特集
2

食品の一次産品における環境汚染

環境汚染と食品安全のリスク

朝倉 健 司*

キーワード：リスクアナリシス、コーデックス、汚染物質、カドミウム、ALARAの原則

1. はじめに

農林水産物の生産は、気象条件、土壌、農業用水、飼育施設、漁場環境などの生産に係る環境（以下「生産環境」という）に影響を受ける。重金属、有機化合物、放射性物質などによって生産環境が汚染されると、大気、水、土壌等を通して農作物、家畜、魚介類にこれらの汚染物質が高濃度に蓄積される可能性がある。また、気象条件や漁場環境の変化によって、例えば、穀類の天然毒素による汚染の原因となるカビの増殖や、貝毒蓄積の原因となるプランクトンの増殖が盛んになる可能性がある。すなわち、生産環境の変化（または悪化）は、汚染物質や天然毒素による農林水産物の汚染の可能性を高める。

生産環境の悪化によって、結果として食品中の汚染物質や天然毒素の濃度が高まり、さらに、これらの原因によって消費者の健康に対する悪影響の懸念が生じる場合には、食品安全を確保するために、これらのリスクを低減するための措置が必要になる。

汚染物質は、農薬や食品添加物などとは異なり、生産者・製造者が意図しないにもかかわらず食品中に混入するものである。最近の分析化学の進歩や毒性学上の新たな知見の集積により、汚染物質の食品への意図されない混入は各国でより大きな問題となっている。したがって、環境汚染に起因して汚染物質による食品安全の問題を取り扱うに当たっては、リスクアナリシスの原則に従った対応が不可欠である。

このため、本稿では、まず、国際的に合意され

た食品安全に関するリスクアナリシス^{注1)}の原則を解説する。さらに、化学物質による環境汚染と農産物の安全確保のためのリスク管理に関連する行政の枠組みや取り組みの現状について紹介する。

2. 食品安全に関するリスクアナリシス

2.1 コーデックスのリスクアナリシス

コーデックス委員会（Codex Alimentarius Commission）は、国際食料農業機関（FAO）と世界保健機関（WHO）が共同して食品規格計画を実施するために、1962年に設立した政府間機関で、消費者の健康保護、公正な食品貿易の保証、国際政府間及び非政府組織による食品規格作成の調整を主な目的として活動している。

コーデックス委員会が定める国際食品規格は、各国に対する勧告であり、拘束力はない。しかしながら、世界貿易機関（WTO）を設立するマラケシュ協定の衛生植物検疫措置の適用に関する協定（SPS協定）は、①各国の食品安全に関する措置は、コーデックス規格・基準・指針などがある場合にはそれに基づいていること、②コーデックス委員会が定めたリスク評価法に従った人へのリスクの評価に基づいていること、③各国が食品安全に関する措置を、コーデックスの定める基準、指針などよりも厳しい水準にしようとする場合には、科学的に（例えば、リスク評価によって）その必要性を証明しなければならないこと、等を求めている。したがって、各国が食品安全に関するリスク管理を検討する場合、コーデックス規格・基準・指針などを考慮に入れる必要がある。

コーデックス委員会では、2003年に「コーデッ

Environmental pollution and food safety risk

*農林水産省消費・安全局 Kenji ASAKURA

クスの枠組みにおいて適用されるリスクアナリシスの作業原則」を採択した。さらに、この作業原則の下に位置づけられる食品中の汚染物質に関するリスクアナリシスの原則を2005年に採択した。これらのリスクアナリシス原則は、コーデックス内において適用されるものであるが、多くの部分は各国におけるリスクアナリシスの実施の際にも適用できる内容である。

リスクアナリシスの原則を取り入れて食品安全行政を行うことは、先進国のみならず、世界的なコンセンサスとなっている。リスクアナリシスは、リスク管理、リスク評価及びリスクコミュニケーションから構成されている。そして、リスク管理とリスク評価の間には、機能的な分離と相互作用が必要である。また、リスク管理やリスク評価の過程において、リスクコミュニケーションを行い、消費者、生産者などの関係者（Stakeholder）との意見交換を行い、意見の反映に努めることが求められている。

2.2 リスク管理とリスク評価の相互作用

コーデックス委員会の定義では、リスク管理は、

①初期作業、②リスク管理の選択肢の検討、③決定と実施、④モニタリングと見直しの4つの過程からなっている。このうち、初期作業は、リスク管理とリスク評価の相互作用を必須とし、科学に基づいたリスク管理を行う上で極めて重要な要素である（図－1）。

初期作業においてリスク管理者は、食品の安全に関する問題の特定とリスクの特徴付け（リスクプロファイル）を行い、さらに、リスク管理及び評価のための危害要因の優先度決定や、リスク評価方針の決定を行った上でリスク評価の依頼を行う。リスク評価結果の報告を受け取った際には、リスク管理者はその評価結果を十分に検討する。また、リスク評価に必要なデータの収集や試験の実施は、初期作業の過程において、リスク管理者が行うこととされている。

リスク評価はリスク管理の科学的な基礎を提供するために行うものであると考えられている。このため、リスク評価を依頼する前に、リスク評価に必要なデータの準備を行うだけでなく、リスク管理機関がリスク評価機関の協力のもとリスク評

図－1 食品安全に係るリスク分析の国際的な枠組み

価方針を確立することが必要である。

2.3 リスク評価、特に摂取量評価の手法の進歩

リスク評価は、図-1に示したように、危害要因同定、危害要因特性評価、摂取量評価及びリスク判定から構成されている。このうち、危害要因同定と特性評価は、リスクアナリシスの枠組みが確立される以前から、毒性評価、または安全性評価と呼ばれ実施されてきた。すなわち、短期・長期の毒性、発がん性、生殖毒性、催奇形性等の動物実験や疫学調査の結果に基づいて、人が一生涯毎日摂取しても健康に悪影響を与えない化学物質の摂取耐容（許容）量を求めるものである。汚染物質については、WHOが1987年に刊行した安全性評価の原則に基づいて、物質ごとに耐容1日（週間、月間）摂取量を算出している。

一方、摂取量評価は、食品中の含有実態調査と食品消費調査のデータから、食品を經由した化学物質の摂取量を推定するものである。汚染物質については、以前から食品中の含有実態調査結果の平均値や中央値などと GEMS/Food^{注2)} が作成した世界5地域のモデル食における食品消費量を乗ずることにより、食品由来の汚染物質等の摂取量を計算している。しかしながら、近年、より現実に近い摂取量の推定法として含有実態調査結果と食品消費調査結果の分布曲線とモンテカルロ法を用いて、確率論的な摂取量推定が行われようになっている。汚染物質の摂取量評価では、この手法を活用することにより、異なる基準値に基づいて流通規制を行った場合に、当該汚染物質の摂取量がどのように影響されるかを定量的に推定することが可能となっている。

2005年のコーデックス委員会の総会において、「食品中の汚染物質及び毒素の摂取量評価に関する CCFAC の方針」が採択された。この文書は、汚染物質の摂取量を推定するにはどのようなデータが必要か、摂取量の推定をどのような手順により行うか、摂取量の推定結果を基準値設定にどのように利用するかについて概要を示したものである。

2.4 食品中の汚染物質に関する一般原則

「食品中の汚染物質及び毒素に関するコーデックス一般規格」は、その序文において、コーデックスが汚染物質の基準値や、汚染低減のための実施規範等のリスク管理措置を検討、決定するための

一般原則を定めている。いわば、各国において食品中の汚染物質のリスク管理を行う上で、基本的な考え方を示したものと捉えることができる。

この一般原則は、食品中の汚染物質濃度を、通常行われている生産方法により無理なく達成可能な範囲でできる限り低くすべきであること（As Low As Reasonably Achievable : ALARA の原則）を求めている。さらに、食品中の汚染物質濃度を下げるために、①環境汚染対策等の汚染源対策、②生産・貯蔵・加工等における適切な技術の適用、③食品中の汚染物質等を除去するための適切な手法を適用することが必要であり、そのために、適正農業規範（GAP）や適正製造規範（GMP）などを検討すべきであるとしている。また、食品中の汚染物質の含有濃度や汚染低減対策の効果については、サーベイランスやモニタリングによる実態調査データの評価により判断することを求めている。

この一般原則は、汚染物質の基準値設定のための規準（Criteria）も定めている。この規準の主なものは以下のとおりである。

- ・基準値は、重要な健康リスクがあり、かつ国際貿易上問題が生じているか生ずる可能性がある汚染物質に対してのみ設定されること。
- ・基準値は、汚染物質の総摂取量に占める割合の大きな（Significant）食品に対してのみ設定されること。
- ・基準値は、通常の実生産方法により無理なく達成可能な範囲でできる限り低い水準とすべきであること。毒性学の見地から、受け入れ可能であれば、食品の生産及び貿易・取引に不要な中断を避けるため、基準値は通常の変動幅よりもやや高い水準に設定されること。
- ・基準値の数値は、望ましくは、幾何学的なスケールにのった規則的な数値であること（例：0.01, 0.02, 0.05, 0.1, 0.2, 0.5, 1, 2, 5）。
- ・基準値は、一般的な分析機関で容易に適用可能な方法により分析可能な水準以下にしてはならないが、健康影響を考慮して、さらに検出限界を引き下げる必要がある場合は、複雑な分析方法を取ることもやむを得ない。いずれにしても、妥当性の確認された方法であることが必要。
- ・分析と基準値の対象とする汚染物質と食品は、

明確に定義されること。一般的に、基準値は一次産品に対して設定されること。

3. リスク管理と規制措置

食品安全に係るリスクとは、食品中に危害要因が存在する結果として生じる健康に悪影響をもたらす可能性とその程度（重大性）の関数であると定義されている。すなわち、リスクは大小または高低で表され連続的に変化するものであり、リスクがゼロになることはない。したがって、リスク管理とはリスクがより低くなるように行う体系的な営みと解釈することができる。

他方、規制措置は、例えば基準値設定のように、その基準値を超えるものを違反として扱い、販売等を規制することである。すなわち、基準値は、連続的に変化するリスクの一定水準のところの上に上限値としての線を引き、検査結果が上限値以下の場合を合格に、上限値を超える場合を不合格に区別するものであると捉えることができる（図-2）。

このように、基準値設定はリスク管理措置の一つの選択肢ではあるが、食品の生産から消費の過程（フードチェーン）において体系的にリスク低減対策を行うリスク管理そのものではない。むしろ最近の傾向として、生産段階においてリスク低減対策をとる方が最終生産物のチェックを行うよりも効果的・効率的であるとの考え方が一般的になっている。

コーデックス委員会や各国では、リスクアナリシスに則ったリスク管理措置の選択・決定に際して、食品への基準値の設定から、汚染物質による

食品汚染の低減を目的とする実施規範を作成する方向へと、重点が移っている。

基準値の設定は、基準値を超えた濃度の汚染物質を含有する食品の市場流通を制限することにより、消費者の汚染物質の摂取を抑えることを目的としている。そのためには、適正な基準値の設定のため及び適合確認のためにサーベイランスやモニタリングによって多数の試料を分析する必要がある。

あまり低すぎる（厳しすぎる）基準値を設定すると市場流通から除外すべき食品が増え、経済的負担も増す。さらに、基準値の遵守状況を監視するためのモニタリングでは一定の率で見逃す可能性を排除することはできない。

一方、汚染物質による食品汚染低減を目的とする実施規範は、生産・流通過程のすべてにおいて汚染物質の混入の防止や低減を図るため、食品中の汚染物質濃度の低下が期待できる（図-3）。

例えば、食品中のカドミウムを例にとれば、米からのカドミウム摂取量が食品からの総摂取量の5割を占める現状を考慮し、水稻の出穂時期における深水管理による水稻のカドミウム吸収抑制技術のマニュアルを作成し、その農法を全国的に（特に、土壌中のカドミウム濃度の高い水田を対象にして）奨励し、米中のカドミウム濃度を引き下げる取り組みを行っている。さらに、0.4mg/kg以上1mg/kg未満のカドミウムを含有する米の流通防止対策を継続して実施している。これらの対策により、全体として消費者による米からのカドミウム摂取量を低下させることが期待でき、カドミウムの基準値を単に引き下げることに較べれば、リ

図-2 リスク管理と規制の関係（イメージ）

(季刊肥料2004年(夏)通巻98号14頁より)

図－3 食品中の汚染物質低減の実施規範

スク管理のコスト・パフォーマンスも高いものになっている(さらに将来的に低減技術が広く普及すれば、必要に応じてカドミウムの基準値をさらに引き下げることが可能となる)。

4. リスク管理の標準手順書

食品安全行政にリスクアナリシスを導入し、科学に基づいた行政を推進するため、「農林水産省及び厚生労働省における食品の安全性に関するリスク管理の標準手順書」を平成17年8月に公表した。この標準手順書は農林水産省が作成し、それを食品安全に関わるリスク管理全般活用できるものとするため、厚生労働省と協議してとりまとめたものである。

本手順書は、食品の安全性に関するリスク管理の標準的な作業手順をまとめたものである。その内容は、危害要因に関する情報の収集・分析、データの作成、リスク評価の諮問、施策の検討・決定に当たり考慮すべき事項等の標準的な手順を示している。

今後、農林水産省及び厚生労働省の担当部局が、食品安全に関する個別の危害要因のリスク管理を検討・実施する際は、原則として、この手順書に基づいて取り組むこととなっている。特に、汚染物質のリスク管理は、これまでの取り組みの実績があまりなく、農薬や動物医薬品などの登録・承認のように定まった手続きもないことから、この標準手順書にほぼ完全に従って行われることになる。

この標準手順書の作成の効果として、

- ①農林水産省及び厚生労働省のリスク管理が科学的原則に基づき、国際的に合意された枠組みに則ったものとなること、
 - ②リスク管理を一貫した考え方で行うことが可能になること、
 - ③リスク管理の透明性を高め、リスク管理の過程で消費者、食品事業者などの関係者の意見を反映しやすくなること、
- が挙げられる。

5. サーベイランス・モニタリング計画

汚染物質のリスク管理に当たっては、予備調査により、調査対象とする汚染物質や食品に関して優先度の検討を行い、それに従って実施した実態調査により汚染物質の摂取量を計算してリスクを推定し、リスク低減対策の実効性を検証することが重要である。

このため、農林水産省は、これまでの有害化学物質の調査事業を統合し、「有害化学物質リスク管理基礎調査事業」を予算化した。この調査事業では、以下の優先度検討の基準に基づいて、調査対象とする汚染物質や食品に関する優先度を決定し、中期的及び各年度に「サーベイランス・モニタリング計画」を作成し、科学的・統一的に有害化学物質の実態調査を実施している。

[優先度検討の基準]

- ①食品の安全性を確保する観点(危害要因の毒性、汚染実態、暴露の推定、リスクが未知の危害要因、サンプリング・分析法の確立)

②消費者の視点（基準値の遵守状況，消費者・国会等の関心度）

③国際動向（コーデックス汚染物質部会における検討状況，海外におけるサーベイランスやリスク管理の取り組み状況）

また，優先度の検討の際の参考とするよう，調査対象として検討する汚染物質の食品安全に関するリスクプロファイルを作成した。約40の汚染物質のリスクプロファイルは作成済みである。さらに，新たな科学的知見が得られれば，それをリスクプロファイルに加え常時内容を更新している。

サーベイランスやモニタリングの結果をリスク管理に活用する場合，その分析結果が科学的に信頼できるよう，分析法の妥当性確認や分析実施の際の精度管理が適切に行われている必要がある。海外においては，化学分析における分析法の妥当性確認や精度管理は常識になっているが，日本では十分に行われていない。このような状況では，国際的なリスク評価のために我が国のデータを提出しようとする場合にも大きな支障がある。

このため，農林水産省では，2005年6月に「サーベイランス・モニタリングの計画・実施及び結果の評価・公表に関するガイドライン」を策定し，公表した。現在，農林水産省が実施する実態調査は，すべてこのガイドラインに基づき，企画・実施，結果の解析及び公表が行われる。

6. リスク管理のための研究

前述したように，食品中のカドミウム含有の問題には，リスクアナリシスの枠組みや汚染物質等の一般原則の考え方に沿って対応している。特に米中のカドミウムに関しては，いくつかのリスク管理措置の検討・導入・普及を行っている。さらに，植物や化学的な方法による土壤中の交換態カドミウム濃度の低減，カドミウムを吸収しにくい品種の導入，土壌データに基づいた農産物汚染の

可能性の予測などに関する研究や，米以外の作物のカドミウム低減に関する技術の実証にも取り組んでいる。

これらの技術は，いずれも食品中の汚染低減のための実施規範を構成するものである。水稻のカドミウム低減のための水管理に関するマニュアルを作成した際にはそのためのプロジェクト研究が行われた。ただし，このような研究は，学術的に価値のある研究や新規技術の開発のための研究ばかりではない。例えば，異なった土壌タイプでも同様な低減効果が得られるか，収穫期近くに深水管理を行った場合に大型機械による収穫の作業性の低下をどのように評価するかというような地道な試験・調査も必要になる。

このような研究の効果的な推進のためには，リスク管理者が必要とするリスク管理のための研究を企画し，研究成果の活用に関する方向性を示しながら，研究実施者との間で十分なコミュニケーションを図っていく必要がある。

このような研究は，レギュラトリー・リサーチとして海外では確固たる位置づけにある。残念ながら日本では，上記に紹介したカドミウムの研究成果は食品安全の分野では希な事例である。

農林水産省では，食品安全の研究分野におけるレギュラトリー・リサーチの推進を強化するため，2005年度から「先端技術を活用した農林水産研究高度化事業（リスク管理型研究）」を予算化し，2006年8月時点で，27研究課題を推進している。

注

- 1) 通常は「リスク分析」という訳語が当てられるが，「analysis」には「物事を分けて取り扱う」という意味も含まれることから，本稿では「アナリシス」という言葉を使用する。
- 2) 国連環境計画(UNEP)による地球環境計画の一部として，1976年に開始された計画。WHOが主な実施機関で，各国政府，コーデックス委員会，市民等に対して，食品汚染の程度と傾向，その総暴露による健康影響，公衆衛生及び貿易に関係する重要性の情報を提供している。