解説

食品と放射線のリスクを考える 発がんリスクの評価について

国立医薬品食品衛生研究所 畝山 智香子

放射性物質と同様に、「しきい値のない発がん物質」とみなされる遺伝毒性発がん物質が食品中には多数存在することがわかってきた。それらのリスクをどう評価してきたかについて簡単な解説を試みる。

I. 食品中発がん物質

食品とは、人類がこれまで生きるために食べてきた、とりえず食べてもすぐに有害影響はないことだけわかっている「未知の化学物質のかたまり」である。「食の安全」という話題で取り上げられることが多い食品添加物や残留農薬については、安全性を確認した上で安全側にかかなりの余裕をもって使用基準や残留基準が定められているため、それらについてだけ考えていると、それが当然だと思いがちであるが、食品そのものは安全性が確認された上で食べているわけではない。イメージとしては、もともとグレーでよくわからないものの中にいくつか同定されたリスクがある、というものである。一般的には、食品は安全であるべきだという幻想があるため、ごく僅かのリスクについての受け止め方が専門家と違う可能性がある。(第1図)

食品にもともと含まれる有害物質の代表的なものとして、ジャガイモのソラニンやチャコニンなどの植物アルカロイドがある。ふぐやキノコの中毒は、食べられない部分や種類を食べたことにより中毒になるものである

が、ソラニンなどは「食用」として普段食べているものの中に、直ちに中毒症状がおきる量ではないが、一定量含まれている。大抵の有害物質は摂取量が少なければ有害影響が観察できないので、ことさら問題にしていなくてもよい。ただし天然物は安全という間違った認識により適切なリスク管理を怠ったための食中毒事件は決して少なくはない。

食品に含まれる有害物質の中で、「量が少ないから大丈夫」とは簡単に言い切れないものに、「遺伝毒性発がん物質」がある。遺伝毒性発がん物質とは、DNAや染色体などの遺伝形質を担う物質に影響を及ぼす作用(遺伝毒性)によりヒトにがんを生じさせる物質のことで、その代表的なもののひとつが放射性物質であり、他にかび毒のアフラトキシンや植物アルカロイドの一種であるアリストロキア酸などが知られている。遺伝毒性発がん物質は、放射線同様、摂取量(暴露量)がゼロでなければリスクがゼロとは見なせない、つまりこれ以下なら安全であるというしきい値を決めることができないとみなして管理することになっている。従って食品添加物や残留農薬のように、意図的に使用される物質については、それが遺伝毒性発がん性の疑いがある場合には基本的に使用が認められることはない。そして天然の食品に含まれる場合には、合理的に達成できる限り低く(as low as reasonably achievable: ALARA)管理すべきであるとされてきた。

このALARA原則は、食品中に含まれる遺伝毒性発がん物質が比較的少数の場合にはそれなりに意味があるものだった。しかし科学者は食品中から次々と新しい遺伝毒性発がん物質を発見し続け、候補物質も含めて数十以上にもなってしまう、もはや単にALARA原則を唱えるだけでは現実的な対応の指針にはならなくなったのである。決定的だったのは2002年にフライドポテトなどのようなでんぷんとアミノ酸を含む食品を120℃以上の高温で加熱した場合、相当量のアクリルアミドが生じ

第1図 食品のイメージ

Considering Risks of Food and Radiation; Cancer Risk Assessment: Chikako UNEYAMA.
(2013年 7月19日 受理)

ることが明らかになったことである。アクリルアミド自体は工業用化学物質として比較的良好に知られた化合物ではあるが、日常的に相当量を食品から摂っているということが新たな発見だったのである。アクリルアミドは動物実験で発がん性があり、そのメカニズムとしては遺伝毒性が疑われている。アクリルアミドは意図的に食品に加えるものではなく、調理の際に自然にできてしまうものであり、しかもそれが含まれるのはジャガイモ製品だけではなく、パンやクッキー、コーヒー、ほうじ茶といった食生活にとってかなりの部分を占めているものだったのである。こういうものについて、「できる限り摂らないほうがいい」という対応をすることは不可能であるし、健全な食生活の維持が難しくなるという点から不適切である。

II. 食品安全リスク分析

一方、食品の安全性確保のために、世界的に食品安全リスク分析というツールが用いられるようになってきた¹⁾。日本では2003年に食品安全委員会が設置され、食品の安全性についての科学的評価を、厚生労働省や農林水産省とは独立して行うことになった。第2図にリスク分析の三要素を示す。

食品安全委員会は「リスク評価」を行い、厚生労働省や農林水産省はその評価結果を受けて食品中の各種基準値を設定したり市場に出回っている製品のモニタリングをしたりする「リスク管理」を行う。そして最も重要な鍵となるのが全体を貫く「リスクコミュニケーション」である。リスクコミュニケーションは、生産者から消費者に至るまであらゆる関係者の間で適切に行われるべきもので、例えば、新しい基準を作ったことを行政が消費者に一方的に説明する「説明会」のようなものを意味するわけではない。もちろん、コミュニケーションの前提としての、何が問題になっていてどういう解決方法があるのかといった基本的事柄の「理解」は必須であるが、それだけでは不十分である。食品の安全性を確保するためには、「農場から食卓まで」の全ての関係者が責任をもって自分の役割を果たすことが必要である(shared responsibility)。例えば、食品のなかにはすぐ食べられ

る形で提供されているものもあるが、適切に調理して初めて安全に食べられるものもある。生の肉などのように、消費者がもし適切な保管・調理をしなかった場合には健康被害につながる食品もある。さらに特定の食品単品は安全であったとしても、そればかりを長期間大量に食べる、というようなことをすれば健康被害につながってしまうものもある。だからといって、実験動物の餌のように、いつ何をどれだけ食べるのかまで政府が事細かに決めるべきだという意見は多くはないであろう。ただ一部の国や地域では、砂糖や脂肪のようなものを多く含む食品に課税をするなどの方法で消費者の選択をある程度管理する試みがなされている。どのような管理方法が望ましいのかについて、関係者が意見を交わし最適解を見つけようとするのがリスクコミュニケーションである。管理の強化は選択肢の減少とそのための費用負担を意味するので、消費者が常に管理強化を望むわけではない。

III. 暴露マージン

食品安全リスク分析にとって、リスクコミュニケーションは非常に重要である。そのため、非専門家である一般の人たちにリスク評価の結果や管理方法の選択肢についての専門的内容を正確に伝える必要がある。天然に食品に含まれる遺伝毒性発がん物質については特にそれが困難な課題であった。一般的には「発がん物質」と言うだけで「とにかく避けるべきもの」とみなされる。遺伝毒性発がん物質については、放射性物質におけるリスク係数と同様に、線形しきい値無し(LNT)のモデルに基づき高用量域でのヒトや動物の発がんの結果から外挿したスロープファクター(SF)(注：用量-反応の直線の傾きという意味)を用いて、暴露量当たりのヒト生涯発がんリスクを計算することが行われてきた。そして化学物質の環境基準の設定などの分野では生涯発がんリスク 10^{-4} から 10^{-6} の間を実質安全量(Virtually Safe Dose: VSD)として管理目標に使っている。飲料水に含まれる殺菌副生成物などでは 10^{-5} をデフォルトの値として用いている(ただし天然汚染物質である無機ヒ素についてはこの値を達成できない場合があるので現実的に可能な基準値を設定している)。

このような方法は、専門家がリスク評価を行う際の指標としては特に問題なく採用されてきた。しかし一般の人相手に生涯発がんリスク 10^{-5} などと説明すると大抵の場合「10万人中1人はがんになってもいい」、あるいは「日本の人口が1億だとすると 10^{-5} というのはがんになって死ぬヒトが1,000人」というふうに解釈されてしまう。生涯発がんリスク 10^{-5} といった場合の10万人中1人というのは必ずしも実際にがんになるヒトの数を予想しているわけではないのだが、文字だけを見ればそう解釈されるのも仕方のないことではある。

第2図 リスク分析の概念図

そこでリスクコミュニケーションにとってもより良い方法として採用されるようになってきたのが暴露マージン(MOE: Margin of Exposure)である^{2~4)}。これは動物実験での無影響量(NOEL)やがんの発症率を一定程度増加させる量の信頼下限(ベンチマーク用量信頼下限: BMDL₁₀)などの毒性の指標となる用量を、実際に人々が暴露されている量で割ったもので、導き出された数値は安全係数に相当する。つまり有害影響が出ないであろうぎりぎりの用量に対して、実際の暴露量がどれだけ余裕があるかについての指標である。数値が大きければ大きいほど安全側に余裕があり、数値が小さいほど余裕が少なく MOE が 1 を下回る場合には有害影響が出る可能性を否定できないということになる。この数字は単独で提示されても何人中何人ががんになるといった計算はできない。他の物質の数値と比較して初めてどちらが大きい小さいか、あるいは同程度かを判断できる。

MOE はリスク管理の優先順位を示すための指標である。たくさんの化合物について MOE が示されれば、どれが優先的に対処すべきかを判断するための一助となる。これまで世界各国の食品安全担当機関が評価してきた MOE の値を第 1 表に示す(なお全く同じではないが同様の表を参考資料 5)に記載してある)。

また暴露量が個人ごとに違う場合には、個人の暴露量をもとにその人のリスク管理の優先順位付けを行うことも可能であり、消費者一人一人が自分にとって最も優先順位の高いリスクを考えるきっかけにすることもできるだろう。そして「遺伝毒性発がん物質」といってもそのリスクの大きさには大きな差があるということも理解できるだろう。たとえ遺伝毒性発がん物質であっても、MOE が 100 万を超えるようなものについては、ALARA 原則があっても対策は後回しにしていいたと判断することができる。

リスク分析の中には、適切な(衛生健康)保護水準(ALOP: Appropriate Level of Protection)という概念がある。この程度のリスクなら受け入れられるという目標値のことで、時代や地域によって異なるかもしれないが、その社会であらかじめ設定されているべきものである。理想的にはこの ALOP を目指して各種のリスク管理対策がとられるのだが、現実には ALOP を具体的数値として明示することは難しい。例えば、食中毒による死者を年間ゼロにしようという目標をスローガンとして掲げるのは簡単であるが、それを実施するためにはあらゆる食品に宇宙食並みの衛生管理を要求することになり、実施不可能である。しかし計算上で年間 1 人が死亡というような数値目標を一般の人々が受け入れるのは容易ではないだろう。リスクの心理学についての研究からも、たとえ僅かであっても「リスクを受け入れる」というのは難しいことが示唆されている。それなら目標値を設定することは後回しにして、とにかく大きなリスク、あ

るいは簡単に削減できる費用対効果の高いリスクから順番に対策していこう、そして余裕があればその次のリスクにも対策していくという形で進めていけばいい、というのがリスクランキングの活用法になる。最終的に資源が尽きたところが結果的にその国・地域の保護水準となる。

IV. 今後の課題

発がん物質のリスク評価においては通常、がんになる、あるいはがんで死ぬということを指標に評価をしている。しかし人々の平均寿命が延びる中で、例えば、100 歳でがんで死亡するということがそれほど重大な問題なのかについては検討の余地がある。ヒトのがん対策の目標としては、がんによる死亡をゼロにするというのはあまり意味がないため、75 歳以下でがんになるヒトを減らすといった指標を使うことが多い。発がん物質の中でも強力な発がん物質は動物に早期にがんを作るが、弱いものは実験終了時に解剖してみたらこのまま放置すればがんになる可能性のある、前がん病変が認められたというようなものもある。このような時間の要因を適切に評価する方法があればそのほうが望ましい。がんを予防することだけに資源を投入した結果、お金がなくて高齢者の生活がおびやかされるというのでは何のためのがん対策なのかわからない。仮に平均寿命が 40 歳しかないのであればがん対策のほとんどは、禁煙ですら、必要ない。またがんだけが特別重大なリスクというわけでもない。第 1 表の最後の方に加えられている鉛については、発がん物質ではなく子どもの知能への影響が問題になっている。高齢になって発症するがんと、生涯にわたって影響する知能と、どちらがより優先的に対策すべきだろうか? リスクへの対処は、トレードオフも含めて、常に限られた資源をどう配分するのが最良なのか全体を考える必要がある。

最後に、個人的なことであるが、東日本大震災以降、原子力関係者に食品中の発がん物質についての話をする機会が何度かあり、食品中の発がん物質についてはあまり知らなかったという感想を頂いた。原子力は巨大な産業で、その内輪だけでも十分生きていけるのだろう。しかし、もし原子力の産み出す富で、ほとんど研究が進んでいない食品中の天然発がん物質対策などが行われていたら、震災後の対応も少しは違っていただかもしれないと思う。原子力の場合にはごく僅かの影響ですら膨大な資金で研究されているが、一方、無機ヒ素などは古くから発がん性があることは知られているにもかかわらず、動物では再現できず、なぜヒトでがんを誘発するのかなどについてはまだよくわかっていないのである。天然物については明確な責任者がいないことが多いので、責任を追求するという形での圧力は存在しない。しかし人々の健康と福祉の向上は社会の構成員全てにとっての願いな

第 1 表 遺伝毒性発がん物質の MOE

物質	MOE	条件	機関, 年度
ベンゾ(a)ピレン	130,000-7,000,000	食品由来	COC, 2007
6 価クロム	9,100-90,000	食品由来	COC, 2007
クロム	770,000-5,500,000	飲料水	COC, 2007
1,2-ジクロロエタン	4,000,000-192,000,000	飲料水	COC, 2007
ベンゾ(a)ピレン	17,000,000-1,600,000,000	飲料水	COC, 2007
1,2-ジクロロエタン	355,000-48,000,000	室内空気	COC, 2007
ベンゾ(a)ピレン	10800-17900	食品由来	EFSA, 2008
PAH2	15,900	平均的摂取群	EFSA, 2008
PAH4	17,500	平均的摂取群	EFSA, 2008
PAH8	17,000	平均的摂取群	EFSA, 2008
カルバミン酸エチル	18,000	アルコール以外	EFSA, 2007
カルバミン酸エチル	>600	ブランデーとテキーラを飲む人	EFSA, 2007
アクリルアミド	78-310	ラット乳腺腫瘍を指標	JECFA, 2010
カルバミン酸エチル	20,000	平均的摂取群	JECFA, 2005
カルバミン酸エチル	3,800	高摂取群	JECFA, 2005
アクリルアミド	133-429	オランダの 2-6 才の子ども	RIVM, 2009
アフラトキシン B1	63-1,130	オランダの 2-6 才の子ども	RIVM, 2009
フラン	480-960	食品由来	JECFA, 2010
食品中ヒ素	余裕はない	ヨーロッパの平均的消費者(注 1) (注 2)	EFSA, 2009
食品中ヒ素	1.1-33	フランス成人平均	ANSES, 2011
食品中ヒ素	0.8-27	フランス子ども平均	ANSES, 2011
アクリルアミド	419-721	フランス成人平均	ANSES, 2011
アクリルアミド	261-449	フランス子ども平均	ANSES, 2011
PAH4	113409-230041	フランス成人	ANSES, 2011
PAH4	72433-150509	フランス子ども	ANSES, 2011
無機ヒ素	9-32	香港平均(注 3)	CFS, 2012
無機ヒ素	5-18	香港高摂取群	CFS, 2012
PAH4	27600-15500	英国人全食品由来平均 - 97.5 パーセントイル	EFSA 2008
PAH8	45,606	成人	スペイン, 2012
PAH8	40,078	子ども	スペイン, 2012
ヒ素	0.77-20.5 (注 4)	男性	スペイン, 2012
ヒ素	0.32-8.6	子ども	スペイン, 2012
アクリルアミド	853-305 (注 5)	1 才未満	ヘルスカナダ, 2012
アクリルアミド	296-119	1-3 才	ヘルスカナダ, 2012
アクリルアミド	1146-586	71 才以上	ヘルスカナダ, 2012
無機ヒ素	3	ベルギー成人	AFSCA, 2013
無機ヒ素	68	ベルギー成人	AFSCA, 2013
鉛(注 6)	0.9-1.9	母乳のみを飲んでいる乳児	COT2012 (案)
鉛	1.6-10	ミルクのみを飲んでいる乳児	COT2012 (案)
鉛	1.3-5	ミルクと離乳食	COT2012 (案)
鉛	1.9-6.3	水	COT2012 (案)
鉛	0.2-0.9	土壌	COT2012 (案)
鉛	100-833	空気	COT2012 (案)
鉛	3	香港平均, 食事のみ	CFS, 2013
鉛	6	香港高摂取群 食事のみ	CFS, 2013
鉛	1.8-4.8	ベルギー成人	AFSCA, 2013
鉛	0.5-1.2	ベルギー幼児 2.5-6.5 才	AFSCA, 2013
鉛	1	ベルギー乳児 3 か月	AFSCA, 2013

PAH2: ベンゾ(a)ピレン, クリセン

注 5: 平均摂取量と 90 パーセントイルの値

PAH4: ベンゾ(a)ピレン, クリセン, ベンゾ(a)アントラセン, ベンゾ(b)フルオランテン

注 6: 遺伝毒性ではないが毒性に, しきい値がないとみなされる

PAH8: ベンゾ(a)ピレン, ベンゾ(a)アントラセン, ベンゾ(b)フルオランテン, ベンゾ(k)フルオランテン, ベンゾ(ghi)ペリレン, クリセン, ジベンス(a,h)アントラセン及びインデノ([1,2,3-cd])ピレン

COC: 食品, 消費者製品, 環境中化学物質のがん原性に関する科学委員会(英国)

注 1: BMDL₀₁ が 0.3 ~ 8μg/kg 体重 / 日に対して推定摂取量 0.13 ~ 0.56μg/kg 体重 / 日

ANSES: フランス食品環境労働衛生安全庁

EFSA: 欧州食品安全機関

FSA: 英国食品基準庁

JECFA: FAO/WHO 合同食品添加物専門家会議

注 2: BMDL₀₁ が 0.3 ~ 8μg/kg 体重 / 日に対して推定摂取量 0.37 ~ 1.22μg/kg 体重 / 日。

RIVM: オランダ国立公衆健康環境研究所

CFS: 香港食品安全センター

スペイン: カタルーニャ州食品安全機関

なお海藻を食べる人達は 4μg/kg 体重 / 日程度になる可能性があり米を食べる 3 才未満の子どもは成人の 2-3 倍になる

注 3: 香港が使用している POD は JECFA が 2010 年に設定したものの, 香港によれば香港の食事からの無機ヒ素摂取量は日本人の約半分

BMDL: ベンチマーク用量 95% 信頼下限値

BMDL₁₀ は腫瘍発生が 10% 増加する BMDL

NOAEL: 無影響量, 有害影響が観察されない最高投与量

注 4: 数字が小さい方は POD に 0.3 を使用, 大きい方は 8 を使用

ので、視野を広げ全体の中で最も優先すべき課題は何かをできるだけ多くの人に常に考えて欲しい。

—参考資料—

- 1) 林裕造監修, 食品安全リスク分析(食品安全担当者のためのガイド)(FAO 食品・栄養シリーズ), 日本食品衛生協会, (2008).
- 2) 畝山智香子, ほんとうの「食の安全」を考える—ゼロリスクという幻想(DOJIN 選書 28), 化学同人, (2009).
- 3) EFSA, Opinion of the Scientific Committee on a request from EFSA related to A Harmonised Approach for Risk Assessment of Substances Which are both Genotoxic and Carcinogenic, (2005).
<http://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/282.htm>

- 4) 畝山智香子, 「安全な食べもの」ってなんだろう? 放射線と食品のリスクを考える, 日本評論社, (2011).
- 5) 畝山智香子, 食品を介した有害物質摂取のリスク〜放射性物質摂取のリスク〜, 食品衛生学雑誌, Vol. 54, No. 2, p. 83 ~ 88 (2013) https://www.jstage.jst.go.jp/article/shokueishi/54/2/54_83/_article/-char/ja/

著者紹介

畝山智香子 (うねやま・ちかこ)
国立医薬品食品衛生研究所
(専門分野) 食品中化学物質の安全性評価

新刊紹介

原発の安全性と核廃棄物の処理 人類のエネルギー源としての原発

阿部康宏著, 149p. (2013.7), 東京図書出版,
(定価 1,200 円), ISBN 978-4862236678

22 世紀に利用できるエネルギー源は、太陽と核エネルギーで、太陽、原子力、核融合は十分なエネルギー源ではあるが、それぞれ使い難い特徴を持っている。環境への影響、安全性、および経済性から社会にあったものが選択されていくのだろうが、それぞれ直面する課題を科学技術で解決していくのが人間の従来から行ってきた手法である。22 世紀にも原発は有力なエネルギー源のひとつであり、原発推進に不安を持たれる方も多いが、そういった方への参考になればということで本書をまとめた著者はいう。著者の阿部氏は昭和 32 年から三菱で原子力に携わり、「常陽」、「もんじゅ」等の設計に従事された大先輩。その経験から、福島原発の事故は設計や製造、検査などの欠陥で起きたものでなく、会社の経営理念と管理の問題から生じたものと断じている。

「原発は地震では壊れない」、「原発は進歩している」、「エネルギー資源の特徴」、「22 世紀の電力資源と原発」、「放射性廃棄物処理は技術で解決」という内容は、一般の読者を想定した本としては目新しく、特に放射性廃棄物の処分を宇宙

エレベータという装置を用いて宇宙空間に放出する技術は全くの夢物語ではない模様で面白いアイデアといえる。

福島事故以降、原子力については見方が変わったと話される方も多い。今回の参議院選で当選した山本太郎氏のようにエネルギー不足を心配する必要はないと訴える人たちの

論争は、今後避けて通れないだろう。従来と同じ説明を繰り返すだけでは納得が得られない時代に突入した観がある。

高レベル廃棄物の処分方法についても、何が何でも地層処分という選択肢だけでなく、別の解決方法も検討してみてもどうかというのが著者の提案と思われる。3.11 以降、書店には脱原発的な意見を主張する本が増えているが、原子力推進の本は少ない。原子力の賛否を問うためには、健全な議論を行えるだけの情報提供がより一層必要と思われる。インターネットによる情報発信でも構わないが、原子力に取り組んでこられた先輩の方々の率直なご意見をもっとうかがえないものかと思った。

(編集委員会・齋藤 隆)