

ている可能性があることが示唆されている。1994年に報告された中国での調査では、p53遺伝子のコドン249の突然変異は北京に比して啓東（Qidong）で多く検出されたが、啓東ではLOHのパターンにも差がみられた。啓東では、第4染色体（4p11-q21）、染色体16q22.1及び16q22-24におけるLOHがそれぞれ28、90及び58%の症例に検出されたが、北京では認められなかった。

中国の上海（HBV陽性）並びに香港（HBV陽性）、日本（HCV陽性）及び米国（HBV陰性）の肝癌患者の治癒的切除により得られた肝細胞癌試料では、上海の試料に染色体4q、8p、16q及び5pにおける欠失を主とする変異が認められた。（参照13）

(6) その他

ガンビアの小児及びガーナ人を対象とした試験から、AFB1の食品からの摂取によって細胞性免疫が障害され、感染症に対する宿主抵抗性が低下する可能性が示唆された。

アフラトキシンの慢性暴露は、動物の栄養状態に大きく影響するが、ヒトにおいては、ベナン及びトーゴの5歳未満の小児（小児の99%でAFB1-アルブミン付加体濃度が5~1,064 pg/mgアルブミン）におけるアフラトキシン暴露と発育不全及び低体重の程度との用量反応関係が報告されている。（参照14）

4. AFB1以外のアフラトキシンに関する知見

(1) アフラトキシンB₂ (AFB₂)

① 代謝

ラットに1 mg/kg体重のAFB₂を腹腔内投与した結果、AFB₂はAFB₁に転換され、次いで肝臓において代謝活性化されてAFB₁-N7-グアニン付加体が形成された。ラット由来の代謝活性化系を用いた*in vitro*の試験では、DNAへの結合は減少し全体の代謝活性が低下し、アフラトキシンコールの生成が増加した。（参照12）

このようにAFB₂が代謝系酵素によってAFB₁に変換される可能性を報告した論文があることから、関連文献調査を行った結果、アヒル肝臓のポストミトコンドリア上澄液においてAFB₂からAFB₁への変換が確認されたが、マウス及びヒトの上澄液、さらにラットにおける上澄液でもそのような変換は検出されなかったとする報告があった。これらのことから、動物種によりAFB₂からAFB₁への変換は起こるが、ヒトにおいて変換が起こる可能性は低いと考えられる。（参照7）

② 遺伝毒性

細菌で遺伝子突然変異及びDNA損傷が誘発されたが、アカパンカビでは代謝

活性化系非存在下で遺伝子突然変異は誘発されず、出芽酵母においても遺伝子変換及び有糸分裂組換えは認められなかった。げっ歯類の細胞では、シリアンハムスター胚細胞で細胞形質転換、チャイニーズハムスター細胞でSCE、ラット肝細胞でUDSが誘発され、シリアンハムスター細胞では*in vitro*で細胞間情報伝達が抑制された。ヒト線維芽細胞を用いた*in vitro*のUDS試験では陰性であった。*in vivo*では、ラット肝細胞のDNAとの共有結合が認められた。（参照11、12）

③ 発がん性

MRCラット（対照群：雄30匹、投与群：雄10匹）に、0または20 µg/ラットのAFB₂を10週間（5日/週）飲水投与（遮光給水瓶使用）した結果、試験90週における生存率は対照群で26/30、投与群で8/10、試験100週では投与群の動物は全例が死亡した。投与群の動物には過形成性の肝内小結節が認められたが、肝細胞癌または腎細胞腫瘍の発生はみられなかった。

Fischerラット（一群雄10匹）に、0、50または100 µg/ラットのAFB₂を10週間（5日/週）強制経口投与（溶媒：DMSO）し、試験62~78週でと殺した結果、78週で投与群の動物に肝前癌病変（過形成巣）発生頻度の増加（対照群：0/10、50 µg群：6/9、100 µg群：5/7）が認められたが、肝細胞癌の発生はみられなかった。

雄のFischerラットに、0または300 µg/ラットのAFB₂を週2回20週間皮下投与（溶媒：トリオクタノイン）した試験では、試験78または86週まで生存した20匹に腫瘍は認められなかった。

雄のFischerラットに、0または3,750 µg/ラットのAFB₂を週5回8週間腹腔内投与（総投与量：150 mg/ラット、溶媒：DMSO）した結果、試験57~59週において、投与群の9匹中2例に肝細胞癌が認められた。

IARCでは、実験動物におけるAFB₂の発がん性について限定的な証拠があるとしている。（参照12）

(2) アフラトキシンG₁ (AFG₁)

① 代謝

ヒト肝ミクロソームによりAFG₁は代謝活性化され、AFG₁-N7-グアニン付加体が形成された。代謝活性化の割合はAFB₁の1/3~1/2であった。（参照12）

② 遺伝毒性

細菌で遺伝子突然変異及びDNA損傷、アカパンカビで遺伝子突然変異が誘発

されたが、出芽酵母では遺伝子突然変異及び遺伝子変換は認められなかった。*in vitro*の試験では、ヒト線維芽細胞及びラット肝細胞でUDS、チャイニーズハムスター細胞で染色体異常及びSCEが誘発された。*in vivo*では、チャイニーズハムスター及びマウスの骨髄細胞で染色体異常が誘発され、ラットで腎及び肝細胞DNAとの結合が認められている。(参照11、12)

③ 発がん性

MRCラット(一群雄10~15匹、雌15匹)に、0、20または60 µg/ラットのAFG1を10週間(5日/週)(低用量群のみ)または20週間(低用量及び高用量)飲水投与(遮光給水瓶使用)し、動物の状態悪化または死亡が認められるまで観察された。生存率及び腫瘍発生頻度は表17に示されている。

AFG1投与群では雌雄で肝細胞癌、雄で腎細胞腫瘍の発生頻度が用量依存的に増加した。また、投与群の動物では他の臓器にも種々の腫瘍が認められた。

表17 生存率及び腫瘍発生頻度

投与量 (µg/ラット)	0		20		60	
	雄	雌	雄	雌	雄	雌
生存率	26/30 (90週)		17/30 (20週)		9/28 (20週)	
肝細胞癌	0/15	0/15	2/15	1/15	9/11	12/15
腎細胞腫瘍	0/15	0/15	5/15	0/15	6/11	0/15

Fischerラット(一群雄30匹)に、0、50または100 µg/ラットのAFG1を週4回2.5~8週間強制経口投与(総投与量:0、700、1,400、2,000 µg/ラット; 溶媒: DMSO)し、68週まで観察された。

総投与量1,400及び2,000 µg/ラット投与群では、肝細胞癌がそれぞれ3/5(68週)及び18/18(45~64週)の頻度で認められた。試験4~20週にと殺された全投与群の動物の大部分に肝前癌病変(過形成巣及び変異肝細胞巣)が観察された。また、AFG1投与群では68週までに26匹中4例に腎腺癌が認められた。

ラット(雄6匹)に、20 µgのAFG1を週2回65週間皮下投与(溶媒: 落花生油)した結果、30~50週で6匹中4例に皮下肉腫が認められた。

IARCでは、実験動物におけるAFG1の発がん性について十分な証拠があるとしている。(参照12)

(3) アフラトキシン G₂ (AFG₂)

① 遺伝毒性

細菌を用いた復帰突然変異試験では、代謝活性化系存在下で一試験の一菌株に陽性の結果が認められたが、それ以外の試験では陰性であり、DNA損傷も認められなかった。げっ歯類の培養細胞及び真菌類では、遺伝子突然変異は誘発されなかった。チャイニーズハムスター細胞でSCEが、ラット及びシリアンハムス

ター肝細胞では*in vitro*でUDSが誘発されたが、ヒト線維芽細胞では*in vitro*でUDSの誘発はみられなかった。(参照11、12)

② 発がん性

哺乳動物を用いた発がん性試験は実施されていない。ニジマスに20 µg/kg 餌料の濃度でAFG₂を16カ月間混餌投与した試験において、肝細胞癌の発生は認められなかった。

IARCでは、実験動物におけるAFG₂の発がん性について証拠が不十分であるとしている。(参照12)

5. 発がんリスクの推定 (AFB₁)

実験動物を用いた試験では、ほとんどの動物種において肝臓が主要標的臓器であったが、AFB₁による発がんに対する感受性には動物間でかなりのばらつきがみられた。混餌投与の場合、肝腫瘍を誘発するAFB₁の有効量(飼料中濃度)は、魚類及び鳥類で10~30 µg/kg 飼料、ラットで15~1,000 µg/kg 飼料、ツパイで2,000 µg/kg 飼料であったが、マウスでは系統による変動が大きく、150,000 µg/kg まで肝腫瘍を誘発しない系統もあった。リスザルでは2,000 µg/kg 飼料の13カ月間投与で肝腫瘍を発生したのに対して、アカゲザル、アフリカミドリザル、カニクイザルに平均摂取量99~1,225 mg/頭で28~179カ月投与した場合の肝腫瘍発生率は低かった(7~20%)。

遺伝毒性については広範な試験が実施されており、そのほとんどにおいて陽性の結果が得られている。AFB₁は最も強力な変異原性物質の一つとみなされており、その活性代謝物がDNAと容易に反応しDNA付加体を形成し、この付加体またはその分解生成物が変異を引き起こすことで、細胞を造腫瘍性にすることが示唆されている。

代謝に関するデータから、AFB₁は生体内で多数のCYP分子種によりDNA結合性の化合物に変換されることが示された。CYP分子種活性の差は、遺伝的多型または発現環境の変化によるため、AFB₁に対するヒト感受性に対して重要な寄与因子の可能性があると考えられている。代謝に影響を与える他のリスク因子として、HBV及びHCV感染、肝吸虫、飲酒、喫煙、経口避妊薬の長期使用、栄養状態等が指摘されている。

疫学研究のほとんどが、AFB₁暴露と肝臓との相関を指摘しているが、AFB₁暴露は検出可能な独立したリスクではないとし、HBV感染などの他のリスク因子の存在下でのみAFB₁暴露はリスクとなることを示唆しているものもある。原発性肝臓リスクには多くの要因が影響を及ぼしているが、特に注目されているのがHBVの保因である。AFB₁の肝臓誘発能は、HBV同時感染者において有意に増大すると考えられている。ほとんどの疫学データは、HBsAg陽性患者とAFB₁汚染率の高い地域から得たものであるため、AFB₁汚染もHBV有病率も低い地域にお

けるこれらのリスク因子の関係については不明である。(参照11)

なお、肝臓癌の発生に関しては、これらの影響に加えて、HCV、ミクロシスチン、アルコール、喫煙等の関与を示唆する報告がある。

JECFA (1998年) 及び EFSA (2007年) では発がんリスクを以下のように推定している。

(1) JECFA

JECFA (1998年) では、表18に示す研究結果に基づき、体重1kgあたり1ng/日の用量で生涯にわたり AFB1 に経口暴露した時の HBV 感染を考慮した発がんリスクの推定を行っている。その結果、HBsAg 陽性者では0.3人/10万人/年(不確実性の範囲0.05~0.5人/10万人/年)、HBsAg 陰性者では0.01人/10万人/年(不確実性の範囲0.002~0.03人/10万人/年)となった。

なお、本リスク計算に用いられている中国の疫学調査は、極めて高い暴露量によるものであると共に、低用量暴露群でも約10%という高い発がん率を示すものであったことや、HBsAg 陽性率が高い集団でアフラトキシン暴露量の情報も極めて限られた調査に基づいて用いて行われたという不確実性を含んでいる。(参照10)

表18 疫学データに基づく人の肝臓癌のリスクの推定
(AFB1の暴露量を1ng/kg/日とした場合)

文献	HBsAgの有無	10万人当たりの発生率 ^(a)
Croy & Crouch (1991)*	-	0.036 (0.079)
	+	0.50 (0.77)
Wu-Williams et al. (1992)* 乗法線形モデル (バックグラウンド2.8/100,000) 加法線形モデル	-	0.0037 (0.006)
	+	0.094 (0.19)
	-	0.031 (0.06)
	+	0.43 (0.64)
Hosenyi (1992)*	-	0.0018 (0.0032)
	+	0.046 (0.08)
Bowers et al. (1993)*	-	0.013
	+	0.328
Qian et al. (1994)** (バックグラウンド3.4/100,000)	-	0.011
	+	0.11
Wang et al. (1996)*** (バックグラウンド3.4/100,000)	-	0.0082
	+	0.37

注：括弧内は高い方の95%信頼限界を表す。

*：中国チワン族自治区南部で実施された同一のデータ(1989)を用いた推計。

**：上海で実施

***：台湾で実施

※：JECFA Monograph Food Additives Series 40 (1998)p50 Table 4より引用

また、JECFA (2008年) において、その後公表された疫学調査などの毒理学的評価に関連する調査結果は、従来の評価結果を変えるものではないとされている。(参照15)

(2) EFSA

EFSA では、動物実験及び疫学調査の結果から、用量反応をベンチマーク用量(BMD)モデルにより推定している。BMDの計算に用いた動物実験の結果は表19に、疫学調査の結果は表20に示されている。

<EFSA (2007) におけるベンチマークドーズ法による計算結果>

ラット	BMDL10	170 ng/kg 体重/日
ヒト	BMDL10	870 ng/kg 体重/日
	BMDL1	78 ng/kg 体重/日

(参照14)

表19 AFB1を混餌投与した雄のFischerラットにおける肝細胞癌の発生頻度

AFB1の用量	投与期間(週)	投与期間で調整した用量	肝細胞癌の発生頻度
0	104	0	0/18
0.04	104	0.040	2/22
0.2	93	0.179	1/22
0.6	96	0.554	4/21
2.0	82	1.58	20/25
4.0	54	2.1	28/28

表20 肝臓癌の発生率が高い国における疫学調査結果

国名	地域	AFB1摂取量 (ng/kg 体重/日)	肝臓癌発生率 (年間100万人当たり)
ケニア	Highland	4.2	14
	Midland	6.8	43
	Lowland	12.4	58
スワジランド	High veldt	14.3	35
	Middle veldt	40.0	85
	Lebombo	32.9	89
	Low veldt	127.1	184
トランスカイ	Four districts	16.5	91
モザンビーク	Manhica-Mangud	20.3	121
	Massinga	38.6	93
	Inhambane	77.7	218
	Inharrime	86.9	178
	Morrumbene	87.7	291
	Homoine-Maxixe Zavala	131.4 183.7	479 288
中国	広西チワン族自治区A	11.7	1,754
	広西チワン族自治区B	90.0	1,822
	広西チワン族自治区C	704.5	2,855
	広西チワン族自治区D	2,027.4	6,135

6. 暴露状況

(1) 汚染実態

アフラトキシンの汚染は、トウモロコシ、落花生、豆類、香辛料、木の実類に

特に高頻度で認められてきたが、大豆、小麦、米などの穀類にも低頻度ながら汚染が認められている。わが国においても、市販食品の汚染実態調査によって、米製品、トウモロコシ、ゴマ製品、落花生類、香辛料にアフラトキシン汚染が既に報告されている。これら既報の汚染実態をふまえ、汚染の可能性が考えられる食品について、3年間通年（2004～2006年度）で調査が行われた。

結果は別紙2に示されている。

わが国に流通している市販のそば類、生トウモロコシ、スイートコーン（缶詰や冷凍食品など加工されたもの）、コーンフレーク、ポップコーン、米、ごま油、豆菓子、せんべい、乾燥イチジク、ビール及び粉落花生からは定量限界以上のアフラトキシンは検出されなかった。一方、落花生、ピーナッツバター、アーモンド、ピスタチオ、そば粉、コーングリッツ、はと麦、香辛料、ココア、チョコレートからは、定量限界以上のアフラトキシンが検出された。はと麦の一試料で総アフラトキシンが9.71 µg/kg (AFB1: 9.0 µg/kg) 検出されたが、他のはと麦試料では概ねその濃度は低レベルであった。総アフラトキシンとしての最高濃度の汚染は、落花生の一試料における28.0 µg/kg (AFB1: 4.88 µg/kg、AFG1: 20.9 µg/kg) であった。この二試料を除き、3年間で測定した試料数を用いて求めた平均汚染濃度は、いずれの汚染食品目においても2 µg/kgを超えることはなかった。

検出された食品におけるAFB1、AFB2、AFG1及びAFG2の割合については、コーングリッツ、ピスタチオ、そば粉、香辛料ではBグループ（AFB1又はAFB2のみが検出されるもの）が主流と考えられたが、その他の食品目ではBGグループ（Bグループに加えて、AFG1又はAFG2が検出されるもの）が多く、特に落花生では、BよりGグループの汚染濃度の方が高かった。

個々のAFB1と総アフラトキシンとの濃度の関係について、ピーナッツバターの例で見てみると、大部分の試料でAFB1の占める割合が最も高く、総アフラトキシンとの比は1:2（AFB1:総アフラトキシン）程度であった。（参照4、5、6、7）

2007年度に市販ナッツ類（落花生、アーモンド、くるみ、ヘーゼルナッツ、ピスタチオ）における総アフラトキシンの汚染実態について調査が行われた。

結果は表21に示されている。

我が国に流通している落花生、アーモンド、ピスタチオの一部から総アフラトキシンが検出されたが、検出濃度は極めて低いレベルであった。検出されたアフラトキシンの種類については、落花生では、AFB1とAFG1が同等のレベルであった。アーモンドではBGグループの汚染が認められたが、ピスタチオではBグループが主流と考えられた。

また、落花生は、AFB1の汚染が多く検出されることから輸入時に命令検査の対象とされている。そこで、輸入落花生中の各アフラトキシンの割合について、

任意の1検査機関での1972～1989年までのデータと2002～2006年までのデータでの比較検討が行われた。

輸入落花生の検査検体数については、1972～1989年では米国からの小粒落花生が主流であったが、2002～2006年では中国からの大粒落花生が主流となっている。

各輸入国からの落花生におけるアフラトキシン検出率は、収穫される年により変動があるが、全体的に輸入量の1%程度に検出限界以上のアフラトキシンが検出されている。BグループとBGグループの汚染比率についても年ごとに異なっているが、全体的にはBGグループの汚染率が年々高くなる傾向が見られた（図2）。

アフラトキシン汚染輸入落花生における各アフラトキシン濃度の比率については、表22、23及び図3-1～3-3に示されている。中国からの大粒落花生においてはAFB1よりAFG1の汚染が高い傾向が認められた。また、小粒落花生については、各国とも1972～1989年と比較して、2002～2006年ではAFG1の比率が高くなる傾向が見られた。（参照8、10）

表21 ナッツ類における総アフラトキシンの汚染実態調査結果

品名	検体数	汚染件数	平均汚染濃度 ^{注)} (範囲) (µg/kg)			
			AFB1	AFB2	AFG1	AFG2
落花生	192	1	0.2	—	0.2	—
アーモンド	36	24	0.04 (痕跡-0.09)	0.01 (痕跡-0.02)	0.03 (0.02-0.03)	0.01 (痕跡-0.01)
くるみ	8	0	—	—	—	—
ヘーゼルナッツ	7	0	—	—	—	—
ピスタチオ	9	2	0.51(0.3-0.71)	0.06	—	—

検出限界：落花生0.1-0.5 µg/kg、アーモンド0.01 µg/kg、それ以外0.04 µg/kg
注) 痕跡については、0.01 µg/kgとして平均汚染濃度を算出した。

図2 命令検査となった落花生におけるアフラトキシンBGグループの汚染頻度の推移

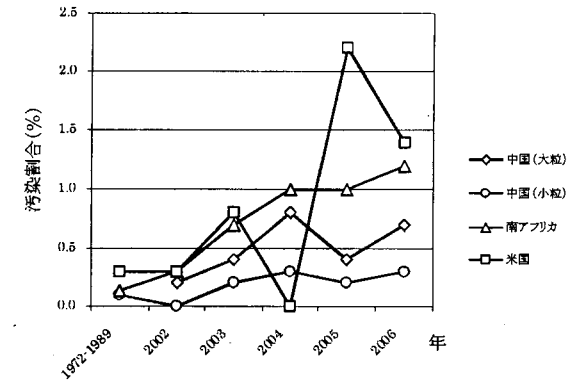


表 22 命令検査となった落花生におけるアフラトキシン検出数及び検出割合

	年	サンプル数	アフラトキシン検出数及び検出割合 (%)	
			B グループ*	BG グループ**
中国 (大粒)	2002	1,328	1 (0.1)	2 (0.2)
	2003	1,814	8 (0.4)	7 (0.4)
	2004	1,683	17 (1)	14 (0.8)
	2005	1,428	9 (0.6)	5 (0.4)
	2006	1,645	15 (0.9)	12 (0.7)
中国 (小粒)	2002	386	2 (0.5)	0 (0)
	2003	550	2 (0.4)	1 (0.2)
	2004	621	1 (0.2)	2 (0.3)
	2005	590	2 (0.3)	1 (0.2)
	2006	576	2 (0.3)	2 (0.3)
南アフリカ	2002	378	6 (1.6)	1 (0.3)
	2003	449	6 (1.3)	3 (0.7)
	2004	207	1 (0.5)	2 (1)
	2005	298	4 (1.3)	3 (1)
	2006	252	2 (0.8)	3 (1.2)
米国	2002	298	5 (1.7)	1 (0.3)
	2003	262	16 (6.2)	2 (0.8)
	2004	170	1 (0.6)	0 (0)
	2005	137	3 (2.2)	3 (2.2)
	2006	138	6 (4.3)	2 (1.4)

* : AFB1 又は AFB2 の両方もしくはどちらか一方が検出されたもの。
 ** : B グループに加え、AFG1 又は AFG2 の両方もしくはどちらか一方が検出されたもの。(B グループのみが検出されたものは含まない。)

表 23 アフラトキシンが検出された中国からの輸入大粒落花生の各アフラトキシンの比率

年	各アフラトキシンの比率 (%)			
	AFB1	AFB2	AFG1	AFG2
2002	15.6	0.0	69.1	15.3
2003	14.1	3.1	66.8	16.0
2004	18.5	2.5	63.9	15.1
2005	39.3	6.2	41.5	13.0
2006	16.4	2.8	65.7	15.1

図 3-1 アフラトキシンが検出された中国からの輸入小粒落花生の各アフラトキシンの比率

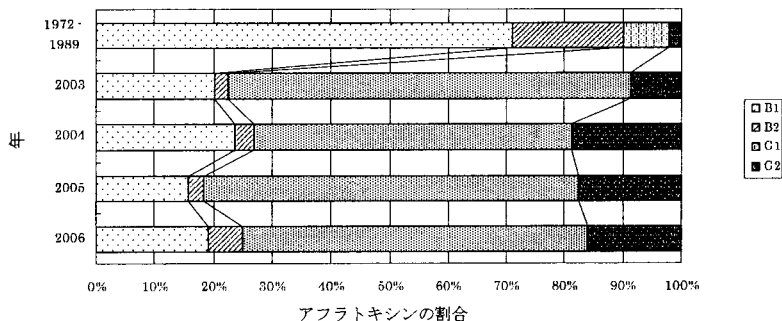


図 3-2 アフラトキシンが検出されたアメリカからの輸入小粒落花生の各アフラトキシンの比率

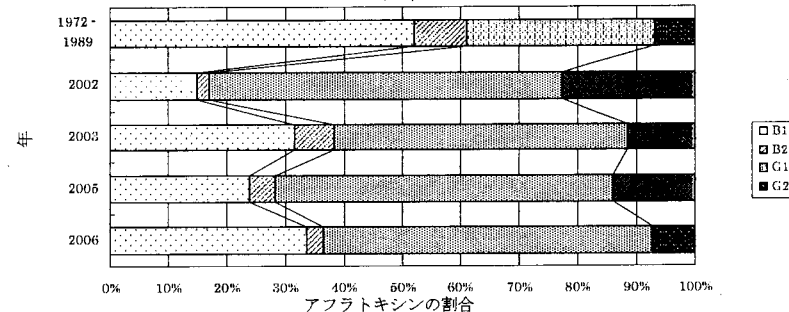
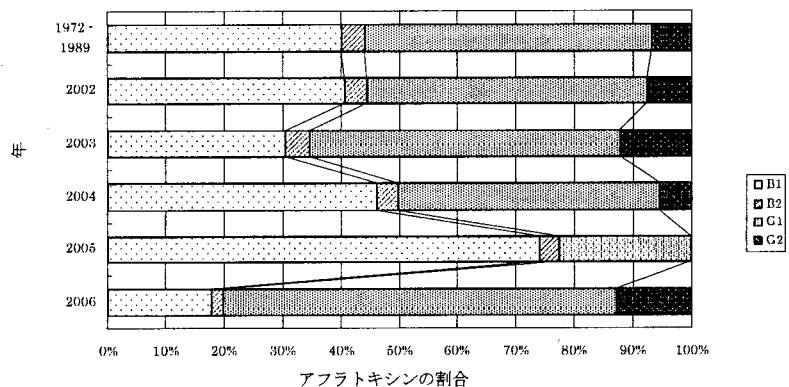


図 3-3 アフラトキシンが検出された南アフリカからの輸入小粒落花生の各アフラトキシンの比率



(2) 暴露量の推計 (AFB1)

2005 年度の「食品摂取頻度・摂取割合調査」による食品別の摂取量及び先に示した 2004～2006 年度の 3 年間の汚染実態調査結果からアフラトキシンが含有されると思われる 11 品目 (落花生、ピーナッツバター、チョコレート、ココア、ピスタチオ、白こしょう、レッドペッパー、アーモンド、はと麦、そば粉、そば種) を組合わせて、下記の 4 つの基準値を設定するシナリオを想定しモンテカルロ・シミュレーションの手法を用いて暴露量の推定を行った。

シナリオ a : 現状 (AFB1 のみ 10 µg/kg)
 シナリオ b : AFB1 : 4 µg/kg 及び総アフラトキシン : 8 µg/kg
 シナリオ c : AFB1 : 10 µg/kg 及び総アフラトキシン : 15 µg/kg
 シナリオ d : AFB1 : 10 µg/kg 及び総アフラトキシン : 20 µg/kg

結果は表 24 に示されている。

シナリオ a (現状) では 99.9 パーセンタイル値が 2.06 ng/kg 体重/日であり、最も少なめに見積もられるシナリオ b でも 99.9 パーセンタイル値は 1.88 ng/kg 体重/日であった。1 ng/kg 体重/日を超える割合はいずれのシナリオにおいても 0.2%程度となった。(参照7)

表 24 AFB1 一日推定暴露量の分布

	シナリオ a		シナリオ b		シナリオ c		シナリオ d	
	仮定 A	仮定 B	仮定 A	仮定 B	仮定 A	仮定 B	仮定 A	仮定 B
下限値以下の仮定 ^(a)								
10 パーセンタイル	0	0	0	0	0	0	0	0
50 パーセンタイル	0	0	0	0	0	0	0	0
80 パーセンタイル	0	0	0	0	0	0	0	0
90 パーセンタイル	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
95 パーセンタイル	0.003	0.004	0.003	0.003	0.003	0.004	0.003	0.004
97.5 パーセンタイル	0.009	0.010	0.009	0.010	0.010	0.010	0.009	0.010
99.0 パーセンタイル	0.045	0.051	0.041	0.048	0.043	0.049	0.042	0.049
99.5 パーセンタイル	0.305	0.307	0.259	0.261	0.283	0.285	0.285	0.286
99.9 パーセンタイル	2.063	2.063	1.881	1.880	1.956	1.956	1.895	1.958

注) 仮定 A : 検出下限未満の検体について、検出下限値である 0.1 µg/kg と仮定
 仮定 B : 検出下限未満の検体について、検出下限値の 0.1 µg/kg と 0 µg/kg の間
 の一様分布と仮定

IV. 食品健康影響評価

参照に挙げた資料を用いて総アフラトキシンの食品健康影響評価を実施した。

経口投与された AFB1 は生体内で水酸化体で代謝され、AFM1、AFP1、AFQ1 として、または抱合体に転換されて尿中または糞中に排泄される。哺乳動物では、乳中にも AFM1 などが排泄される。また、AFB1 は CYP 分子種により反応性の高い化合物である AFB1-8,9-エポキシドに変換され、DNA 付加体が形成される。この付加体またはその代謝物が変異を引き起こして細胞を造腫瘍性にする事が示唆されている。AFB1-8,9-エポキシドは主として GST による抱合体化を受けて排泄される。

AFB1 の遺伝毒性については、*in vitro* 及び *in vivo* ともに広範な試験が実施されており、そのほとんどにおいて陽性の結果が得られている。

AFB1 の実験動物を用いた試験では、ほとんどの動物種において肝臓が標的器官であり、肝細胞癌が最も多く認められた。その他に肺及び腎臓などにも腫瘍が観察された。AFB1 の肝発がん性に対する感受性には動物種間で大きなばらつきがみられ、ラットで最も感受性が高かった。一方、非発がん毒性については、実験動物において生殖パラメーターの異常、催奇形性、免疫毒性などが認められた。

人における疫学調査のほとんどにおいて AFB1 暴露と肝細胞癌との相関が指摘されている。これらの調査はアフラトキシンの暴露量が多く、かつ、HBV の罹患率が高い地域で実施されており、HBV 感染はリスク因子であることが示唆されている。

AFB1 以外のアフラトキシンのについては、AFG1 ではヒト肝ミクロソームにより代謝活性化されて DNA 付加体が形成され、遺伝毒性も認められた。代謝活性化の割合は AFB1 の 1/3~1/2 であった。雌雄ラットで肝細胞癌が、雄ラットで腎細胞腫瘍が誘発された。AFB2 と AFG2 に関するデータは限られている。AFB2 は、げっ歯類の細胞を用いた遺伝毒性試験では陽性結果が得られた。発がん性についてはラットの一試験で肝細胞癌が認められた。また、ラット体内で AFB1 に転換され、肝臓で代謝活性化を受けて DNA 付加体が形成されるとの報告がある。AFG2 では、遺伝毒性試験の一部で陽性結果が得られたが、ヒト培養細胞を用いた系では陰性であった。哺乳動物を用いた発がん性試験は実施されていないが、ニジマスを用いた試験で発がん性は認められなかった。

IARC では、実験動物における発がん性について、AFB1 及び AFG1 は十分な証拠がある、AFB2 は限定的な証拠がある、AFG2 は証拠が不十分であるとしている。また、AFB1 及び自然界で生じるアフラトキシン混合物はヒトにおいて発がん性を示す十分な証拠があるとしており、総合評価として、自然界で生じるアフラトキシン混合物はヒトに対して発がん性がある物質 (グループ 1) と分類している。

なお、評価の参考に供した 2008 年の JECFA の報告書の後に公表された関連文献についても調査を行ったが、これらの評価結果に変更を加えるべき根拠となる知見は確認されなかった。

上記のことから、総アフラトキシンは遺伝毒性が関与すると判断される発がん物質であり、発がんリスクによる評価が適切であると判断された。一方、非発がん影響に関しては、TDI（耐容一日摂取量）を設定するための定量的評価に適用できる報告はなく、非発がん性を指標としたTDIを求めることは困難と判断された。

発がんリスクについては、人の疫学調査の結果から、体重1kgあたり1ng/日の用量で生涯にわたりAFB1に経口暴露した時の肝臓癌が生じるリスクとして、HBsAg陽性者では0.3人/10万人/年（不確実性の範囲0.05～0.5人/10万人/年）、HBsAg陰性者では0.01人/10万人/年（不確実性の範囲0.002～0.03人/10万人/年）となった。なお、このリスク計算結果には、使用された中国の疫学調査結果が極めて高い暴露量によるものであると共に、低用量暴露群でも約10%という高い発がん率を示すものであったことや、HBsAg陽性率が高い集団でアフラトキシン暴露量の情報も極めて限られた調査に基づいて用いて行われたという不確実性を含んでいることに留意すべきである。

2004年～2006年に実施された汚染実態調査結果からアフラトキシンが含有されると思われる11品目を対象に確率論的手法を用いて暴露量の推定を行った結果では、AFB1に対して10μg/kgを検出限界として規制をしている現状においては、AFB1で4又は10μg/kg及び総アフラトキシンで8、15又は20μg/kgの基準値を設定したとしても、AFB1一日推定暴露量はほとんど変わらなかった。よって、落花生及び木の実（アーモンド、ヘーゼルナッツ、ピスタチオ）について、総アフラトキシンの規格基準を設定することによる食品からの暴露量に大きな影響はなく、様々な条件を前提とし不確実性を含んでいる推計ではあるが、現状の発がんリスクに及ぼす影響もほとんどないものと推察された。しかしながら、アフラトキシンは遺伝毒性が関与すると判断される発がん物質であり、食品からの総アフラトキシンの摂取は合理的に達成可能な範囲で出来る限り低いレベルにするべきである。汚染実態調査の結果、BGグループの汚染率が近年高くなる傾向が見られていることを考慮すると、落花生及び木の実について、発がんリスク及び実行可能性を踏まえ適切に総アフラトキシンの基準値を設定する必要がある。なお、アフラトキシンは自然汚染であり、BG比率が一定しないと予想されることから、総アフラトキシンとAFB1の両者について規制を行うことが望ましい。

また、食品からの総アフラトキシンの摂取を合理的に達成可能な範囲で出来る限り低いレベルにするために、落花生及び木の実以外の主要な食品についても、汚染実態及び国際的な基準設定の動向等を踏まえ、総アフラトキシンの規格基準の必要性について検討を行うことが望ましいと考える。

<別紙1：検査値等略称>

略称	名称
AFB1	アフラトキシン B ₁
AFB2	アフラトキシン B ₂
AFG1	アフラトキシン G ₁
AFG2	アフラトキシン G ₂
AFM1	アフラトキシン M ₁
AFP1	アフラトキシン P ₁
AFQ1	アフラトキシン Q ₁
BMD	ベンチマーク用量
CYP	シトクロム P450
DMSO	ジメチルスルホキシド
ELISA	酵素免疫測定法
GGT	γ-グルタミルトランスフェラーゼ(=γ-グルタミルトランスペプチダーゼ (γ-GTP))
GST	グルタチオン-Sトランスフェラーゼ
HBsAg	B型肝炎ウイルス表面抗原
HBV	B型肝炎ウイルス
HCV	C型肝炎ウイルス
HPRT	ヒポキサンチン-グアニンホスホリボシルトランスフェラーゼ
LD ₅₀	半数致死量
LOH	ヘテロ接合体の消失
OR	オッズ比
PB	フェノバルビタール(ナトリウム)
SCE	姉妹染色分体交換
TAR	総投与放射能
TDI	耐容一日摂取量
UDS	不定期 DNA 合成

<別紙2：2004～2006年度に実施されたアフラトキシン汚染実態調査結果>

品名	試料数			汚染件数	検出機体の平均汚染濃度(範囲)($\mu\text{g}/\text{kg}$)					Total
	2004年度	2005年度	2006年度		合計	AFB1	AFB2	AFG1	AFG2	
落花生	60	60	30	150	1	4.88	0.31	20.9	1.90	28.0
チョコレート(赤イボチョコレートを含む)		40	24	64	34	0.27(0.1~0.88)	0.13(0.1~0.18)	0.13(0.1~0.33)	0.1(0.1)	0.33(0.1~0.21)
ピーナツ			5	5	1	0.38	-	-	-	0.38
はと麦			17	17	6	2.45(0.29~9.0)	0.38(0.1~0.58)	0.16(0.1~0.30)	-	2.77(0.31~9.71)
そば粉	12	10	6	28	2	0.53(0.24~0.81)	0.17(0.173)	-	-	0.61(0.238~0.987)
香辛料			21	21	5	0.36(0.1~1.0)	-	0.2(0.2)	-	0.44(0.1~1.0)
ココア			11	11	8	0.33(0.17~0.60)	0.13(0.1~0.15)	0.11(0.1~0.11)	-	0.40(0.17~0.85)
ピーナツバター	21	20	21	62	21	0.86(0.1~2.59)	0.25(0.1~0.52)	0.37(0.1~0.81)	0.2(0.12~0.46)	1.18(0.1~3.92)
薬材(含む)			24	24	6	0.37(0.1~0.89)	0.14(0.1~0.17)	0.1(0.1~0.12)	-	0.43(0.1~1.06)
コーンフレーク	10	10	10	30	2	0.2	-	-	-	0.21
ごま油	10	10	10	30	0					
米	53	30	10	93	0					
ポテトチップス	10	10	10	30	0					
豆菓子			20	20	0					
コーンフレーク	20	15	15	50	0					
生チョコレート	10			10	0					
アイスクリーム*	50	30	10	90	0					
そば麺	39	20	25	84	0					
せんべい			21	21	0					
ビール			20	20	0					
乾燥(炒)ケシ			5	5	0					
粉落花生	10			10	0					

定量限界：0.1 $\mu\text{g}/\text{kg}$ (ピーナツのみ0.005 $\mu\text{g}/\text{kg}$)

*：缶詰、冷凍食品等の加工品

<参照>

- 1 第9回かび毒・自然毒等専門調査会資料1：食品健康影響評価について(平成20年9月3日付け厚生労働省発食安第0903001号)
- 2 第9回かび毒・自然毒等専門調査会資料2：アフラトキシンに関するリスクプロファイル
- 3 第9回かび毒・自然毒等専門調査会資料3：コーデックス委員会及び各国のアフラトキシン規制状況
- 4 第9回かび毒・自然毒等専門調査会資料4：平成16年度厚生労働科学研究報告書(アフラトキシン関係抜粋)
- 5 第9回かび毒・自然毒等専門調査会資料5：平成17年度厚生労働科学研究報告書(アフラトキシン関係抜粋)
- 6 第9回かび毒・自然毒等専門調査会資料6：平成18年度厚生労働科学研究報告書(アフラトキシン関係抜粋)
- 7 第9回かび毒・自然毒等専門調査会資料7：平成16年度～18年度厚生労働科学研究報告書(アフラトキシン関係抜粋)
- 8 第9回かび毒・自然毒等専門調査会資料8：平成19年度食品・添加物等規格基準に関する試験検査等の実施について(規格基準関係) 食品中のかび毒に係る汚染実態調査(ピーナツトータルアフラトキシン実態調査)
- 9 宇田川 俊一, 中里 光男, 田端 節子, 細貝 祐太郎, 松本 昌雄：食品安全性セミナー(5)マイコトキシン, 中央法規, 東京, 2002; 79
- 10 岡野 清志, 富田 常義, 久米田 裕子, 松丸 恵子, 一戸 正勝：輸入落花生におけるアフラトキシンBG群汚染とその原因菌類としてのAspergillus section Flaviについて. マイコトキシン 2008; 58(2): 107-114
- 11 JECFA Monograph Food Additives Series 40 (1998)
- 12 IARC Monograph vol.56 (1993)
- 13 IARC Monograph vol.82 (2002)
- 14 EFSA Opinion Of The Scientific Panel On Contaminants In The Food Chain On A Request From The Commission Related To The Potential Increase Of Consumer Health Risk By A Possible Increase Of The Existing Maximum Levels For Aflatoxins In Almonds, Hazelnuts And Pistachios And Derived Products (2007)
- 15 JECFA Monograph Food Additives Series 59 (2008)

<参考資料>

我が国におけるアフラトキシンの暴露量及び発がんリスクの試算

1. 我が国でのアフラトキシン暴露量の推定

(1) モンテカルロ法による日本人のアフラトキシン_{B₁} (AFB₁) 暴露量の推定結果
(平成18年度厚生労働科学研究報告書)

<規制値のシナリオ>

シナリオ a : 現状 (AFB₁のみ 10 μg/kg)
シナリオ b : AFB₁: 4 μg/kg及び総アフラトキシン: 8 μg/kg
シナリオ c : AFB₁: 10 μg/kg及び総アフラトキシン: 15 μg/kg
シナリオ d : AFB₁: 10 μg/kg及び総アフラトキシン: 20 μg/kg

(ng/kg体重/日)

下限値以下の仮定 ^{注1)}	シナリオ a		シナリオ b		シナリオ c		シナリオ d	
	仮定 A	仮定 B	仮定 A	仮定 B	仮定 A	仮定 B	仮定 A	仮定 B
10パーセンタイル	0	0	0	0	0	0	0	0
50パーセンタイル	0	0	0	0	0	0	0	0
80パーセンタイル	0	0	0	0	0	0	0	0
90パーセンタイル	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
95パーセンタイル	0.003	0.004	0.003	0.003	0.003	0.004	0.003	0.004
97.5パーセンタイル	0.009	0.010	0.009	0.010	0.010	0.010	0.009	0.010
99.0パーセンタイル	0.045	0.051	0.041	0.048	0.043	0.049	0.042	0.049
99.5パーセンタイル	0.305	0.307	0.259	0.261	0.283	0.285	0.285	0.286
99.9パーセンタイル	2.063	2.063	1.881	1.880	1.956	1.956	1.895	1.958

仮定 A : 検出下限未満の検体について、検出下限値である0.1 ppbと仮定

仮定 B : 検出下限未満の検体について、検出下限値の0.1 ppbと0 ppbの間の一様分布と仮定

(2) 総アフラトキシン-日推定暴露量の推定

<前提>

総アフラトキシン量をAFB₁の2倍と仮定^{注1)}し、(1)のAFB₁暴露量の推定結果を2倍したものを総アフラトキシン-日暴露量と推定

(ng/kg体重/日)

下限値以下の仮定	シナリオ a		シナリオ b		シナリオ c		シナリオ d	
	仮定 A	仮定 B	仮定 A	仮定 B	仮定 A	仮定 B	仮定 A	仮定 B
90パーセンタイル	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
95パーセンタイル	0.006	0.008	0.006	0.006	0.006	0.008	0.006	0.008
99.0パーセンタイル	0.090	0.102	0.082	0.096	0.086	0.098	0.084	0.098

2. 我が国でのアフラトキシン摂取による肝臓癌の発生リスク

(1) JECFAの推定結果に基づく試算

<前提>

・ AFB₁の発がんリスク HBsAg陽性の場合 0.3人/10万人/年
HBsAg陰性の場合 0.01人/10万人/年
・ 日本人の全人口を1億2771万人^{注2)}、B型肝炎キャリアーを140万人^{注3)}と推定

①AFB₁摂取による肝臓癌の発生リスク

(発がん/10万人/年)

下限値以下の仮定	シナリオ a		シナリオ b		シナリオ c		シナリオ d	
	仮定 A	仮定 B	仮定 A	仮定 B	仮定 A	仮定 B	仮定 A	仮定 B
90パーセンタイル	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001
95パーセンタイル	0.00004	0.00005	0.00004	0.00004	0.00004	0.00005	0.00004	0.00005
99.0パーセンタイル	0.00059	0.00067	0.00054	0.00063	0.00057	0.00065	0.00055	0.00065

②総アフラトキシン摂取による肝臓癌の発生リスク

<前提>

・ 総アフラトキシンの発がんリスクをAFB₁と同等と仮定^{注1)}

(発がん/10万人/年)

下限値以下の仮定	シナリオ a		シナリオ b		シナリオ c		シナリオ d	
	仮定 A	仮定 B	仮定 A	仮定 B	仮定 A	仮定 B	仮定 A	仮定 B
90パーセンタイル	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003
95パーセンタイル	0.00008	0.00011	0.00008	0.00008	0.00008	0.00011	0.00008	0.00011
99.0パーセンタイル	0.00119	0.00134	0.00108	0.00127	0.00113	0.00129	0.00111	0.00129

(2) EFSAの推定結果に基づく暴露マージン (MOE) の試算

<前提>

・ ラット BMDL10 170ng/kg体重/日
ヒト BMDL10 870ng/kg体重/日
BMDL1 78ng/kg体重/日
・ 暴露マージン(MOE) = ベンチマーク用量(BMD) ÷ 暴露量

①AFB₁暴露量とベンチマーク用量の間の暴露マージン (MOE)

下限値以下の仮定		シナリオ a		シナリオ b		シナリオ c		シナリオ d	
		仮定 A	仮定 B	仮定 A	仮定 B	仮定 A	仮定 B	仮定 A	仮定 B
90パーセンタイル	ラット BMDL10	170000	170000	170000	170000	170000	170000	170000	170000
	ヒト BMDL10	870000	870000	870000	870000	870000	870000	870000	870000
	ヒト BMDL1	78000	78000	78000	78000	78000	78000	78000	78000
	BMDL1	78000	78000	78000	78000	78000	78000	78000	78000
95パーセンタイル	ラット BMDL10	56667	42500	56667	56667	56667	42500	56667	42500
	ヒト BMDL10	290000	217500	290000	290000	290000	217500	290000	217500
	ヒト BMDL1	26000	19500	26000	26000	26000	19500	26000	19500
	BMDL1	26000	19500	26000	26000	26000	19500	26000	19500
99.0パーセンタイル	ラット BMDL10	3778	3333	4146	3542	3953	3469	4048	3469
	ヒト BMDL10	19333	17059	21220	18125	20233	17755	20714	17755
	ヒト BMDL1	1733	1529	1902	1625	1814	1592	1857	1592
	BMDL1	1733	1529	1902	1625	1814	1592	1857	1592

②総アフラトキシン暴露量とベンチマーク用量の間の暴露マージン (MOE)

<前提>

・ 総アフラトキシンの発がんリスクをAFB₁と同等と仮定^{注1)}

下限値以下の仮定		シナリオ a		シナリオ b		シナリオ c		シナリオ d	
		仮定 A	仮定 B	仮定 A	仮定 B	仮定 A	仮定 B	仮定 A	仮定 B
90パーセンタイル	ラット BMDL10	85000	85000	85000	85000	85000	85000	85000	85000
	ヒト BMDL10	435000	435000	435000	435000	435000	435000	435000	435000
	ヒト BMDL1	39000	39000	39000	39000	39000	39000	39000	39000
	BMDL1	39000	39000	39000	39000	39000	39000	39000	39000
95パーセンタイル	ラット BMDL10	28333	21250	28333	28333	28333	21250	28333	21250
	ヒト BMDL10	145000	108750	145000	145000	145000	108750	145000	108750
	ヒト BMDL1	13000	9750	13000	13000	13000	9750	13000	9750
	BMDL1	13000	9750	13000	13000	13000	9750	13000	9750
99.0パーセンタイル	ラット BMDL10	1889	1667	2073	1771	1977	1735	2024	1735
	ヒト BMDL10	9667	8529	10610	9063	10116	8878	10357	8878
	ヒト BMDL1	867	765	951	813	907	796	929	796
	BMDL1	867	765	951	813	907	796	929	796

注1) EFSA, Opinion Of The Scientific Panel On Contaminants In The Food Chain On A Request From The Commission Related To The Potential Increase Of Consumer Health Risk By A Possible Increase Of The Existing Maximum Levels For Aflatoxins In Almonds, Hazelnuts And Pistachios And Derived Products (2007) より

注2) 総務省統計局人口推計月報 (平成20年10月) より

注3) 厚生労働省健康局疾病対策課肝炎対策推進室ホームページより