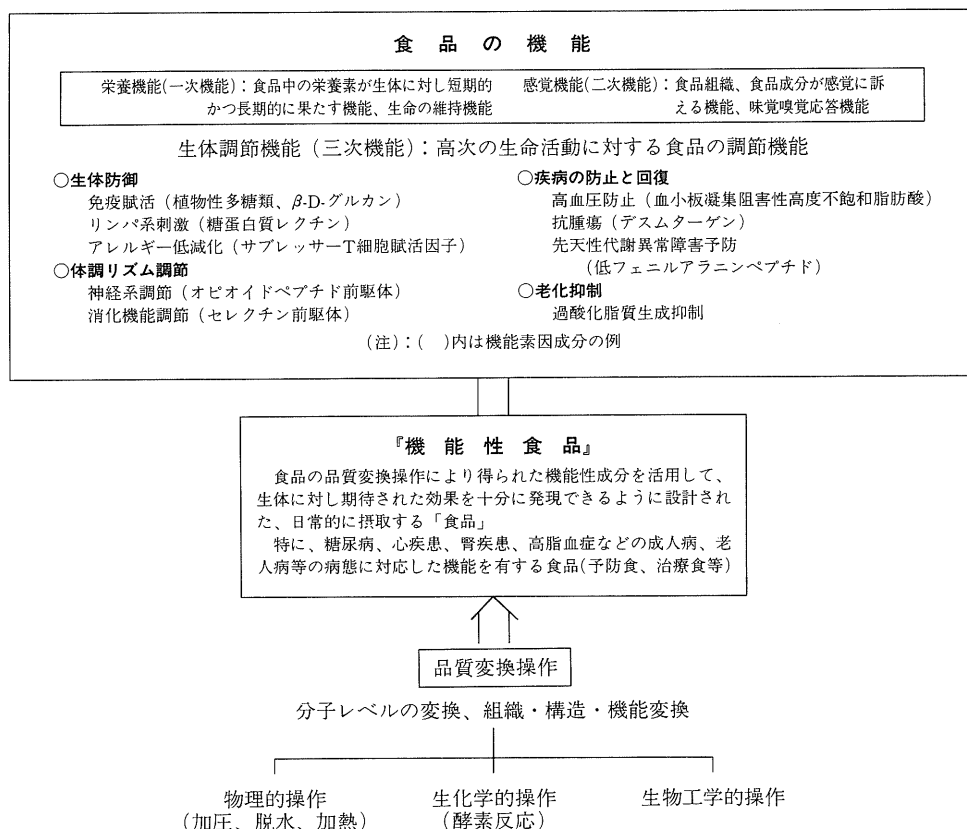


図6 機能性食品概念図〔中嶋 茂：食品と開発、Vol.22(1987)より〕

特に糖尿病、高血圧、ガン等の成人病と食生活との間には密接な関係があることが解明されつつある。このような状況の中で、文部省が、昭和59年から3年間にわたる特定研究「食品機能の系統的解析と展開」を進め、その成果を公表するに及んで、「機能性食品」という言葉がクローズアップされてきた。さらに、昭和62年の夏には、厚生省生活衛生局が「機能性食品」に対する見解を明らかにしたため、この言葉が学術研究分野のみならず、食品産業界、一般社会においてもブームをひき起こした。

食品の機能としては、図6に示されるように、①栄養機能(1次機能)、②嗜好性等の感覚機能(2次機能)、③生体調節機能(3次機能)が考えられるが、厚生省がいう「機能性食品」とは、文部省特定研究での3つの機能のうちの「生体調節機能」、すなわち「3次機能」を指すものである。従って、現在「機能性食品」といえば、「3次機能を有する機能性成分を活用して、その効果を十分に発現できるように設計された食品」を意味するのである。なお、3次機能の中には、生体防御、体調リズム調節、疾病の防止と回復、老化抑制が代表的な機能として掲げられている。

ところで、我々が日常利用しているほとんどの食品には、これらの栄養機能、感覚機能を示す成分はもとより、生体に好ましい影響を及ぼす生体調節成分もまた含まれていると考えられる。そして納豆もまた、機能性という立場から考えると、独特の栄養特性、感覚特性を有する食品であることはこれまでに述べてきた通りである。しかし、納豆の持つ3次機能、すなわち生体調節機能に関しては、まだまだ未知の点も多く、今後さまざまな視点からの研究の成果が期待される。ここではこの3次機能に関与する機能性因子、すなわち生理活性因子について述べてみる。

(1) 納豆の抗酸化性

近年、食生活の変貌に伴って油脂類を摂取する機会が増えている。また、不飽和脂肪酸が血中コレステロールを低下させ、動脈硬化の予防につながるということから、その摂取量も増加している。

しかし、食品に含まれるこの不飽和脂肪酸は、加工、流通、貯蔵の過程で酸化されやすく、食品としての品質劣化、栄養価の低下を招くのみならず、著しい酸化油は生体に対して有害性を示すこともある。また新鮮な油脂であっても、その不飽和脂肪酸は、生体内で酸化反応を受け過酸化脂質となり、活性酸素ラジカルとして作用し、種々の疾病をひき起こしたり、老化や発ガンにも関わっているとも言われている²²⁾

以上のような理由で、食品中の脂質や生体の構成成分である脂質を酸化反応から防御することは、正常な生命活動を維持するうえで極めて重要なことである。この脂質の酸化を抑制する手段として種々の抗酸化剤が長年利用されてきた。しかし、一部の合成抗酸化剤に毒性が認められるなど、今なお問題は続くかぎりである。そして現在でも、安全で有効な天然抗酸化剤を見い出そうという努力は続いているのである。

当研究室において野原²³⁾²⁴⁾は「納豆の抗酸化性」というテーマで研究を始め、抗酸化という立場から伝統的な大豆醗酵食品である納豆を見直してみることにした。

まず、納豆および蒸大豆を凍結乾燥した後、粉末状とし、40℃暗所にて放置し、生成す

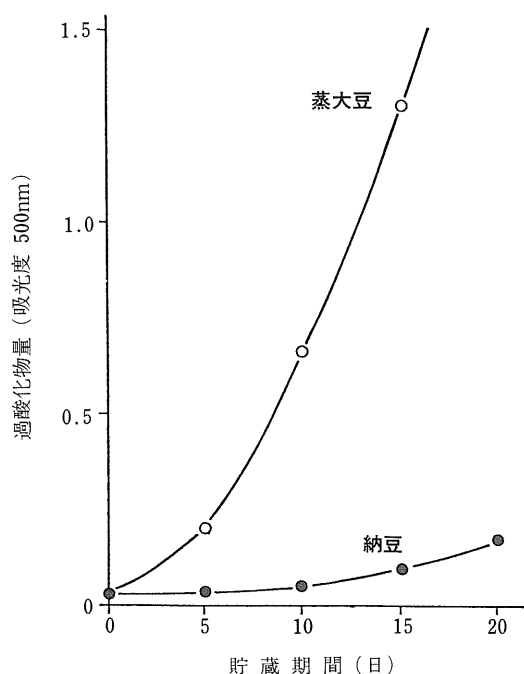


図 7 納豆と蒸大豆の脂質安定性

る過酸化物量を経時的に測定した。図 7 に示すような結果が得られ、納豆は、原料となる蒸大豆より脂質安定性が高く、20日間の貯蔵によって生成する過酸化脂質量は蒸大豆の5日後の過酸化脂質量とはほぼ同程度であった。

この納豆と蒸大豆との顕著な脂質安定性の差は、蒸大豆を納豆菌によって醗酵させることによって、抗酸化物質が納豆中に蓄積したためであると推察される。そこで、まず、大豆中の天然抗酸化物質として有名なトコフェロールの含量、そして、テンペの抗酸化力の増強因子として知られている遊離イソフラボンの含量を、蒸大豆および納豆を試料として高速液体クロマトグラフィーにて調べてみた。その結果、納豆中の α 、 β 、 γ 、 δ -トコフェロール量は、それぞれ4.4、1.0、54.6、20.5mg%となり、蒸大豆中の4.4、1.0、51.7、20.0mg%と著しい差は認められなかった。また、遊離のイソフラボンであるダイゼイン、ゲネステイン含量(図 8)も、納豆においては、それぞれ19mg%、56mg%を示し、蒸大豆の18mg%、61mg%と比較しても、両者の抗酸化力の差を説明できるような著しい含量の差は認められなかった。これらの結果より、納豆の抗酸化力の増強は、納豆醗酵時に原料大豆中のトコフェロールやイソフラボン類が変化を受けたのではなく、別の抗酸化物質が醗酵時に増加したためであると推察された。

そこで、この納豆の抗酸化力の増強に関わる抗酸化物質の分離・精製を試みることにした。まず、納豆と蒸大豆を試料として80%メタノール抽出物を得、これらの抽出物の抗酸

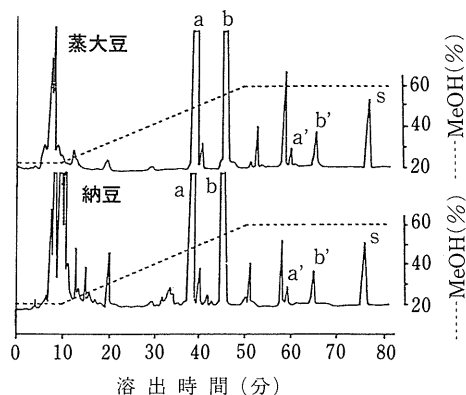


図 8 蒸大豆および納豆の80%メタノール抽出物の高速液体クロマトグラム
(a: ダイジン、b: ゲネスチン、a': ダイゼイン、b': ゲネステイン、s: 内部標準物質)

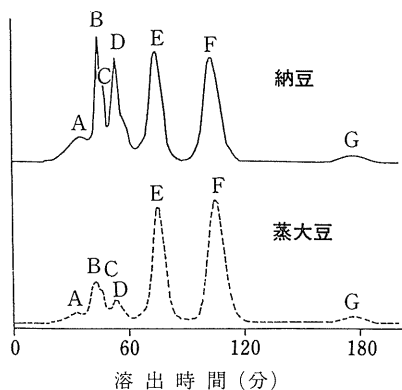


図 9 納豆および蒸大豆の80%メタノール抽出物のトヨパール HW-40 クロマトグラム

化力を比較した。その結果、納豆抽出物が蒸大豆抽出物より強い抗酸化力を示した。これらの抽出物は、更に、トヨパール HW-40 を用いたクロマトグラフィーにて分離を行ない、A から G の 7 フラクションを分画した (図 9)。納豆および蒸大豆より分画した各フラクションの抗酸化力を比較したところ、特に A、B、D の 3 フラクションにおいて納豆が蒸大豆より強い抗酸化力を示した。以上の結果より、納豆の抗酸化力の増強は、納豆中のこの A、B、D フラクションに含まれる抗酸化物質が納豆醗酵時に生産されたためであると考えられる²⁵⁾。現在、これらのフラクションに含まれる抗酸化物質を分取用高速液体クロマトグラフィーにて単離し、その化学構造の解明と種々の系での抗酸化性の有効性を検討中である。

(2) 納豆菌の抗ガン作用

1968 年、亀田ら²⁶⁾は納豆菌の抗ガン作用について報告した。彼らは、ハツカネズミの左

右両ソケイ部（足の付け根）にマウス固型エールリッヒ腹水癌細胞を移植した後、2日後と3日後に右ソケイ部のみに納豆菌を注入し、左ソケイ部のガン細胞との増殖の差を比較した。納豆菌は納豆より分離した *Bacillus natto* KMD 1126を37°Cで6時間培養後、集菌した生菌を使用した。ガン細胞注入から11日目に開腹した結果(表5)、同じハツカネズミでも納豆菌を注入した右ソケイ部には全く腫瘍が認められないか(15匹中で6匹)、あるいは、腫瘍が認められてもその重さは左ソケイ部腫瘍のほぼ半分以下であった。

彼らは、その後もこの制ガン作用の原因について研究を進め²⁷⁾²⁸⁾ *Bacillus natto* KMD 1126生菌より、エールリッヒ癌細胞傷害物質を見い出すとともに、納豆菌の培養液中にもこれらの活性物質が生産されることを報告している。

表5 マウス固型腹水癌に及ぼす納豆菌の影響

Group	Mouse			Tumor weight (g)		$\frac{\text{right}}{\text{left}} \times 100$
	No.	Body weight (g)		right (treated)	left (untreated)	
		at the start	after 11 days			
I	1	22.3	29.0	none	0.241	0
	2	21.7	29.5	0.027	0.393	6.9
	3	22.5	28.8	0.051	0.276	18.5
	4	20.4	29.3	0.090	0.436	20.6
	5	20.1	29.3	0.051	0.214	23.8
II	1	20.6	25.8	none	0.222	0
	2	20.6	26.9	none	0.150	0
	3	20.8	27.9	0.031	0.615	5.1
	4	21.3	30.6	0.114	0.294	38.8
	5	21.0	29.6	0.175	0.335	52.2
III	1	21.0	28.6	none	0.474	0
	2	20.2	27.3	none	0.305	0
	3	21.2	25.7	none	0.226	0
	4	21.0	26.7	0.131	0.407	32.2
	5	20.7	25.0	0.131	0.377	34.8

〔亀田ら：日本薬学会北陸支部11月例会 講演要旨(1967)より〕

(3) 納豆の抗菌作用

納豆の持つ抗菌性の研究は古く、主にチフス菌、赤痢菌等の病原菌に対する抗菌作用に関する報告が多い。

昭和4年、東京大学の武藤氏²⁹⁾は、納豆菌の液体培養を行ない、この培養液中にチフス菌等を接種してもこれらの病原菌が増殖しない事実を認め、さらに大豆中においても、納豆菌は病原菌の生育を著しく阻害するか、あるいはこれを死滅させることを確認している。また、昭和6年には、江口氏³⁰⁾が、フン便中にパラチフスB菌を排泄している保菌者に納豆菌を投与したところ、フン便中への排菌が消失したことを報告している。

その後も納豆菌の抗菌作用の研究は続き、昭和46年、島根大学の松本氏³¹⁾は納豆菌の抗菌性の原因としては、溶菌作用を有する酵素とジピコリン酸という物質が関与している

とまとめている。

(4) その他の作用

納豆の持つその他の生理作用として、次に掲げるような効果が期待できる。

- ①納豆1g中には10億以上の納豆菌が含まれており、この納豆菌が整腸効果を示す。
- ②納豆中の食物センイも整腸効果を示すとともに、腸内細菌中の善玉菌(ビフィズス菌)を増殖させ、逆に悪玉菌(ウェルシュ菌)の生育を抑制する。また、食物センイは発ガン性物質等の有害物質を吸着し、体外へ排泄させる効果を持つ。

6. おわりに

以上、納豆の歴史、種類と製法、化学成分と栄養価そして機能性という立場から納豆という食品を眺めてみた。本来、「納豆の科学」というテーマを掲げた以上、納豆の調理法等についても紹介すべきであり、またそれぞれの項目においてもさらに詳しく解説する必要があるようにも思われる。しかし紙面上の都合もあり、ここでは割愛させていただいた。この点に関しては引用文献等を参考にさせていただきたい。

なお、最後の項目で述べた納豆の機能性に関しては、先にも述べたように、まだまだ未知の点も多く、研究の余地が多いに思われる。しかしながら我々は、ともすると時代の流れとともに新しい食品に研究の目を奪われがちである。現在、「機能性食品」という言葉をよく耳にするが、我々は、冷静にこの「機能性食品の位置づけ」を考えてみる必要があるように思われる。つまり、単純に、この機能性食品を摂取したから健康が維持できるというものでもない。

我々が日常摂取している食品はすべてそれぞれ独特の機能性を持っている。これらの機能性は、古くから「生活の知恵」として利用されてきたものもあるが、未だその機能が秘められたままになっている食品もあるように思われる。我々は、今後、日常摂取している食品中の機能性成分をさらに広範な分野より検討する必要がある。このような見地からも、再度、日本の伝統食品である納豆を見直すことも必要なことではないだろうか。

引用文献

- 1) L. R. Beuchat: *Food Technol.*, **38**, 64 (1984).
- 2) 大西礼子, 阿部啓子, 本間清一, 相田 浩: 家政誌, **39**, 13 (1988).
- 3) R. Cruz, J. C. Batistela, G. Wosiacki: *J. Food Sci.*, **46**, 1196 (1981).
- 4) 管野彰重, 高松晴樹, 高野伸子, 秋本隆司: 日食工誌, **29**, 105 (1982).
- 5) 石川 緑: 椋山女学園大学大学院修士論文 (1988).
- 6) 伊丹賢吉, 加藤寿美夫: 栄養と食糧, **10**, 206 (1958).
- 7) 林 右市: 国民衛生, **28**, 574 (1959).
- 8) 糟谷利津, 池畑秀夫, 宮本悌次郎, 村田希久: 家政誌, **18**, 362 (1967).
- 9) 高橋重作: 栄養と食糧, **8**, 49 (1955).
- 10) 東篠 敬, 徳山龍明, 丸尾文治: 農化, **57**, 717 (1983).

- 11) 藤井久雄：農化，**37**，407 (1963)。
- 12) 藤井久雄：化学と生物，**24**，67 (1986)。
- 13) 大西礼子，阿部啓子，本間清一，相田 浩：家政誌，**38**，871 (1987)。
- 14) T. Hara, A. Aumayr and S. Ueda : *J. Gen. Appl. Microbiol.*, **27**, 299 (1981)。
- 15) T. Tanaka, S. Oi, M. Iizuka and T. Yamamoto : *Agric. Biol. Chem.*, **42**, 323 (1978)。
- 16) 小野崎博通，山本真由美，一色 忍，江崎秀男：栄食誌，**40**，405 (1987)。
- 17) 小幡弥太郎，俣野景典：農化，**33**，567，569 (1959)。
- 18) E. Sugawara, T. Ito, S. Odagiri, K. Kubota and A. Kobayashi : *Agric. Biol. Chem.*, **49**, 311 (1985)。
- 19) 矢野直子：平成元年度卒業研究(進行中)。
- 20) 山崎吉郎：家政誌，**38**，93 (1987)。
- 21) 田中米實，富安行雄：栄養と食糧，**26**，473 (1973)。
- 22) 篠原恒樹，森内幸子，細谷憲政：老化と栄養，p.70～92，第1出版 (1982)。
- 23) 野原優子：椋山女学園大学大学院修士論文 (1987)。
- 24) 野原優子，江崎秀男，小野崎博通，大澤俊彦，並木満夫：昭和61年日本農芸化学中部支部会要旨集，p.5。
- 25) 江崎秀男，野原優子，小野崎博通，大澤俊彦：日本食品工業学会誌(印刷中)。
- 26) Y. Kameda, S. Kanatomo, Y. Kameda and Y. Saito : *Chem. Pharm. Bull.*, **16**, 186 (1968)。
- 27) 亀田幸雄，松井勝彦，山田知子，嵯峨井均，加藤久人：日本薬学会講演要旨集，p.254 (1971)。
- 28) Y. Kameda, H. Sagai, T. Yamada, S. Kanatomo and K. Matsui : *Chem. Pharm. Bull.*, **19**, 2572 (1971)。
- 29) 武藤正俊：衛生伝染病学誌，**26**，708 (1931)。
- 30) 江口 有，神代延敏：海軍医誌，**20**，245 (1933)。
- 31) 松本宗人：調味科学，**18**，133 (1971)。

参考図書

- 1) フーズ・パイオニア編：納豆沿革史，全国納豆協同組合連合会発行 (1975)。
- 2) 永山久夫：健康食なっとう，農山漁村文化協会発行 (1983)。