醤油の機能性について

醤油を日本人の食膳から取り去ろうとしても、それは極めて無理な話である。最近では海外でも、醤油の食品としての二次的機能である調理効果のすばらしさと利用面の広さが認められ、使用量が増えている。本稿では今までは真正面から触れられなかった醤油の生体調節機能や0次機能である安全性などに関する最新の情報について掘り下げていただいた。

大 下 克 典

「醤油は神様だ。なんにでも醤油をかけるとうまい。主食は米だというけれど、僕は醤油が主食だと思っている。醤油があって、じゃあ、寿司を食ってみよう、いわしを食ってみよう、納豆を食ってみよう、と。まず先に、醤油があるのだ。」これはテレビでもお馴染み、作家の嵐山光三郎氏の談である¹⁾。このように日本の料理にとって醤油は欠くべからざるものであり、あって当り前の調味料である。日本料理を地球に例えるならば、醤油は大気みたいなものかも知れない。

この日本人の食生活にとって、なくてはならない伝統的な発酵調味料であり、そして今や、世界の総合調味料として広く普及しつつある醤油について、「食品の機能性」という観点から見直してみることは、非常に有意なことである。醤油については、これまでにいろいろな角度から多くの研究がなされているが、機能性という立場で総合的に研究・報告された例は見当たらない。そこで、本報ではこれらの一部を整理し直し、評論的な解説として皆様の御参考に供したい。敢えて、皆様の御批判を乞

第1図 「機能性食品」の概念(昭和62年版, 厚生白書)²⁾

On the Physiological Functions of Soy Sauce
Katsunori OHSHITA (Research & Development Division, Kikkoman Corporation)

第1表 醤油の標準成分⁷⁾

食品 番号	食 品 名	産 率	可 食 部 100g あ た り																			備 考		
			エ ネ ル ギ ー	水 分	蛋 白 質	脂 質	炭水化物		灰 分	無 機 質					ビ タ ミ ン									
							糖	繊 維		カル シ ウ ム	リ ン	鉄	ナ ト リ ウ ム	カリ ウ ム	A		B ₁	B ₂	ナイ ア シ ン	C				
															レ チ ノ ール	カ ロ チ ン					A 効 力			
%	kcal	kJ	(……………g……………)					(……………mg……………)					(μg)	IU	(……………mg……………)									
17	調味料および香辛料類																							
3	調 味 料																							対象：本醸 造特級品
	醬 油																							
a	一こいくちー	0	58	243	69.5	7.5	0	7.1	0	15.9	21	140	2.3	5,900	400	0	0	0	0.05	0.19	1.1	0	比重1.18	
b	一うすくちー	0	48	201	70.9	5.7	0	6.3	0	17.1	18	110	2.1	6,400	330	0	0	0	0.05	0.10	0.7	0	比重1.18	
c	一た ま りー	0	76	318	64.3	10.0	0	9.0	0	16.7	30	200	3.9	5,900	720	0	0	0	0.04	0.14	1.1	0	比重1.21	
d	一さいしこみー	0	94	393	62.5	9.4	0	14.1	0	14.0	35	200	5.7	4,900	560	0	0	0	0.05	0.21	1.8	0	比重1.21	
e	一し ろー	0	80	335	64.8	2.5	0	17.4	0	15.3	10	80	1.3	5,900	150	0	0	0	0.06	0.08	0.9	0	比重1.21	

うものである。

1. 食品の機能

食品の機能については、本シリーズの1回目で詳しく述べられており²⁾、その後も毎回触れられているので、詳細は省略するが、「機能性食品」の概念から第1図のようにまとめられている³⁾。すなわち、一次機能として「栄養機能」、二次機能として「感覚機能」、三次機能として「生体調節機能」である。その他に、0次機能として「安全性」があげられている。以下この順に従って、醤油の機能性を整理して行くことにする。

2. 醤油の機能性

(1) 醤油の一次(栄養)機能

醤油に栄養があるのか？ この問題から出発することになるが、これを深く追求することは日常の食生活ではほとんどない。それは醤油自体が単独の食品として考えられることは少なく、醤油がいろいろな食品の味を引き立てる脇役としての食品、いわゆる調味料であるからであろう。しかし、敢えて醤油の一次機能を考える糸口として、われわれが醤油の原料である大豆と小麦を食べたことを考えてみる。それら成分の蛋白質、炭水化物、脂肪は、それぞれ最終的に体内でアミノ酸、糖分、グリセリンに消化・分解され、吸収されて栄養となる。その消化、吸収の割合は、せいぜい65%程度で、あとは排泄されることになる。醤油の醸造でも各種微生物により、同様の発酵・分解が起こり、その分解度合は今日の技術で80~90%にも達する^{4,5)}。

したがって、大豆や小麦をそのまま食べるより醤油と

して食べる方が消化する必要もなく、そのまま大部分が吸収されて栄養となる。特に、醤油中には20種以上のアミノ酸、しかも、必須アミノ酸といわれるもののほとんどが含まれている。また、醸造過程で微生物によって造られたビタミンB類も含まれている。こうした点で醤油は良い栄養剤となるはずであり^{4~6)}、立派に一次機能を有することになる。確かに、「日本食品標準成分表」の醤油の項目を見ると、第1表のように記載されており、蛋白質、糖質、ビタミンB類を含み、エネルギーもある⁷⁾。

しかし、この問題はそれほど単純ではない。第1表より、現在もっとも多く使用されている濃口醤油を例にとれば、100mlあたりに換算して、エネルギーは68kcal、蛋白質は8.9gとなる。一方、日本人の栄養所要量は、1日あたりエネルギー2,000~2,500kcal、蛋白質60~70gである⁸⁾。これを醤油のみで賄おうとすれば、蛋白質のために約0.7l、エネルギーのためには、さらに約2.3l、計約3lの醤油を1人が1日に取る必要があるという計算になる。これだけの醤油は飲めないし、例え飲んでも極度な栄養のアンバランスと共に、醤油に17%前後含まれる食塩の過剰摂取の問題が生じてくる。

したがって、醤油単独で一次機能を求めることはできない。むしろ、醤油にはその旨味や香りによる味覚の促進や食欲の増進など、すなわち、二次機能を中心に、後述する付加価値としての三次機能を求めるべきであろう。

(2) 醤油の二次(感覚)機能

「ある朝、朝食を食べていてふと思った。
(もし、ここに醤油がなかったら)〈中略〉

第2表 醤油水および食塩水で加熱処理した食品の硬さ比較¹¹⁾

	試料	大豆	大根	じゃがいも
官能検査	パネル数	20	20	20
	試料間に差を認めたパネル数	20	20	18
	試料間に差がないとしたパネル数	0	0	2
	どちらが硬いか { 醤油水処理 食塩水処理	19*** 1	20*** 0	15** 3
カードメーターによる測定	醤油水処理 (dyne/cm ²)	3.98×10 ⁶ **	16.9×10 ⁵ **	6.82×10 ⁵ **
	食塩水処理 (dyne/cm ²)	3.43×10 ⁶	6.49×10 ⁵	6.16×10 ⁵

ただし、***は危険率 0.1% で、**は危険率 1% で有意差のあることを示す。

この日の朝食のメニューは、納豆、カマボコ、海苔、ワサビ漬け、トロロ芋、ハウレン草おひたし、生卵というものであった。〈中略〉

さあ、どうする。

意を決して醤油なしで、この食事を決行することにしたとしよう。

醤油なしの納豆をニチャニチャとかき回し、これをゴハンの上のせて食べる ところを想像していただきたい。〈中略〉

この朝食のおかずを、醤油なしで食べていくところを次々に想像してほしい。〈中略〉

納豆もカマボコもワサビ漬けも海苔も生卵もトロロもハウレン草も、一応みんなおかずとして偉そうな顔をしているが、ここで初めて思い知られるのである。

一見、立派に自立しているように見えてはいるが、実は醤油におんぶにだっこの人生だったことを、つくづくと知ることになるのである。

おかず七品という、一見豪華に見える朝食も、たった一つの醤油がなければ、すべてが空中楼閣と化してしまう。

それぞれが、それぞれの個性的な味を競いあっているように見えても、所詮は醤油の味に頼りきっていたということになる。」

これは漫画家の東海林さだお氏の一文であり⁹⁾、話はさらに、大トロのマグロの刺し身に進んで行くが、どういう展開になるかは想像できるであろう。

これから口にしようとする食べ物、特に調理された食品の美味しさを考えてみると、人は贅沢である。味(甘味・酸味・塩味・苦味・旨味・辛味・渋味)、香り、外観(形・色・艶)、テクスチャー(硬さ・粘り・滑らかさ・脆さ)、温度、音(そしゃく・環境)など、人の味覚・嗅覚・視覚・触覚・聴覚など全感覚を駆使して、その美味しさを判断する¹⁰⁾。

東海林さだお氏の一文と考え合せると、醤油は日本の調理食品の美味しさに何らかの形で、大きく関与しているといっても過言ではない。まさに、醤油は二次機能性食品の代表格であるといえる。

第2図 醤油中の各成分によって加熱処理した大豆の硬さ^{11,12)}

a. アミノ酸液; b. 有機酸液; c. (アミノ酸+有機酸)液; d. (食塩+アミノ酸)液; e. (食塩+有機酸)液; f. (食塩+アミノ酸+有機酸)液。

醤油の味や香りに関する研究は枚挙にいとまがないので、ここでは醤油の二次機能の一例として、調理の際にテクスチャー(硬さ)に及ぼす影響について触れておく。大豆、大根、じゃがいもを1%食塩水とそれと同濃度食塩の醤油でそれぞれ煮ると、いずれも明らかに醤油の方が硬くなり(第2表)、この硬さに影響を与えるのは、醤油中のアミノ酸と有機酸が大きな要因であった(第2図)^{11,12)}。このように醤油は煮物の歯ごたえにも微妙な影響を与え、二次機能を発揮するのである。

この食品の二次機能が一次機能の人の消化・吸収に影響を与えることは、古くから知られているが、さらに、次に述べる三次機能の人の体調をコントロールする種々の生理活性物質の分泌をも左右することが近年の研究で明らかにされつつある¹⁰⁾。

(3) 醤油の三次(生体調節)機能

① 醤油の胃液分泌効果

群馬大学医学部内科学教室の入院患者で、固有の胃疾患のない患者 15 例を対象に検査した報告がある。その結果、すまし汁の濃度に調製した天然醸造醤油(醤油 25 ml+湯 300 ml)は、対照のカッチ・カルク・カフェイン

第3表 試験液排泄後1時間の胃液分泌状態¹³⁾

症例 番号	排泄後時間分泌量 (ml)			分泌量×遊離塩酸度		
	カフェ イン	天然醤油	アミノ 酸醤油	カフェイン	天然醤油	アミノ 酸油
1	70	45	24	1,045	615	708
2	25	30	11	634	135	190
3	80	65	50	3,560	1,101	1,418
4	13	18	45	420	385	1,640
5	65	50	40	2,730	2,180	1,295
6	55	35	25	915	760	270
7	35	50	35	610	1,230	1,170
8	9	20	14	338	580	678
9	28	22	15	169	72	-46
10	27	35	14	556	1,040	428
11	80	80	33	-1,030	-1,480	-306
12	35	100	100	895	2,490	1,690
13	62	22	18	4,300	1,021	866
14	37	75	40	818	590	750
15	40	55	37	660	800	382
平均	44.0	46.8	33.4	1,108.0	767.9	748.8

参考：症例番号 9, 11 は無酸症の患者

液 (0.07% カフェイン液) と同等な胃液分泌量を認めたが、化学分解のアミノ酸醤油ではその分泌量が著しく少なかった (第3表)¹³⁾。

これは天然醸造醤油の食欲増進機能と見ることができ、二次機能に対して生体側が示した三次機能としての生理作用といえる。欧米人が食前に1杯のコーヒーを飲んで食欲を起こすとき、日本人は1碗の醤油のすまし汁をその目的に飲んできたことは、洋の東西それぞれの食生活の知恵であろうか⁴⁾。

② 醤油の血圧下降作用

醤油の血圧下降作用については動物実験による研究がある。すなわち、醤油を動物 (イヌ) に経口投与 (2~4 ml/kg) すると、約1分後から急激な血圧下降と同時に胃壁血量の増加が認められ、その血圧下降率は20~66%にも及んだ。この現象は約30分~1時間持続した後、正常に復帰した (第4表) (第3図)¹⁴⁾。これらの作用は醤油に含まれている食塩やヒスタミン自体によるものではなく、その起因物質として醤油中に「ヒスタミン吸収促進物質」があると断定されている。この物質の化学構造は不明であるが、熱に安定で透析性であり、酢酸エチル、エーテルに不溶の物質である (第5表)¹⁴⁾。

第4表 血圧および胃壁血量に及ぼす市販醤油、「ヒスタミン」並びに飽和食塩水溶液の影響¹⁴⁾

醤油の種類	市販醤油 A	市販醤油 B	市販醤油 C	市販醤油 D	自家醸造醤油 E	自家醸造醤油 F	ヒスタミン 1,000 倍溶液	飽和食塩水溶液
体 重 (kg)	6 8 9 7	10 9 9 8 6 10	9 8	10 6	8 9	7 6	8 9	7 8
性	♂ ♂ ♀ ♂	♀ ♂ ♀ ♀ ♂ ♂	♂ ♀	♂ ♀	♂ ♂	♀ ♂	♂ ♀	♂ ♂
血圧下降 (mmHg)	80 52 30 40	40 24 16 40 36 40	30 20	10 0	0 0	0 0	0 0	0 0
血圧下降率 (%)	66 39 44 33	30 44 19 30 36 34	25 16	11 0	0 0	0 0	0 0	0 0
胃壁血 量	増 増 増 増	増 増 増 増 増 増	増 増	増 変	不 変	不 変	や 増	不 変
胃粘膜の変化	充血・浮腫著明	充血・浮腫著明					充血・浮腫認められず	

第5表 醤油成分の血圧下降作用¹⁴⁾

成 分	血圧下降作用
蒸 留 残 渣	(-)
ア ル コ ー ル 可 溶	(+)
ア ル コ ー ル 不 溶	(-)
エ ー テ ル 可 溶	(-)
エ ー テ ル 不 溶	(+)
酢 酸 エ チ ル 可 溶	(-)
酢 酸 エ チ ル 不 溶	(+)

第3図 血圧および胃壁血量に及ぼす醤油(A)経口投与 (20 ml) の影響¹⁴⁾

B. P. 血圧, O. L. ゼロ線, B. V. 血流量,
T. 時間目盛 (6秒ごと)

これらの作用が生体に対してどのような利害関係にあるかは別として、醤油の循環器系に及ぼす三次機能の一つと考えられる。

③ 醤油の殺菌効果

醤油自体の殺菌効果は生体に直接影響を及ぼす三次機能とはいえないかも知れない。しかし、間接的にしろ食中毒を防ぐという食生活上、体調に対し重要な機能を発揮するので、ここに取り上げておく。

まず、食中毒菌あるいは病原菌の代表的な8株について、その各々の培養菌体を一定量、醤油に接種し、室温に放置して経時的にその生死を調べた。その結果は第6表に示すように、24時間以内に試験したすべての菌が死滅した¹⁵⁾。

さらに、大腸菌とブドウ球菌について精査した結

第6表 醤油* における病原ならびに
食中毒菌の生存¹⁵⁾

菌株	時間	時間						
		1分	5分	10分	30分	1時間	2時間	24時間
ブドウ状球菌 24		+	+	+	+	+	-	-
〃 32		+	+	+	+	+	-	-
チフス菌 87		+	+	+	+	+	+	-
大腸菌 O-26		+	+	+	+	+	+	-
フレキシネル赤痢菌 2		+	+	+	+	+	+	-
ソンネ赤痢菌		+	+	+	+	+	+	-
腐敗菌(プロテウス) OX-19		+	+	+	-	-	-	-
好塩菌 2		+	+	-	-	-	-	-

* 保存料含有

第4図 基準醤油の殺菌力¹⁶⁾

第5図 モデル試験¹⁶⁾

果、これらの菌は醤油中に 10^3 , 10^5 , 10^7 cell/ml 添加した場合、それぞれ4～6時間、24～48時間、5～7日間で完全死滅した(第4図)。この殺菌力は醤油に含まれる高濃度食塩が必須因子で、酸性 pH, アルコールが補因子であり、これはモデル試験によって確認された(第5図)。最終的に、醤油の殺菌力はこれらの因子の他、高窒素やその他のファクターが関与して総合的に生ずるものであることが明らかとなった¹⁶⁾。

④ 醤油の抗酸化作用

醤油が油脂(リノール酸)に対してかなり強い抗酸化作用を示すことが認められている。この作用は醤油の窒

第6図 醤油の窒素含量と抗酸化力との関係¹⁷⁾

第7図 醤油の着色度と抗酸化力との関係¹⁷⁾

素成分、特にペプチドと、糖とアミノ酸のメイラード反応によって生ずる色素のメラノイジンに関係があった(第6図)(第7図)¹⁷⁾。第6, 7図の縦軸はリノール酸と試料を密封し、60℃で保存してその過酸化価値が一定の値に達するまでに要した日数を示している。つまり、その日数が長いほど試料の抗酸化力が強いことを示している。

この抗酸化作用は食品の保存性や安定性をよくすることに役立ち、一次機能・二次機能に関与している部分が多い。しかし、最近の研究で抗酸化成分を摂取することが体内脂質過酸化反応を抑制し、老化や癌をはじめとするさまざまな疾患(成人病)を防止するのではないかと、との期待もあり、今後、醤油中のこれら成分が明らかにされ、三次機能として注目されることを期待する。

⑤ 醤油の抗腫瘍効果

最近の米国・ウィスコンシン大学における研究で、醤油に抗腫瘍効果のあることが報告された。具体的には第8図に示すような方法で動物実験が行われ、その結果の一部が第7表である。引き続き詳細な実験がくり返され、それらの実験結果を要約すると次のようになる¹⁸⁾。

1) 亜硝酸と醤油と一緒に作用して、マウスの前胃にベンツ(a)ピレンで誘導した腫瘍の数を有意に減少さ

第8図 「亜硝酸と醤油を与えたマウスのベンツ (a) ビレンで誘導した前胃新生物の減少」の実験方法 (筆者が報文より図化)¹⁸⁾

第7表 ICR マウスのベンツ (a) ビレン誘導前胃新生物における
醤油飼料と亜硝酸添加飲料水の影響 (実験1)¹⁸⁾

処 理 群	マウス数†	新生物数/マウス	発 生 率 (%)	体 重†† (g)	21週間の総カロリー摂取量 (kcal/マウス)
BW-BW (対照)	24	5.2±0.7	96	40.7±1.4	2,114±29
SN-SN	27	3.4±0.5*	85	35.0±0.9*	2,048±30
SW-SW	24	4.0±0.5	92	36.0±1.3*	1,996±52

SN = 醤油飼料と亜硝酸添加飲料水

SW = 醤油飼料と水

BW = 基礎飼料と水

(イニシエーション期間とプロモーション期間の飼料/水の摂取区分はそれぞれ前後をハイフンで示す。)

†: SN-SN群の1匹の例外 (14 コの腫瘍) と SW-SW群の1匹 (20 コの腫瘍) は平均値からの標準偏差がそれぞれ4と6であったので統計解析に含めなかった。これらの除外はこのデータから導かれた全体の結果に影響しなかった。

††: マウスは1晩絶食させ、剖検前に個々の体重を測定した。

結果は示したマウスの数に対する平均値 ± SEM (標準誤差) である。

星 (*) 印は対照の BW-BW 群と統計的 (χ^2 -検定) に有意差があったことを示す: * $P < 0.05$

せた。すなわち、醤油と亜硝酸を両方摂取させると (必ずしも同時になくてもよい)、マウス前胃の腫瘍発生が抑制された。

2) 醤油のみ (亜硝酸なし) を摂取させた場合、マウス前胃の腫瘍発生をいくらか抑制する傾向 (有意差なし) が見られた。

3) しかし、亜硝酸のみ (醤油なし) を摂取させた場合、その抑制効果はなかった。

4) この抑制効果は発癌のプロモーション段階に係わっていると思われた。

その後も研究は進められており、醤油単独でもこの抗腫瘍効果が認められ、亜硝酸がこれを増強することもわかっている^{19~21)}。ことに、亜硝酸は後で述べる醤油の変異原性に深く係わっており、これが逆の作用の抗腫瘍性に関与していることは非常に興味のある結果である。

醤油中のこの抗腫瘍活性成分は、まだ分離・同定されていないが、今後の研究に大きな期待が持たれる。この

成分が判明すれば、醤油の三次機能として最大級のものになるといえる。

⑥ 醤油の放射線誘発異常の防除効果

現在、広島大学原爆放射能医学研究所 (伊藤明弘教授、佐藤幸男教授) でマウスとラットを用い、「放射線誘発異常発生に関する醤油の効果」の研究が進められている。実験は放射線誘発マウス肝腫瘍に対する効果とラット胎生期の放射線誘発病変に対する効果の2種類が行われている。現段階でいずれも結論は出ていないが、後者の実験について、これまでの経過から、妊娠ラットの母体に放射線 (コバルト 60) を照射する以前に醤油を経口投与しておくで胎仔の異常発生の減少することが認められた。今後、非常に興味ある結果が期待できそうである²²⁾。

⑦ 醤油のその他の三次機能

最近、いろいろな食品起源の機能性ペプチドの研究が進められている。醤油についても窒素成分中 50~75%

含まれる遊離アミノ酸と共に、15~35% 含まれる ペプチドに着目し、「醤油は舌を楽しませる 調味料としての高い生理的な価値の他に、血中で他の蛋白食品から由来するものも含めて、生理活性（機能的）ペプチド合成の直接または間接の基質たり得るという、いまだ知りつくされていない 価値が高く 評価されてもいい。」²³⁾ という仮説がある。特に、ペプチド型ホルモン（ガストリン、インシュリン、パソプレッシンなど）や血漿キニンなど、消化、血糖、昇圧、降圧に対する機能的については「醤油がうまいということは、嗅覚や味覚という感覚生理学の領域に属するが、その応答がわれわれの健康を正常に支えてくれる優れた 司令となるであろう。」²³⁾ つまり、二次機能が一次機能や三次機能に影響を与えるという生理現象の微妙さを考慮に入れ、今後、醤油の三次機能を科学的に研究する上で、大きなヒントとすべきであろう。

3. 醤油の 0 次機能（安全性）

（1） 醤油の変異原性

「しょうゆもたばこも怖い?! 亜硝酸塩といっしょになると突然変異原物質に」²⁴⁾ とか、「発ガン可能性ある 前駆体しょう油から分離、体内で突然変異原物質に変化」²⁵⁾ などの見出しで 7~8 年前マスコミにもとり上げられ、醤油と亜硝酸により生成する変異原性が一種の社会問題となったことは、まだ御記憶にあると思う。

変異原性=発癌性と考えられたからであろう。しかし、最近、変異原性を示した物質の 77% は発癌性物質であったが、変異原性を示さなかった物質の 58% も発癌性物質であり、変異原性と発癌性の一致率は平均して 58% であったという報告もされている²⁶⁾。単純に変異原性=発癌性という式があてはまらないということである。

醤油の変異原性に関しては、筆者らの総説^{5,27)}や研究報告^{28~30)}があるので、詳細はそれらを参照して頂くとして、ここでは醤油と亜硝酸により生成する変異原性に関する実験結果とその安全性についての見解を述べさせて頂く。

醤油を亜硝酸処理することによって変異原性が出現することは、国立がんセンター研究所のチームによって研究が進められた。その結果、醤油中の変異原物質の前駆体として、第 9 図に示すような 3 つの化合物が分離・同定された^{31~33)}。すなわち、1-メチル-1,2,3,4-テトラヒドロ-β-カルボリン-3-カルボン酸の 2 つの立体異性体（これらをまとめて MTCAs と略称）とチラミンである。醤油醸造過程で MTCAs はトリプトファンとアセトアルデヒドの縮合により、また、チラミンはチロシン

第 9 図 醤油より分離された変異原前駆体³²⁾

第 10 図 醤油と亜硝酸により誘発される変異原性²⁷⁾

(サルモネラ菌 TA 100 株, S-9 未添加)

第 11 図 亜硝酸処理による MTCAs 残量の変化²⁷⁾

の脱炭酸により生成するものと考えられている。

しかし、この醤油と亜硝酸により生成する変異原性は、日常生活では考えられない非常に高濃度の亜硝酸 (NO_2 として 2,000 ppm 以上) を作用させた場合の結果であった。そこで、実生活で考えられる亜硝酸濃度での醤油の変異原性および変異原物質の前駆体の量的変化について調べた。

まず、第 10 図に変異原性の結果を示す。図の横軸は醤油と反応させた亜硝酸の濃度であり、縦軸がその時の醤油 1 ml あたりの変異原性の強さを示している。醤油を NO_2 として 2,300 ppm という高濃度の亜硝酸で処理した場合、変異原性は第 10 図のごとく出現するが、亜硝酸濃度の低下と共に変異原性の減少が認められた。そして、亜硝酸濃度が 500 ppm から 250 ppm の間で変異原性は消失し、250 ppm 以下では全く出現しなかつ

第 12 図 亜硝酸処理によるチラミン残量の変化²⁷⁾

た^{5,27,28)}。

次に、第 11 図および第 12 図に醤油ならびに醤油と同濃度の純粋な MTCAs および チラミン溶液をいろいろな亜硝酸濃度で処理した場合のそれぞれの量的変化を測定した結果を示す。純粋な MTCAs 溶液の場合は 10 ppm 以下の亜硝酸により反応が起こるが、醤油中の場合は 250 ppm 以上の亜硝酸を作用させなければ反応が起こらなかった。また、純粋な チラミン溶液の場合は 50 ppm 以上の亜硝酸添加で反応が起こるが、醤油中のチラミンの場合は全く減少が認められず、例え 2,300 ppm の亜硝酸を作用させても反応しないことがわかった^{5,27,28)}。

このことから、醤油には醤油中の変異原前駆体である MTCAs やチラミンと亜硝酸の反応を阻害する何らかの成分が含まれるものと推測される。その一つに醤油中に多量含まれるアミノ酸があり、アミノ酸と亜硝酸が反応する、いわゆるバンスライク反応が優先的に進行し、亜硝酸が消費されるのではないかと考えられている。

さらに、この醤油と亜硝酸による変異原性の反応を生体モデル系で調べた。すなわち、ラットの摘出胃内と生体胃内でそれぞれ試験管内と同様に醤油と亜硝酸を反応させて、その変異原性と亜硝酸の消長を測定した。亜硝酸を高濃度の 2,300 ppm で反応させた時の結果を第 13 図に示す。亜硝酸は試験管内、摘出胃内、生体胃内のどの場合でもほとんど残存していなかったが、変異原性は摘出胃内で試験管内の 25% に減少し、生体胃内では出現しなかった³⁰⁾。この結果から、生体胃内に投与された亜硝酸は 2,300 ppm という高濃度でさえ、速やかに胃内より消失し、そのため醤油中の変異原前駆体と反応せず、変異原性を誘発しなかったものと考えられた。

これまでの結果を要約すると次のようになる。

- 1) 醤油は 250 ppm 以下の亜硝酸との反応では変異原性を誘発しない。
- 2) 醤油中には亜硝酸と変異原前駆体との反応を阻害する成分が含まれている。
- 3) 生体モデル (ラット) 胃内では、例え 2,300 ppm の高濃度の亜硝酸と反応させても、醤油は変異原性を誘

第 13 図 2,300ppm の亜硝酸で処理 (pH3.0, 60 分) した醤油の変異原性と残存亜硝酸量³⁰⁾

発しない。

さらに、人の唾液中の亜硝酸濃度は、一般的には 50 ppm を超えることはないといわれている²⁷⁾。まして、胃の中では唾液中の亜硝酸濃度を超えることはないと容易に推測される。

以上のことから、醤油は日常生活における生体内のような低濃度の亜硝酸では変異原性を誘発することはない、醤油中の変異原前駆体も変異原物質に変わることはない。つまり、一般の食生活で醤油に変異原性はないと確信できる。

(2) 醤油の長期動物試験

醤油の発癌性試験として動物 (ラット) の長期飼育試験がカナダのブリティッシュ・コロンビア大学医学部で行われた。日系カナダ人の胃癌による死亡率が他の住民より高く、その原因として考えられる食事因子の一つとして醤油を調べるためのものであった。

まず、ラットに胃底部切除の手術をして胃癌をでき易くした群と無処置の群を設定した。そして、各群を標準飼料を与えるものと、飼料 100 g あたり 50 ml の日本産市販醤油を添加した飼料を与えるものとに分け、ラットを 2 年 6 カ月飼育した。この醤油投与群は人に換算すれば、1 日あたり 1 l 以上の醤油を摂取したものと概算される (日本での醤油消費量の少なくとも 30 倍以上になる)。

こうした過激な条件で行われた試験においてさえ、その結果には次のように記されている。醤油を与えても与えなくても悪性腫瘍の発生数は同じであり、市販醤油に発癌性はないといえる。また、手術をしなくて醤油を与えた群は、体は小さいが、一番元気がよく、健康的で、もっとも長生きした。しかも、標準飼料を与えた対照群の 33% に見られた乳癌が醤油を与えた群には全く見られなかった³⁴⁾。

つまり、醤油はラットにおいて発癌物質になるとは思われないし、長期間与えても健康を害したり、寿命を短くすることはない。と結論されていることは、醤油の安全性 (0 次機能) にとって、この上なく心強い言葉である。

4. お わ り に

醤油の機能性についてこれまでの諸先生方の研究を集め、整理しながら述べてきたつもりである。しかし、表現不足や欠落している課題が多々あると感じている。その点はお許し願ひ、むしろ、その点を御指摘・お教え頂ければ幸いである。

醤油が二次機能つまり感覚機能性食品の代表格の調味料として育ってきたいきさつもあり、読者諸氏が期待される醤油の三次機能としての生体調節機能については、未知・未確定な部分が多い。それだけに今後の展開が楽しみであるともいえ、今後、人の食生活に積極的に役立つような醤油の研究が進められることを大いに期待している。

人の健康で長寿な食生活の一端に醤油が役立つことを心から願う次第である。

〈キッコーマン(株)研究本部〉

文 献

- 1) 嵐山光三郎: *Vegeta* (ベジタ), 6月号, 誠文堂新光社 (1989)
- 2) 荒井綜一: 醸協, 85, (1), 2 (1990)
- 3) 稲葉 博: 食衛誌, 31, 14 (1990)
- 4) 横塚 保: 日本のしょうゆ, p. 32, キッコーマン(株)広報部 (1984)
- 5) 析倉辰六郎(編): 醤油の科学と技術, p. 277, 368, (財)日本醸造協会 (1988)
- 6) 高田亮平(監): 調味料—その科学と製造—, p. 256, 光生館 (1966)
- 7) 科学技術庁資源調査会(編): 四訂日本食品標準成分表, p. 280, 大蔵省印刷局 (1982)
- 8) 厚生省保健医療局健康増進栄養課(編): 日本人の栄養所要量 (第三次改定), p. 8, 第一出版 (1984)
- 9) 東海林さだお: 週刊朝日, 3月3日号 (1989)
- 10) 小俣 靖: 調理科学, 20, 83 (1987)
- 11) 中谷圭子, 松元文子, 桜井芳人: 調味科学, 21, 34, 40 (1974)
- 12) 松元文子: 醬研, 5, 190 (1979)
- 13) 小島猛男: 臨床消化病, 2, 728 (1954)
- 14) 梶本義衛: 食衛誌, 4, 123 (1963)
- 15) 清水利貞, 鈴木一良, 出川 昭: 日食工誌, 9, 198 (1962)
- 16) 山本 泰, 森谷悌治, 辻原 輝明: 醬研, 4, 101 (1978)
- 17) 山口直彦, 横尾良夫, 藤巻正生: 日食工誌, 26, 71 (1979)
- 18) H. BENJAMIN, J. STORKSON, P. G. TALLAS, M. W. PARIZA: *Fd. Chem. Toxic.*, 26, 671 (1988)
- 19) *Food Chem. News*: Apr. 17, p. 57 (1989)
- 20) *Chem. Eng. News*: Apr. 24, p. 35 (1989)
- 21) 海老根英雄: 味噌の科学と技術, 37, 192 (1989)
- 22) 醸協ニュース: 平成2年5月 (1990)
- 23) 中野政弘: 醬研, 9, 208 (1983), 10, 1 (1984)
- 24) 朝日新聞: 昭和57年7月30日 (1982)
- 25) 読売新聞: 昭和59年1月29日 (1984)
- 26) E. ZEIGER: *Cancer Res.*, 47, 1287 (1987)
- 27) 長原 歩: 醬研, 11, 149 (1985)
- 28) A. NAGAHARA, K. OHSHITA, S. NASUNO: *Fd. Chem. Toxic.*, 24, 13 (1986)
- 29) A. NAGAHARA, K. OHSHITA, S. NASUNO: *Amino-Carbonyl Reactions in Food and Biological Systems*, p. 373, Kodansha, Tokyo (1986)
- 30) 長原 歩, 大下克典, 那須野精一: 食衛誌, 30, 32 (1989)
- 31) K. WAKABAYASHI, M. OCHIAI, H. SAITO, M. TSUDA, Y. SUWA, M. NAGAO, T. SUGIMURA: *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 80, 2912 (1983)
- 32) 若林敬二: 環境変異原研究, 5, 18 (1983)
- 33) 長尾美奈子: 代謝 (臨時増刊, 癌 '84), 21, 697 (1984)
- 34) W. C. MACDONALD, J. W. DUECK: *J. Natl. Cancer Inst.*, 56, 1143 (1976)