

特集

カビの食品汚染

輸入食品のカビ 汚染

Fungal contamination of imported
foods

前田協一

((財)マイコトキシン検査協会)

Maeda Kyoichi

(Mycotoxin Research Association)

I はじめに

古来、日本人はカビを食生活の中に取り入れ、これらを積極的に利用することによって、独特の味文化を創造してきた。*Aspergillus oryzae*, *A. sojae*, *A. tamarii*, *A. awamori*, *A. usamii* などのカビを用いて作られた種麴から日本酒や焼酎、みりん、味噌、醤油などの醸造食品や、鰹節の脱水と香気付けに *A. glaucus* や *A. katsuobushi* が用いられているのがその1例である。しかし、一方で、*Fusarium* などの植物病原菌による農作物の減収、*Aspergillus* や *Penicillium* などの腐生菌による食品の品質低下など、カビによる被害も大きく、カビは毎年、直接的な経済的損失を我々に与えて来た。近年、日本における“黄変米事件”や欧米における“七面鳥X病事件”が発端となって、カビの有毒代謝産物が人や動物に重大な健康障害を与えることが明らかにされるに及んで、これまで主として発酵と変腐の面からのみ捕らえられて来た食品とカビの関連に、カビ毒（マイコトキシン）の分野が加わり、食品衛生上の新たな局面を迎えることになった。カビ毒がカビの代謝産物である以上、食品のカビ毒汚染は食品のカビ汚染の帰結として、その延長線上に位置することは言うまでもない。カビ汚染によって品質低下を来たした食品は可視的にこれらを判別することが出来る。しかし、カビ毒汚染を受けた食品の中には可視的判別が不可能で、カビ毒自体の化学分析に待たねばならぬ場合が多い。輸入落花生におけるアフラトキシン汚染がその例である。Cuculluら(1966)¹⁾が指摘しているように、外観は正常で可視的にカビ汚染の認められない落花生粒から多量のアフラトキシンが検出されることを筆者らもしばしば経験した。特にカビ毒汚染原料が混入したピーナッツバターやピーナッツオイルなどの加工食品では化学分析を行なう以外にカビ毒汚染の判別は不可能である。一方、逆に、食品からカビ毒産生

表1 カビ毒自然汚染食品(その1)

食 品	カビ 毒	生 産 国
Maize	Aflatoxins	U.S.A., Costa Rica, Dominica, Brazil, Colombia, India, Thailand, Philippines, Kenya, Swaziland, Uganda, Senegal, Mozambique, Ghana, France, Yugoslavia, Australia
	Ochratoxin A	U.S.A., France, Yugoslavia, England
	Penicillic Acid	U.S.A.,
	Citrinin	Thailand, Burma, Japan
	Zearalenone	U.S.A., Canada, Mexico, South Africa, Swaziland, Zambia, Lesotho, France, Italy, England, Yugoslavia, Hungary
	Trichothecenes	U.S.A., Canada, India, South Africa, Zambia, France, Germany, Yugoslavia, Austria
Wheat	Aflatoxins	U.S.A., Pakistan, Yugoslavia, Greece, France, Ethiopia
	Ochratoxin A	U.S.A., Canada, Yugoslavia
	Citrinin	Canada
	Sterigmatocystin	Canada
	Zearalenone	U.S.A., Hungary
	Trichothecenes	Canada, Japan
Barley	Aflatoxins	Greece, France, Japan
	Ochratoxin A	U.S.A., Canada, Denmark, Sweden
	Citrinin	Canada, Denmark
	Sterigmatocystin	England
	Zearalenone	England, Scotland
	Trichothecenes	Canada, Japan
Rice	Aflatoxins	U.S.A., Colombia, Thailand, India, Philippines, Taiwan, Viet Nam, Mozambique, Senegal, Brazil
	Citrinin	Japan
	Sterigmatocystin	Japan
Oat	Aflatoxins	U.S.A., Greece, France, Eire
	Ochratoxin A	Canada, Sweden, Denmark
	Citrinin	Canada
	Trichothecenes	Finland, Germany
Sorghum	Aflatoxins	U.S.A., India, Uganda, Colombia, Ethiopia, France, Australia
	Zearalenone	U.S.A., Swaziland
Rye	Aflatoxins	France, Germany
	Ochratoxin A	Canada
	Citrinin	Canada, France, Germany
Millet	Aflatoxins	Thailand, Uganda
Peanut	Aflatoxins	U.S.A., Brazil, Argentina, Paraguay, Venezuela, Japan, China, India, Thailand, Taiwan, Indonesia, Malaysia, Philippines, Viet Nam, South Africa, Sudan, Nigeria, Senegal, Uganda, Mozambique, Swaziland, Zimbabwe, Australia
	Ochratoxin A	Mexico
	Citrinin	India

菌が分離されても、その食品自体からはカビ毒が検出されない場合のあることも筆者らは体験している。これらの食品は将来これらの食品を取り巻く環境条件が悪化すれば、カビ毒汚染を受ける可能性のあることを意味する。ここに食

品とカビ毒汚染の特異生があり、また食品衛生上の問題点がある。

筆者はこの数年間、厚生省がん研究助成金による「わが国におけるがん原性マイコトキシンによる暴露実態に関する研究」(班長：国立予

表1 カビ毒自然汚染食品 (その2)

食品	カビ毒	生産国
Cotton Seed	Aflatoxins	U.S.A., Guatemala, Nicaragua, El Salvador, Iran, Greece, Brazil, Colombia, Syria, Turkey, U.S.S.R.
Sunflower Seed	Aflatoxins	Hungary, Germany, Italy, Argentina
Soybean	Aflatoxins	U.S.A.
Copra	Aflatoxins	Philippines, Ghana, India
Cassava	Aflatoxins	Indonesia, Philippines, Mozambique, Uganda, Ghana
Sweet Potato	Aflatoxins	Taiwan, Philippines
Peanut Oil	Aflatoxins	India, Taiwan, Indonesia, Nigeria
Coconut Oil	Aflatoxins	Philippines, India
Olive Oil	Aflatoxins	Greece
Pistachio Nut	Aflatoxins	U.S.A., Iran, Turkey, Pakistan
Almond	Aflatoxins	U.S.A., Canada
Walnut	Aflatoxins	U.S.A., Canada, China, Yugoslavia
Pecan	Aflatoxins	U.S.A.
	Sterigmatocystin	U.S.A.
	Zearalenone	U.S.A.
Brazil Nut	Aflatoxins	Brazil, Peru
Cashew Nut	Aflatoxins	India
Filbert	Aflatoxins	Turkey
Pulses (Beans & Peas)	Aflatoxins	Colombia, India, Thailand, Philippines, Iran, Uganda, Mozambique
	Ochratoxin A	U.S.A., Canada, England
	Penicillic Acid	U.S.A.
Green Coffee Bean	Aflatoxins	Brazil
	Ochratoxin A	U.S.A.
	Sterigmatocystin	Namibia
Coconut	Aflatoxins	Iran
Chilli	Aflatoxins	U.S.A., China, Korea, India, Thailand, Indonesia, Singapore, Sri Lanka, Sudan, Pakistan, Spain
Nutmeg	Aflatoxins	U.S.A., Indonesia, Singapore
Buckwheat	Aflatoxins	Brazil
Job's Tears	Aflatoxins	Unidentified
Fig	Aflatoxins	Turkey
Apple	Aflatoxin B ₁	India
	Patulin	Canada, Germany
Pear	Patulin	Germany
Apple Juice	Patulin	U.S.A., Canada, Sweden, Finland, England
Wine	Aflatoxins	Germany
Milk	Aflatoxin M ₁	U.S.A., South Africa, Iran, Germany
Cheese	Aflatoxin M ₁	U.S.A., Brazil, Australia, France, Netherlands, Denmark, England, Germany, Switzerland
	Sterigmatocystin	Netherlands
Fish	Aflatoxins	Philippines, Thailand, Indonesia

衛生研究所・粟飯原景昭) に参画し、「輸入落花生のアフラトキシンによる自然汚染実態調査」を分担して来た。本稿ではすでに発表したこれらの調査研究結果²⁾を交じえて、輸入食品のカビ汚染をカビ毒の観点から捕らえ、環食第

128号法に基づく輸入むき実生落花生のアフラトキシン汚染を紹介し、関係各位の御参考に供したい。

II 自然汚染が判明しているカビ 毒汚染食品

黄変米事件や七面鳥X病事件を契機に、内外の研究者らによって、食品から分離されるカビを用いたカビ毒の検索が精力的に試みられて来た。現在、誘導体を含めておよそ200種類ほどのカビ毒が報告されている。しかし、これらのカビ毒で実際に食品から検出されたとして報告されている自然汚染例はアフラトキシン、オクラトキシン、シトリニン、パトリン、ペニシリン酸、ステリグマトシスチン、ゼアラレノン、トリコテセン類とその種類は少ない。

第二次世界大戦後、わが国の経済成長政策は工業を中心に推進されて来た。その結果、国民の生活水準は目覚ましく向上し、それに伴う食生活は年々高度化し、より多様化して来た。その反面、国民の台所を賄う農村の過疎化を招く結果となり、現在、国民の食生活に占める輸入食品の割合は年間消費量の40%を越えると言われている。近年、世界の交通機関の発達は食糧の生産地と消費地の距離をますます短縮し、年々多種多様の食品が世界の各地から多量に輸入されるようになって来た。当然のことながら、カビによって汚染された食品や、カビ毒汚染食品が健全な食品に混って輸入されることが予想される。現に我々は輸入米で黄変米事件を、輸入落花生でアフラトキシン汚染事件をすでに経験している。前述のように、自然汚染例が報告されている食品汚染に関連したカビ毒の種類は限られている。しかし、1年のうち5ヶ月分近くを輸入食品に依存して食生活を維持している我々にとって「いずこの国の、いかなる食品が、どのようなカビ毒によって汚染されているか」を知っておくことは健康で快適な食生活を維持するための安全な食品を得るうえで不可欠である。表1はこれまでに世界の各地で報告されている自然汚染例を食品とカビ毒と生産国とから纏めたものである。

III 食品衛生史上にみる輸入食品の カビ汚染

わが国で輸入食品のカビ汚染が社会問題として取り上げられた発端は輸入米に起きた黄変米事件である。1951年末に輸入されたビルマ米から多数の黄変粒が発見された。当時、日本の食糧事情は極度に悪く、国内産米のおよそ10%に当たる100万トンの米を輸入に頼らねばならぬ程に逼迫していた。翌1952年末から1953年初頭にかけて輸入されたビルマ米から初めてタイ国黄変米菌 (*Penicillium citrinum*) とイスタンジア黄変米菌 (*P. islandicum*) が相次いで検出された。国はこれに対応して「輸入病変米の暫定的処理基準」(1953年6月16日、衛発第469号)を定め、輸入米の菌学的検査を始めた。黄変米毒素の分析法が確立していなかった当時としては当然の処置と言える。その後、これらの有毒病変米菌は黄変していない白米からも検出されることが判明して、菌学的検査は白米についても実施されることになった。ちなみに、1953年4月から1954年3月までに輸入されたおよそ145万トンの輸入米のうち黄変米菌が検出された米はThailand, Burma, Indonesia, Peru, Ecuador, China, Turkey, U. S. A., Italy, Columbia, Spainから輸入されたなかの10.7万トンであったと報告されている³⁾。

日本でのカビ汚染米(病変米)に関する研究は古く、明治時代に流行した脚気の原因としてカビ汚染米を取り上げた榊原二郎(1891)⁴⁾の、「微米の毒物学的研究」にまで遡ることが出来る。この研究は50年後の三宅市郎(1940)によって引き継がれ、米粒に繁殖して米を黄変させるトキシカリウム黄変米の原因菌 *Penicillium toxicarium* (現在、分類学上 *P. citreoviride* に位置付けられている)の存在が確認されると同時に、この黄変米が供試動物に対して運動神経機能麻痺を伴う脚気衝心症状を起こす

ことが明らかにされた。1948年にはエジプト米からイスラミア黄変米の原因菌として *P. islandicum* が角田広によって分離された。その後、この黄変米は供試動物に対して急性肝障害を与えることが浦口健二らの研究グループによって明らかにされた。1951年にはタイ米からタイ国黄変米の原因菌として腎障害物質を代謝する *P. citrinum* が角田広によって分離された。黄変米事件を考える時、その背景には世界に先駆けて日本の医学、農学、化学の各専門分野に携わる先達たちの黄変米菌と黄変米有毒物質に関する優れた多くの研究成果の蓄積があったことを見逃してはならない。同時に、黄変米事件の特徴は検査の手段が輸入米から直接カビ毒を検出するのではなく、黄変米菌の検索にあったことである。従って結論が出るまでに1週間以上の期間を要したことであり、およそ20年後に発生した輸入落花生のアフラトキシン汚染事件とは対照的である。

1970年、粟飯原らによって輸入落花生を原料とした市販のピーナッツバターからわが国で最初にアフラトキシンが検出され、業界ならびに行政機関は強い衝撃を受けた。以来日本でもアフラトキシンは単に学問上の研究対象に止まらず、食品衛生上の問題として行政的対応が急務となった。翌1971年3月16日「カビ毒（アフラトキシン）を含有する食品の取扱いについて」（環食第128号）⁵⁾が告示され、同年4月以降に輸入される落花生と落花生製品は環食第128号の別紙(1)に公定法として示された「ピーナッツおよびピーナッツ製品中のアフラトキシン B_1 の試験法」（環食第128号法）に従ってアフラトキシン B_1 の検査が実施されることになった。その後、1981年9月12日付環食第204号⁶⁾によって輸入ナッツ類についてもアフラトキシン B_1 の検査が環食第128号法に従って実施されることになった。いずれも「この試験法（環食第128号法）においてアフラトキシン B_1 を検出してはならない」と規定し、「アフラト

キシシンが検出された食品は食品衛生法第4条第2号に違反するものとして取扱う」ことが明記されている。ちなみに、環食第128号法で検出してはならないと規定しているアフラトキシン B_1 の汚染レベルは同法の手順にしたがえば10.0 ppb以上に相当する。

アフラトキシンは *Aspergillus flavus* や *A. parasiticus* が代謝するがん原生カビ毒に属し、動物実験で哺乳類、鳥類、魚類など広範囲の動物に極めて低濃度で強力な発がん性のあることが報告されている。人に対しても疫学的調査から発がん性のあることが認められている。

1960年、イギリスでピーナッツミールを配合した飼料により10数万羽の七面鳥の若鳥が短期間に斃死した。この七面鳥X病事件と相前後して世界の各地で家禽の大量死が表面化した。この原因としてクローズアップされたアフラトキシンは研究が進むに従って、食品衛生上の問題に発展し、地球的規模で当事者の関心を集めた。Schuller (1982)⁷⁾の調査では現在およそ45ヶ国でアフラトキシンに対する行政的規制処置が取られている。この背景には前述した強力な発がん性にくわえて、表1でも明らかのように、アフラトキシンによる自然汚染の対象が問題の発端となった落花生を含む種実類や香辛料などの副食物嗜好品のみならず、主食である米、麦、トウモロコシ等の穀類など多岐に渡る農産物とその加工品に及んでいること、しかも汚染の地域が特定の生産国や消費国に止まらず、地球の全域に渡っている現実と、大半のアフラトキシン汚染食品は調理加工によってもアフラトキシンを完全に除去し得ない現状をあげることが出来る。

IV 輸入むき実生落花生の アフラトキシン汚染

日本は国内産に匹敵する5~6万トンの落花生を毎年、世界の各地から輸入している。これらの落花生のカビ毒による自然汚染例は *A.*

表2 輸入大粒種むき実生落花生の環食第128号法によるアフラトキシン検査結果

生産国と 輸入年次	アフラトキシン B ₁ 検出試料			検査試料数
	10.0 ppb 以上	10.0 ppb 未満	アフラトキシン 陰性試料	
	試料数 (%)	試料数 (%)	試料数 (%)	
生産国別				
U.S.A.	1 (0.1)	6 (0.4)	1362 (99.5)	1369
China	0 (0)	3 (0.3)	956 (99.7)	959
Australia	0 (0)	0 (0)	237 (100)	237
Egypt	0 (0)	0 (0)	7 (100)	7
生産地不明	0 (0)	3 (7.5)	37 (92.5)	40
合計	1 (0.04)	12 (0.46)	2599 (99.50)	2612
輸入年次別				
1972	0 (0)	1 (2.7)	36 (97.3)	37
1973	1 (0.4)	3 (1.1)	261 (98.5)	265
1974	0 (0)	0 (0)	264 (100)	264
1975	0 (0)	0 (0)	227 (100)	227
1976	0 (0)	0 (0)	294 (100)	294
1977	0 (0)	0 (0)	390 (100)	390
1978	0 (0)	2 (0.8)	261 (99.2)	263
1979	0 (0)	0 (0)	227 (100)	227
1980	0 (0)	0 (0)	309 (100)	309
1981	0 (0)	6 (1.8)	330 (98.2)	336
合計	1 (0.04)	12 (0.46)	2599 (99.50)	2612

flavus や *A. terreus*, *P. citrinum* によって汚染されたインド産落花生からアフラトキシンと共に検出されたシトリニン⁸⁾, およびカナダに輸入されたメキシコ産の *P. viridicatum*, *P. cyclopium* (いずれも一般にオクラトキシンAの産生菌として知られているが, 分離された前者にはオクラトキシンAの産生能が確認され, 後者では認められなかったと報告されている) によって汚染された殻付き落花生から検出されたオクラトキシンA⁹⁾ がそれぞれ1例ずつ報告されている以外は全てアフラトキシンによる汚染例である。しかも, アフラトキシン汚染は世界の主な生産国に及んでいることが表1からも窺える。

輸入むき実生落花生は Virginia type の大粒種と Spanish-Runner type の小粒種に大別さ

れる。これらの輸入むき実生落花生のアフラトキシン汚染は母集団を構成している1個1個の落花生粒が全てアフラトキシンの汚染されているのではなく, むしろ大多数の非汚染粒の中に汚染粒が混在しているのが一般的である。しかも1粒当りのアフラトキシン汚染量や汚染粒の混在率は生産地や年次, ロット毎に異なっている。本稿では落花生のアフラトキシン汚染をアフラトキシン検出率 (AF 検出率) とアフラトキシン陽性率 (AF 陽性率) およびアフラトキシン汚染レベル (AF 汚染レベル) に分けて論じた。AF 検出率とは分析試料からアフラトキシン B₁ が検出 (検出限界 0.1 ppb) されたロット (母集団) の割合を意味し, AF 陽性率とは日本のガイドラインに照合して 10.0 ppb 以上のアフラトキシン B₁ が検出され, 行政処置が取られ

表3 輸入小粒種むき実生落花生の環食第128号法による生産国別アフラトキシン検査結果

地域別 生産国	アフラトキシン B ₁ 検出試料			検査試料数
	10.0 ppb 以上	10.0 ppb 未満	アフラトキシン 陰性試料	
	試料数 (%)	試料数 (%)	試料数 (%)	
アメリカ地域				
1 U.S.A.	17 (0.5)	21 (0.7)	3195 (98.8)	3233
2 Argentina	5 (1.4)	4 (1.1)	353 (97.5)	362
3 Brazil	42 (13.5)	59 (19.5)	205 (67.0)	306
4 Paraguay	14 (6.8)	14 (6.8)	179 (86.5)	207
5 Colombia	0 (0)	0 (0)	2 (100)	2
6 Venezuela	1 (100)	0 (0)	0 (0)	1
小計	79 (1.9)	98 (2.4)	3934 (95.7)	4111
アフリカ地域				
1 South Africa	0 (0)	4 (0.3)	1560 (99.7)	1564
2 Sudan	21 (2.1)	139 (13.7)	855 (84.2)	1015
3 Mozambique	1 (0.3)	1 (0.3)	323 (99.4)	325
4 Zimbabwe	2 (4.9)	1 (2.4)	38 (92.7)	41
5 Ethiopia	0 (0)	0 (0)	8 (100)	8
6 Namibia	0 (0)	0 (0)	3 (100)	3
7 Nigeria	0 (0)	0 (0)	3 (100)	3
8 Cameroons	1 (100)	0 (0)	0 (0)	1
9 Mauritius	0 (0)	0 (0)	1 (100)	1
10 Senegal	0 (0)	0 (0)	1 (100)	1
11 Tanzania	0 (0)	0 (0)	1 (100)	1
小計	25 (0.8)	145 (4.9)	2793 (94.3)	2963
アジア地域				
1 Indonesia	31 (4.3)	30 (4.2)	661 (91.5)	722
2 China	2 (0.3)	7 (1.0)	695 (98.7)	704
3 India	11 (2.5)	18 (4.1)	411 (93.4)	440
4 Taiwan	1 (0.9)	0 (0)	116 (99.1)	117
5 Thailand	6 (9.8)	8 (13.1)	47 (77.1)	61
6 Philippines	2 (14.3)	3 (21.4)	9 (64.3)	14
7 Hong Kong	2 (15.4)	0 (0)	11 (84.6)	13
8 Viet Nam	1 (14.3)	0 (0)	6 (85.7)	7
9 Malaysia	2 (50.0)	0 (0)	2 (50.0)	4
小計	58 (2.8)	66 (3.2)	1958 (94.0)	2082
その他				
1 Australia	0 (0)	0 (0)	53 (100)	53
2 生産地不明	2 (0.8)	5 (2.1)	234 (97.1)	241
小計	2 (0.7)	5 (1.7)	287 (97.6)	294
合計	164 (1.7)	314 (3.3)	8972 (95.0)	9450

表4 小粒種むき実生落花生の環食第128号法による
輸入年次別アフラトキシン検査結果

輸入年次	アフラトキシン B ₁ 検出試料			検査試料数
	10.0 ppb 以上	10.0 ppb 未満	アフラトキシン 陰性試料	
	試料数 (%)	試料数 (%)	試料数 (%)	
1972	2 (1.1)	2 (1.1)	172 (97.7)	176
1973	11 (1.1)	20 (2.1)	949 (96.8)	980
1974	15 (2.4)	16 (2.6)	595 (95.0)	626
1975	15 (2.0)	24 (3.2)	713 (94.8)	752
1976	8 (0.7)	11 (1.0)	1103 (98.3)	1122
1977	10 (0.9)	9 (0.8)	1060 (98.2)	1079
1978	34 (3.8)	59 (6.5)	812 (89.7)	905
1979	21 (1.7)	63 (5.2)	1128 (93.1)	1212
1980	19 (1.4)	18 (1.4)	1278 (97.2)	1315
1981	29 (2.3)	92 (7.1)	1162 (90.6)	1283
合計	164 (1.7)	314 (3.3)	8972 (95.0)	9450

たロットの割合を意味する。また AF 汚染レベルは落花生粒 50 g から検出されたアフラトキシン B₁ の量 (ng) を意味し、一般に ppb で表現される。

V 大粒種のアフラトキシン汚染

表2は1972年9月から10年間に輸入された大粒種の環食第128号法によるアフラトキシン検査結果である。アフラトキシン汚染が認められた大粒種は生産地不明を除けば米国産と中国産で、オーストラリア産からは検出されておらず、全体の0.5%に過ぎない。大粒種のAF検出率は環食第128号に基づく検査結果から判断する限り、米国産で小粒種の1/2.3、中国産で1/4と推定される。またAF汚染レベルの最大値は米国産で1100 ng (22.3 ppb)、中国産で65 ng (1.3 ppb)であった。

VI 小粒種のアフラトキシン汚染

1972年9月から10年間に輸入された小粒種の生産国別アフラトキシン汚染状況を環食第128号法に基づく検査結果からまとめ表3に示

表5 輸入国別落花生のアフラトキシン陰性率比較

生産国	輸 入 国		
	1981		1972-1981
	U.S.A.* ¹	Japan* ²	Japan* ²
China	85	98.5	98.7
India	8	-* ³	93.4
Sudan	6	37.3	84.2
Argentina	60	96.7	97.5
South Africa	59	99.3	99.7
Malawi	40	-	-
Australia	90	-	100
Brazil	0	21.9	67.0
Egypt	86	-	-
Taiwan	73	100	99.1

*1: Goldblat, L.A. and Stoloff, L.; Proc. Int. Symp. Mycotoxin pp33-46 (1983)

*2: 小粒種 *3: 検査試料なし

した。

表4はその輸入年次別結果である。過去10年間に少なくとも200ロット以上の輸入実績を持つ10ヶ国を対象に、生産国のアフラトキシン汚染をAF検出率から検討してみた。その結果、アフラトキシン汚染はAF検出率3.5%を

表6 主要生産国別輸入小粒種むき実生落花生の環食第128号法によるアフラトキシン検出率年次別推移

輸入年次	U.S.A.	Argentina	Paraguay	Brazil	South Africa	Sudan	Mozambique	China	Indonesia	India
1972	0	-*	-	0	0	20.0	-	0	9.7	0
1973	0	-	-	5.2	0.5	4.5	0	0	8.1	0
1974	0.5	-	-	25.0	0	53.9	0	2.6	5.2	3.8
1975	0.5	-	-	10.7	0.6	8.8	2.9	0	7.3	14.8
1976	1.0	-	-	4.1	0	2.8	1.1	0	3.6	3.4
1977	1.6	0	0	13.3	0	2.2	0	2.9	1.9	0
1978	1.2	0	0	73.8	0	17.0	0	3.1	8.3	-
1979	1.6	0	-	25.0	0	25.2	0	0	36.8	27.3
1980	1.0	3.1	15.4	34.4	0	-	-	1.5	0	3.4
1981	1.9	3.3	13.1	78.1	0.7	62.7	0	1.5	37.9	-

*-: 検査試料なし

表7 輸入小粒種むき実生落花生の環食第128号法によるアフラトキシン検出率の生産国別輸入年次別分散分析

項目	平方和 (SS)	自由度 (N)	分散 (SS/N)	分散比 (F)	確率 (P)
輸入年次	3234.505	9	359.389	2.252	0.05-0.01
生産国	7749.094	9	861.010	5.396	0.001>
誤差	10371.920	65	159.568		
合計	21355.519	83			

代表値 (G: 相乗平均値) とする標準偏差 (σ) 10.3%の左傾型度数分布曲線で示すことが出来る。表1で明らかのように、アフラトキシンによる落花生の自然汚染例は主な生産国で報告されており、今、これらの生産国から輸入される小粒種の一般的なアフラトキシン汚染を AF 検出率 $G \pm \sigma = 0 \sim 13.8\%$ の範囲内にあるとすれば、この範囲を越えて $G + 2\sigma = 28.6\%$ の範囲にある Sudan は汚染の高い生産国と言える。さらに、AF 検出率が $G + 2\sigma$ より高い Brazil は 1972 年から 10 年間の統計資料でみる限り、アフラトキシン汚染の異常に高い生産国と言える。この傾向は表5に示したように、米国が 1981 年に世界の生産国から輸入した落花生のアフラトキシン汚染と比較して、その程度に差はあるがほぼ一致することに注目したい。なお、Sudan 産の小粒種は Brazil 産に次いでアフラトキシン汚染が高かったにもかかわらず、AF 検出率中に占める AF 陽性率は南アフリカ

表8 生産国におけるアフラトキシン陰性率の年次別推移

年次	アフラトキシン陰性率 (%)		
	Texas*1	U.S.A.*2	Thailand*3
1969	84		
1970	77		
1971	6		
1973		58	
1974		70	
1975		69	
1976		79	58
1977		77	45
1978		65	50
1979		82	56
1980			54

*1: Schroder, H.W. and Boller, R.A.; Applied Microbiology 25 885-889 (1973)

*2: Goldblatt, L.A. and Stoloff, L.; Proc. Int. Symp. Mycotoxin pp 33-46 (1983)

*3: Angshubhakorn, S., et al; Proc. Int. Symp. Toxic Microorganisms pp 239-247 (1982)

表9 輸入小粒種むき実生落花生から検出されるグループ別
アフラトキシン検出率の生産国別傾向

地域別 生産国	アフラトキシン検出試料		
	B グループのみ	B & G グループ	合計
	試料数 (%) ^{*1}	試料数 (%) ^{*1}	試料数 (%) ^{*2}
アメリカ地域			
1 U.S.A.	25 (66)	13 (34)	38 (1.2)
2 Argentina	3 (33)	6 (67)	9 (2.5)
3 Brazil	89 (88)	12 (12)	101 (33.0)
4 Paraguay	28 (100)	0 (0)	28 (13.5)
5 Venezuela	1 (100)	0 (0)	1 (100)
小 計	146 (82)	31 (18)	177 (4.3)
アフリカ地域			
1 South Africa	4 (100)	0 (0)	4 (0.3)
2 Sudan	158 (99)	2 (1)	160 (15.8)
3 Mozambique	1 (50)	1 (50)	2 (0.6)
4 Zimbabwe	1 (33)	2 (67)	3 (7.3)
5 Cameroons	1 (100)	0 (0)	1 (100)
小 計	165 (97)	5 (3)	170 (5.7)
アジア地域			
1 Indonesia	61 (100)	0 (0)	61 (8.4)
2 China	8 (89)	1 (11)	9 (1.3)
3 India	29 (100)	0 (0)	29 (6.6)
4 Taiwan	1 (100)	0 (0)	1 (0.9)
5 Thailand	13 (93)	1 (7)	14 (22.9)
6 Philippines	5 (100)	0 (0)	5 (35.7)
7 Hong Kong	2 (100)	0 (0)	2 (15.4)
8 Viet Nam	1 (100)	0 (0)	1 (14.3)
9 Malaysia	2 (100)	0 (0)	2 (50.0)
小 計	122 (98)	2 (2)	124 (6.0)
そ の 他			
生産国不明	7 (100)	0 (0)	7 (2.9)
合計	440 (92)	38 (8)	478 (5.0)

*1: アフラトキシン検出試料に対する百分比

*2: 検査試料に対するアフラトキシン検出試料の百分比

産の0%に次いで低い。筆者らの調査によると、このような低濃度汚染試料の中には均一汚染の認められるものがある。従って、落花生粒

の産生菌による直接的なアフラトキシン汚染では説明できない広範囲均一汚染の可能な間接的汚染の要因について検討する必要がある。

表10 アメリカ産輸入小粒種むき実生落花生から検出されたアフラトキシン汚染レベル

試料 番号	ng/50 gr 落花生粒					ppb			
	B1	B2	G1	G2	Total	B1	B2	G1	G2
Am-14	54900	7050	26800	2550	91300	1100	141	535	51.0
-18	25300	4740	ND*1	ND	30040	506	94.9	ND	ND
-34	19500	2450	26500	5150	53600	390	49.0	530	103
-07	12600	993	560	+*2		252	19.9	11.2	+
-03	9650	1220	ND	ND	10870	193	24.5	ND	ND
-19	6300	536	3830	230	10896	126	10.7	76.5	4.6
-08	5350	1040	ND	ND	6390	107	20.7	ND	ND
-20	4120	597	ND	ND	4717	82.4	11.9	ND	ND
-27	3940	235	1150	56.1	5381.1	78.8	4.7	23.0	1.1
-15	3420	594	ND	ND	4014	68.4	11.9	ND	ND
-09	1990	82.3	308	+		39.7	1.7	6.2	+
-28	1880	149	277	18.0	2324	37.6	3.0	5.5	0.4
-10	1510	108	174	+		30.2	2.2	3.5	+
-11	1450	197	339	45.9	2031.9	29.0	3.9	6.8	0.9
-04	628	84.2	1020	230	1962.2	12.6	1.7	20.4	4.6
-21	601	67.5	ND	ND	668.5	12.0	1.4	ND	ND
-35	575	49.5	ND	ND	624.5	11.5	1.0	ND	ND
-05	479	195	ND	ND	674	9.6	3.9	ND	ND
-29	263	76.6	ND	ND	339.6	5.3	1.5	ND	ND
-02	260	+	727	43.3		5.2	+	14.5	0.9
-22	232	63.8	ND	ND	295.8	4.6	1.3	ND	ND
-23	199	15.3	ND	ND	214.3	4.0	0.3	ND	ND
-30	181	79.1	102	20.4	382.5	3.6	1.6	2.0	0.4
-24	173	31.2	ND	ND	204.2	3.5	0.6	ND	ND
-25	130	17.9	+	+		2.6	0.4	+	+
-36	105	14.5	ND	ND	119.5	2.1	0.3	ND	ND
-37	96.9	24.2	ND	ND	121.1	1.9	0.5	ND	ND
-31	89.3	15.3	ND	ND	104.6	1.8	0.3	ND	ND
-32	72.9	ND	ND	ND	72.9	1.5	ND	ND	ND
-33	71.5	ND	ND	ND	71.5	1.4	ND	ND	ND
-16	45.9	ND	ND	ND	45.9	0.9	ND	ND	ND
-17	45.9	ND	ND	ND	45.9	0.9	ND	ND	ND
-12	45.0	ND	ND	ND	45.0	0.9	ND	ND	ND
-38	43.4	ND	ND	ND	43.4	0.9	ND	ND	ND
-13	30.0	ND	ND	ND	30.0	0.6	ND	ND	ND
-26	23.0	ND	ND	ND	23.0	0.5	ND	ND	ND
-01	12.5	ND	ND	ND	12.5	0.3	ND	ND	ND
-06	12.5	ND	ND	ND	12.5	0.3	ND	ND	ND

*1: アフラトキシン検出せず *2: 定性のみ (1972~1981)

次に、輸入年次別のアフラトキシン汚染はAF検出率4.0%を代表値(G)とする標準偏差(σ)3.1%の左傾型度数分布曲線で示される。従って、平年のアフラトキシン汚染がAF検出

率で $G \pm \sigma = 0.9 \sim 7.1\%$ の範囲内にあるとすれば、平年値を越えて $G + 2\sigma = 10.2\%$ の範囲内にある1981年は汚染の高かった年と言える。さらに、AF検出率が $G + 2\sigma$ より高い1978年

表11 主要生産国から輸入される小粒種むき実生落花生の環食第128号法によるアフラトキシン汚染推定

地域別 生産国	試料 数	アフラトキシン B ₁ レベルの 最大値 ng/50g ^{*1} (ppb)	95%信頼区間推定			
			アフラ トキシン 検出率(%)* ²	アフラ トキシン 陽性率(%)* ³	アフラトキシン 汚染粒の 混在率 (%)	Af 汚染粒が1粒 以上混在するサン プルサイズ (g)
アメリカ地域	4111	226,000 (4,520)	0 - 11.2	0 - 5.4	0.02937 - 0.03952	1,000 - 1,400
U.S.A.	3233	54,900 (1,100)	0 - 2.3	0 - 1.2	0.00643 - 0.01238	3,200 - 6,200
Argentina	362	4,540 (91)	0 - 4.7	0 - 2.5	0.00690 - 0.03288	1,200 - 5,800
Brazil	306	226,000 (4,520)	0 - 81.8	0 - 37.2	0.21262 - 0.31548	130 - 190
Paraguay	207	20,100 (402)	0 - 23.4	0 - 17.0	0.06815 - 0.14827	270 - 590
アフリカ地域	2963	194,000 (3,870)	0 - 13.9	0 - 2.0	0.03903 - 0.05277	760 - 1,000
South Africa	1564	199 (4)	0 - 0.8	0	0.00009 - 0.00401	10,000 - 460,000
Sudan	1015	194,000 (3,870)	0 - 65.5	0 - 5.0	0.10659 - 0.14563	270 - 380
Mozambique	325	740 (15)	0 - 2.5	0 - 0.9	< 0.01174	3,400<
アジア地域	2135	403,000 (8,070)	0.1 - 12.3	0.3 - 5.9	0.03829 - 0.05464	730 - 1,000
Indonesia	722	403,000 (8,070)	0 - 38.9	0 - 18.8	0.05064 - 0.08454	470 - 790
China	704	31,400 (629)	0 - 3.8	0 - 2.0	0.00355 - 0.01690	2,400 - 11,000
India	440	46,500 (931)	0 - 25.5	0 - 5.4	0.03354 - 0.07191	560 - 1,200
全 体	9450	403,000 (8,070)	0 - 11.0	0 - 5.5	0.03685 - 0.04408	910 - 1,100

*1: 50g 中の小粒種むき実生落花生粒数125, *2: アフラトキシン B₁ 0.1ppb以上, *3: アフラトキシン B₁ 10.0ppb以上.

は異常に高かった年と言える。

VII 生産国のアフラトキシン汚染の 年次別推移

表6は前項で取り上げた10ヶ国を対象に、小粒種のアフラトキシン汚染を輸入年次別に纏め、AF検出率で示したものである。生産国間および輸入年次間に認められるAF検出率の差について分散分析を行ない表7に示した。生産国と輸入年次の分散は、いずれも誤差の分散よりも大きく、対応する確率は前者において0.001以下、後者において0.05~0.01といずれも有意な値を得た。従って、小粒種のアフラトキシン汚染は生産国によっても、また輸入年次によっても有意の差があることは明白である。この傾向は表8に記したタイ国や米国における調査結果とも符号する。この要因は立地条件や

気象条件に基づく微生物生態系の相違や、落花生を取り巻く栽培、収穫、保存条件の相違に加えて年ごとに変わる気象条件などの変動要因が作用している結果と推定される。

VIII 落花生粒に含まれるアフラトキシン 誘導体の種類

輸入むき実生落花生から分離されるアフラトキシン誘導体は主にB₁, B₂, G₁, G₂の4種類である。これらはB₁とB₂の2種類(Bタイプ)、またはB₁, B₂, G₁, G₂の4種類(B・Gタイプ)がそれぞれ1組となって落花生粒中に存在している。しかし、実際に分析してみると、中にはB₁のみ、またはB₁とG₁のみが検出されて、B₂またはG₂が検出されないことがある。これらは概して、B₁ないしはG₁自体の汚染量が少なく、従って、一般的な産生菌

表12 通関時の輸入むき実生落花生と市場流通落花生および落花生製品のアフラトキシン汚染

年次	検査結果	落花生および落花生加工品					合計	通関時の輸入落花生試料
		埼玉地区	千葉地区	東京地区	名古屋地区	神戸地区		
		試料数(%)	試料数(%)	試料数(%)	試料数(%)	試料数(%)	試料数(%)	
1971	検査試料	—	50	30	—	—	80	—
	Af 検出試料		0(0)	8(26.7)			8(10.0)	
	Af 陽性試料		0(0)	*			≥0(0)	
1972	検査試料	—	19	—	49	—	68	211
	Af 検出試料		0(0)		7(14.3)		7(10.3)	3(1.4)
	Af 陽性試料		0(0)		5(10.2)		5(7.4)	0(0)
1973	検査試料	—	—	—	—	—	—	1233
	Af 検出試料							23(1.9)
	Af 陽性試料							0(0)
1974	検査試料	—	14	82	66	—	162	875
	Af 検出試料		0(0)	1(1.2)	11(16.7)		12(7.4)	16(1.8)
	Af 陽性試料		0(0)	1(1.2)	7(10.6)		8(4.9)	0(0)
1975	検査試料	—	36	—	105	—	141	964
	Af 検出試料		5(13.9)		6(5.7)		11(7.8)	24(2.5)
	Af 陽性試料		4(11.1)		6(5.7)		10(7.1)	0(0)
1976	検査試料	—	—	247	69	—	316	1408
	Af 検出試料			18(7.3)	2(2.9)		20(6.3)	11(0.8)
	Af 陽性試料			8(3.2)	2(2.9)		10(3.2)	0(0)
1977	検査試料	23	—	473	14	—	510	1459
	Af 検出試料	5(21.7)		5(1.1)	0(0)		10(2.0)	9(0.6)
	Af 陽性試料	1(4.4)		*	0(0)		≥1(0.2)	0(0)
1978	検査試料	45	—	—	20	—	65	1134
	Af 検出試料	6(13.3)			1(5.0)		7(10.8)	61(5.4)
	Af 陽性試料	0(0)			1(5.0)		1(1.5)	0(0)
1979	検査試料	—	—	—	8	34	42	1418
	Af 検出試料				0(0)	0(0)	0(0)	63(4.4)
	Af 陽性試料				0(0)	0(0)	0(0)	0(0)
1980	検査試料	—	—	—	6	40	46	1605
	Af 検出試料				0(0)	0(0)	0(0)	18(1.1)
	Af 陽性試料				0(0)	0(0)	0(0)	0(0)
1981	検査試料	—	—	—	63	72	135	1589
	Af 検出試料				14(22.2)	5(6.9)	19(14.1)	99(6.2)
	Af 陽性試料				12(19.0)	3(4.2)	15(11.1)	0(0)
1982	検査試料	—	—	—	57	105	162	1094
	Af 検出試料				3(5.3)	4(3.8)	7(4.3)	11(1.0)
	Af 陽性試料				0(0)	3(2.9)	3(1.8)	0(0)
1983	検査試料	—	—	—	37	82	119	1485
	Af 検出試料				0(0)	1(1.2)	1(0.8)	10(0.7)
	Af 陽性試料				0(0)	0(0)	0(0)	0(0)
1984	検査試料	—	—	—	39	—	39	1535
	Af 検出試料				1(2.6)		1(2.6)	9(0.6)
	Af 陽性試料				0(0)		0(0)	0(0)
合計	検査試料	68	119	832	533	333	1885	15810
	Af 検出試料	11(16.2)	5(4.2)	32(3.8)	45(8.4)	10(3.0)	103(5.5)	357(2.2)
	Af 陽性試料	1(1.5)	4(3.4)	≥9(1.1)	33(6.2)	6(1.8)	≥53(2.8)	0(0)
	文 献	1, 2	3, 4	5, 6, 7	8, 9	10		

—：公的報告書なし *：不明
文 献

- 1) 鈴木敏正 他 埼玉県衛生研究所報 11, 53~57 (1977)
- 2) 鈴木敏正 他 埼玉県衛生研究所報 12, 119~122 (1978)
- 3) 高橋治男 他 千葉衛研年報 23, 54~57 (1974)
- 4) 矢崎広久 他 千葉衛研年報 24, 50~53 (1975)
- 5) 木村康夫 他 東京衛研年報 22, 87~93 (1971)
- 6) 直井家寿太 他 東京衛研年報 26, 179~182 (1975)
- 7) 直井家寿太 他 食品衛生学雑誌 20, 54~58 (1979)
- 8) 山本勝彦 他 名古屋市衛生研究所報 19, 127~132 (1972)
- 9) 山本勝彦 他 第31回名古屋市公衆衛生研究発表会講演集 101~103 (1985)
- 10) 田中敏嗣 他 神戸市環境保健研究所報 15, 23~26 (1985)

の性状として B_1 および G_1 に比して産生量の少ない B_2 または G_2 は現行の分析法の検出限界値を下回るためと推定される。

現実の食生活において、我々が食品を通じて摂取するアフラトキシン誘導体の種類とその割合を推定することは食品衛生上の観点からこれらの毒性を再評価する上で有意義と考える。表 9 は生産国毎に、小粒種むき実生落花生から検出されたアフラトキシンのタイプ別出現率を示したものであり、表 10 は小粒種から検出された AF 汚染レベルを米国産に例をとり示したものである。このように我々が日常の食生活を通じて摂取しているアフラトキシンは B_1 のみではなく B_2 または $B_2G_1G_2$ を同時に、例えば米国産に例を取れば $B_1 : B_2 = 85 : 15$, $B_1 : B_2 : G_1 : G_2 = 57 : 8 : 30 : 5$ の配分比で併せ摂取している現実に注目する必要がある。Stoloff (1977)¹⁰⁾ の調査では当時アフラトキシン規制を実施している 19ヶ国のおよそ 68% が B_1 による単独規制で、 $B_1 B_2 G_1 G_2$ のトータル規制はおよそ 16% の国にしか過ぎなかった。その後 Schuller ら (1983)⁷⁾ の報告では 45ヶ国のうち B_1 による単独規制は 27% に減り、逆にトータル規制を実施している国が 49% に増え、さらに B_1 単独にトータル規制を併用している国が 16% 認められる。このことは食品のアフラトキシン汚染を食品衛生上の問題として、現実の食生活の場で捕らえた結果の処置と考えられる。

IX 生産国別小粒種のアフラトキシン汚染推定

米国でのアフラトキシン摂取源は主にピーナッツであると言われ、市販ピーナッツのアフラトキシン汚染レベルは少なくとも 1.5 ppb であると言われている。Carlborg (1979)¹¹⁾ はこれらの資料を基に米国における食品のアフラトキシン汚染レベルを試算し、少なくとも平均 0.011 ppb であると推定した。筆者は日本に輸入

される小粒種むき実生落花生に関する 10 年間の汚染資料を基に、生産国のアフラトキシン汚染を推定し表 11 に示した。これらは 1 ロット平均 32.3 ± 21.0 t の母集団から採取された平均 1040 ± 190 g の試料を用いて実施した環食第 128 号法による検査結果 (表 3) を基に算出したものである。なお、アフラトキシン汚染粒の混在率は分析試料の 50 g に含まれる平均粒数を 125 粒として算出した。いま Carlborg の例に倣って米国産輸入小粒種のアフラトキシン汚染レベルを計算するとトータルで 0.8~2.3 ppb と推定される。しかし、汚染粒混在率を考慮すれば、1 粒当たり 300~600 ng 以下の汚染レベルでは現行分析法の検出限界を下まわり、検出されないことが予想される。

X 通関時の輸入むき実生落花生と市場流通落花生および落花生製品のアフラトキシン汚染

アフラトキシンに対する規制処置が取られたことによって、各地方の衛生研究所では国内に流通している食品のアフラトキシン検査を開始した。表 12 は公表された落花生および加工品についての検査結果を年次ごとに纏め、通関時の落花生のアフラトキシン汚染と比較したものである。これら両者の年次ごとに対応する AF 検出率の差を t 検定の対象に有意差の検定を行ない $t_{(11)} = 2.97$, $P : 0.02 \sim 0.05$ の値を得た。従って、差の平均値は高い有意性を示し、両者間の AF 検出率には明らかに有意の差が認められた。さらに、アフラトキシン汚染食品に対する行政処置によって、1971 年以降は輸入されている筈のない AF 陽性落花生とその製品が多い年で 11% 検出されている現状に注目する必要がある。

XI むすび

七面鳥 X 病事件から四半世紀が過ぎ、その原因としてクローズアップされたアフラトキシン

に係わる多くの問題は解明されて来た。しかし、日本人が日常の食生活を通じて摂取するアフラトキシンの質（誘導体の種類）、量（1度に摂取する量）、頻度については今だ解明されていない点が多い。今回、輸入落花生のアフラトキシンの汚染について、環食第128号法による検査結果からその解析を試みたが、国内市場に流通している落花生のアフラトキシンの汚染の現状や、米国での輸入落花生を対象とした検査結果と比較したとき、いまだ汚染の実態を十分に説明し尽されていないことを痛感する。今後はさらに現実に即した信頼性の高い計画的、組織的かつ継続的な汚染の実態調査が必要であり、これらの結果を踏まえた関連分野での対策研究が必要であると考えられる。

- 11) Carlborg, F.W.: Cancer, mathematical models and aflatoxin, *Fd. Cosmet. Toxicol.*, 17, 159 (1979)

文 献

- 1) Cucullu, A.F., Lee, L.S., Mayne, R.Y. and Goldblatt, L.A.: Determination of aflatoxins in individual peanuts and peanut section., *J. Amer. Oil Chem. Soc.*, 43, 89 (1966)
- 2) 前田協一：輸入落花生 (Raw shelled peanuts) のアフラトキシンの検査について, *マイコトキシン*, 17, 45 (1983)
- 3) 渡辺 康, 伊藤邦治, 山田幸孝：輸入米衛生検査状況, *食品衛生研究*, 4, 45 (1954)
- 4) 榊順二郎：黴米の毒物学的研究, *東医会*, 5, 1097 (1891)
- 5) 環食第 128：食品衛生研究, 21, 564 (1971)
- 6) 環食第 204：食品衛生研究, 31, 915 (1981)
- 7) Schuller, P.L. and Van Egmond, H.P. : Limits and regulations on mycotoxins, *Proc. Int. Symp. Mycotoxins*, 111 The General Organization for Govt. Printing Offices (1983)
- 8) Subrahmanyam, P. and Rao, A.S.: Occurrence of aflatoxins and citrinin in groundnut (*Arachis hypogaea* L.) at harvest in relation to pod condition and kernel moisture content., *Curr. Sci.*, 43, 707 (1974)
- 9) Scott, P.M., Walbeek, W., Kennedy, B. and Anyeti, D.: Mycotoxins (ochratoxin A, citrinin and sterigmatocystin) and toxigenic fungi in grains and other agricultural products., *J. Agr. Food Chem.*, 20, 1103 (1972)
- 10) Stoloff, L.: Aflatoxins-An overview, *Mycotoxins in human and animal health*, Pathotox Publishers, INC (1979)