特集・食品衛生の将来展望

食品汚染物モニタリングの将来展望

内 山 充*

Future Aspects on Food Contamination Monitoring

Mitsuru UCHIYAMA

(National Institute of Hygienic Sciences: 18-1, Kamiyoga
1-chome, Setagaya-ku, Tokyo)

食品衛生学会の創立20周年に当たり、我々が今後どのような展望をもって食品汚染物に関する調査・研究を進展させるかについて、私見を述べる機会を与えられたことは、私にとって大変に光栄である。

時あたかも米国議会の技術評価委員会 (OTA, Office of Technology Assessment) から Environmental Contaminants in Food と題するレポートが公表された¹⁾。その内容も参考にしながら我が国における将来を展望してみたいが、論旨をなるべく具体的にするために差し当たり次の10年間に限定して実態研究の将来像を画きたいと思う。

I. 食品汚染物モニタリングの経緯

食品は原料をすべて天然物に仰いでいるので、たとえいかに GMP (Good Manufacturing Practice) が励行されようとも、有害物による汚染をある程度以上防止することはできない。特に農業、鉱工業、エネルギー産業などの発達に伴い全く予期しない経路で、あるいは全く新規な有害物によって食品が汚染される事例が今後も十分に起こりうる。しかしそれに対する検知や監視に有効な体制は、我が国でも、また他の先進諸国でも現在必ずしも十分に研究され整備されているとはいえない。

今日食品汚染物モニタリングと表現されている調査研究は、既知の特定の有害物質の存在濃度を経常的に測定することであり、それによって食品汚染の現状と推移を知ることが目的としている。それが積み重ねられ情報量が増大すれば自ずから経年推移や地域別の特徴が明らかとなり、さらに汚染物の日常摂取量の算出や汚染の増減動向の予測も可能となる。

我が国ではこのような観点から、主として各地方衛生研究所においてそれぞれ独自に、1969年以来引き続いてモニタリングが行われてきた。それぞれのデータは最近になって全国衛研の協力を得て著者の手元で一定のフォームの下で集計されコンピュータに蓄積されつつある。本年9月までに過去9年間のデータ約56万レコードが入

力されシステム化がほぼ完成した²⁾。したがって我が国における代表的汚染物に関するバックグラウンドデータの処理機構は一応完備されたといつてよい。そしてこのデータベースは今後毎年継続的に拡充強化されて行き、また統計数値は随時公表の計画を進めているので、全国的あるいは各地方において種々の比較や解析に大いに利用されるところとなろう。

モニタリングを実態調査という意味だけでとらえるならば、上記のようなシステム化はかなり大きい意義を有する。一方さらにこれを今後、より広い対象汚染物と食品に拡大して行くことにより、いわゆる Regulatory Monitoring すなわち安全性評価や許容濃度を考える上に役立つモニタリングの目的が達せられることとなる。

II. 安全性評価におけるモニタリングの意義

食品中の汚染物質が人間の健康に悪影響を与えるに至るには四つの要因、すなわちその物質の毒性、食品中の濃度、汚染食品の摂取量、および生体側の脆弱性 (vulnerability) が関与していると OTA レポートに記されている。

私がかねてより、食品中に有害な物質の存在が分析化学的方法で証明されたことすなわち『有害物が存在する』ということと、その食品が『有害である』ということとの間には大きな開きがあり、少なくともその有害物質に関して；①固有の毒性 ②食品からの摂取 (intake) 量 ③食品中での存在形態 ④食品中における共存物質 ⑤uatake/intake の比で代表される availability ⑥生体の応答力 の6つが関与していると考えている。有害無害はこれらの総合によって決まる。それはいわば、毒性試験 (toxicity test) と安全性評価 (safety evaluation) とが決して単純な裏腹の関係ではないということとも意を同じうする。

したがって、食品汚染物の安全性評価においては、確実に有害性に関して情報を得るための毒性試験の結果と、その汚染物の量と質を含めたモニタリングの結果を基にした人間の暴露実態の総合によって初めて正しい結

* 国立衛生試験所：東京都世田谷区上用賀 1-18-1

論が得られる。しかも availability や生体の response の検討は実態になるべく近い濃度や形態、さらには共存物質の状態の下で実験されるべきであるから、モニタリングデータが確立されていないとこれらの実験計画の立案にさえも支障を来すこととなる。今後モニタリングの展開に当たり、これらの意義を自覚しなければならない。

このように汚染物に対しての人間の暴露状態を念頭においた安全性評価は、人為的努力によっては避けられない物質についての必然的な考え方であるからこの面でのモニタリングの持つ意義はますます大きくなろう。

III. モニタリングの対象となる汚染物

食品中の汚染物は、食品衛生行政上あるいは毒理学や環境化学の立場から見ていくつかのカテゴリーに分類することができる。それは

- ① 基準値のある汚染物（暫定値などを含む）
 - ② 基準値はないが国内外から毒性情報が得られている物質
 - ③ 食品中の存在が既知であり、毒性は不明だが疑わしいもの
 - ④ 構造など不明で未検知の汚染物
- の4態である。

現在では①は極めて少数の例（PCB や水銀）を除けば農薬や飼料添加物のように人為的に使用した後の残留物に限られている。これは日本に限ったことではなく諸外国でも同様の傾向にある。

②には現在話題に上っている食品汚染物がほとんど含まれる。鉛、カドミウムを始めとする有害重金属、アフラトキシンを代表とするマイコトキシン類、ニトロサミン類、ベンゾ（a）ピレンなど多環芳香族炭化水素、HCB、PCN など塩素化芳香族化合物、エチレンチオウレア、トリハロメタン等々である。今後当面のモニタリング拡充のための重要な対象であると同時に、それによって汚染の防止策や安全性の評価を順次軌道にのせて行くべき物質の集団であるといえる。

これらのものについての我が国におけるモニタリングデータの整備度には物質によって大きく差が見られる。たとえば、共に長い研究の歴史を持っているもの相互を比較しても、重金属はかなり完備されているのに対しマイコトキシンは全く不備である。それは主としてそれぞれの物質に関する専門学界においてモニタリングの価値をどの程度評価して来たかに左右される。構造決定や作用機構が重視されて来た分野はモニタリングの充足度が低い。

③④については、これまでほとんどモニタリングが行われていない。③は構造が明らかで食品中での存在も証明されているが、有害性についての情報が乏しく、いわゆる疑わしき汚染物（suspect contaminants）に入るものである。それらの多くのものについては食品からの分

析法も確立されていない。現在の日本でこの代表的なものといえば、希有金属類、フタル酸エステル類、防燃性リン酸トリエステル類、クロロベンゼン類、芳香族アミン類、石油成分などが該当する。米国 FDA ではこれらの他、ポリ臭素化ビフェニル、ハロフォルム（ CCl_4 , C_2Cl_4 ）、脂肪族塩素化物、脂環状塩素化物などを挙げている。

④は未知汚染物である。我が国における PCB やメチル水銀の汚染例は人間の中毒や家畜の異常から検知のいとぐちが得られている。これを反省した上で今後はモニタリングで新規汚染物の登場をいち早く検知できる研究体制をぜひとも確立しておく必要がある。そのためには化学的のみならず生物学的手法も動員することが必要となるが詳細は後に再び触れることとする。

IV. Regulatory Monitoring の展開

モニタリングの中で、これまでの活動実績を各自でさらに拡充強化する方向に行くべきものとして前章の①と②を示した。これらは OTA リポートにいう Regulatory Monitoring に当たる。

1) Total diet study の整備

モニタリングの目的は繰り返し述べるように最終的には人間の汚染物に対する暴露度（体内への取込み量）を知ることにある。したがって個々の食品中の汚染物濃度を知ることと並んで日常の調理後の食品について行われる total diet study（1日摂取量調査）が極めて大きい意義をもつ。

Total diet study の実施に当たっては、しかるべき根拠のある食品別摂取量の統計数値に基づき日常食と同様の配合になるように各種の食品を市場から買い集める。我が国では国民栄養調査（最新版）の中の食品群別摂取量表の数値に基づいて、89種類の食品を購入することとしている。分析の都合上それらを類似のものと一括した形でいくつかの群（我が国では13群）に分け、調理すべきものは適宜調理した後、群ごとにホモジナイズして分析試料とし、その中の汚染物の量を直接定量して摂取量を知る。

微量分析の技術が今日のように発達して来ると、人体の暴露状態を知るのにはこれが最も的確な方法といえる。しかも、複数の汚染物が相互にどのような比率で取り込まれているのか、特定の汚染物は主にどんな食品群を介して取り込まれるのか、食品の流通経路や輸入、国産の別を問わず食品全部を総合した汚染物の取り込みの実情を知りうる、などの利点がある。また、ある種の新しい汚染物による健康影響を正しく判断するに当たっては最も説得力のある数値を与える。

上に述べた total diet study の実施法はマーケットバスケット方式といわれるものである。この他、分析データと食品摂取量から計算で算出する CIC（contaminant intake calculation）方式とか、我が国独特の陰膳方式とかの方法もあるが、先進諸国ではすべてマーケッ

トバスケット方式が採られている。従来、我が国では主として有害重金属について1日摂取量が算出されている⁸⁾が、汚染物全体についての検討は極めて少なく⁴⁾、またマーケットバスケット方式の全国的データは全く無かったといつてよい。

残念ながら total diet study に関しては、我が国は世界の三流国並みの実績しか持っていない。米国のように成人については1965年、幼児については1975年以降毎年続けられ、独立の Total Diet Laboratory を有し、昨年も成人用20、幼児用10の total diet を分析している国にはとても及ばないとしても、英国の1975～1977における 51 diet の分析実績や、オーストラリアの1973年以降継続の実績にも及ばない。

我が国における total diet のマーケットバスケット方式は1977年からようやく計画を開始し1977～78年に8 diet、昨年は10 diet が全国10か所(北海道、宮城県、新潟県、横浜市、名古屋市、大阪府、和歌山県、高知県、島根県、福岡県)の衛生研究所で行われた。方法の詳細およびその結果については機会を得て本誌上に報告したいと考えている。ともあれ近い将来にさらに高い関心を寄せるべきものの一つは total diet study であるといえよう。

2) モニタリング対象の拡大

最新の分析技術を駆使しても total diet sample を用いたのでは感度の不足のため検出限界以下になってしまう汚染物はかなり多い。このような微量汚染物については個々の食品についてのデータを重視せざるを得ない。また、消費量の多い食品(米、牛乳など)や一般に汚染の機会が多い食品(魚介類など)については、IIIの②に挙げた種類の汚染物について集中的にデータを収集することが必要となる。特に日本人の暴露実態が不詳であるが故に我が国で人間への健康影響が未だに確定していない物質が採り上げられることを望みたい。

これらの物質についての固有の毒性データは国際的に認められたものを導入して参考とすることができたとしても、人体暴露量の実態に外国のデータを準用することはできず、食生活、食習慣の特有な日本人についてのデータを必要とするからである。なお、IIIの②に挙げた物質については前記のモニタリングデータベース中にはほとんど収められていない現状にある。

3) 多物質の同時分析と化学形態についての留意

今後の汚染物分析に当たっては、可能な限り多種類の(同一の化合物群たとえばカルバメート類とかリン酸エステル類とかに属するものの意味ではなく、他の構造群に属するものの)汚染物を同一の食品試料について分析しておくことが望ましい。汚染物固有の作用というより今後は汚染物の配合状態における作用を安全性の根拠とすべきだからである。

同様のことが汚染物の化学形態についてもいえる。特

に重金属のモニタリングに当たっては化学形概念が重要となる⁹⁾。同程度の汚染環境内に生息する魚介類が、種類により異なった汚染パターンを示していることは、多くのデータを整理し解析すると明らかである。古くからカキの亜鉛、パイのカドミウム、イカの鉛、エビのヒ素などのように、高い含量が必ずしも毒性を示さない例はいくつも知られている。それらを同列に数値比したり、逆にその数値からただちに影響を推定するのは正しくない。そのために、金属の総量と同時にたとえば特定のpHやキレート剤による抽出とか特定の化学処理によって得られる金属の量を、よりよい指標として用い得るかどうか試みることも意義がある。

4) Specimen Banking

最近、環境内の各成分(空気、水、土壌、食品、生物質)や人体試料について永年保存の必要性が国際機関(OECDなど)を通じて提唱されつつある。しかし現段階では未だに大規模で完璧な体制は具体化されていない。

食品汚染物に関していえば、ある時代の汚染物モニタリングデータについて後から提起される疑問点、たとえばイタイイタイ病発症時の食事中におけるリン酸の濃度はどの程度だったろうとか、HCB汚染は何年前頃からあったとか、に答えるためには、代表的食品や total diet の試料が保存されていなければならない。さらにいうまでもなく今後新たに発見されるであろう汚染物に関して我々が現在なし得ることは、分析試料をあらかじめ収集保存しておくことしかない。

現在私の手元には1977年以降の total diet sample が数kgずつという小規模ではあるが仮に保存されている。しかし-35°の冷凍庫であるのであまり長期の保存は望めない。研究者相互の保存サンプルの全国的連絡や登録制度、専門の保存施設などなんらかの方策が待たれるところである。

V. 分析の精度調整、自動化、データの標準パターン化

我が国のように食品の監視や実態調査が各地方自治体の研究機関に負うところの大きい場合には、分析精度が comparable であることが基本前提である。現在は分析方法を揃えること以外には特別に comparability の確認の習慣は我が国にはない。米国の NBS(国立標準品局)のような機能の必要性が唱えられてからすでに久しい。

ところで分析上の感度ではなく精度のばらつきは、分析操作の上で見ると末端の検出定量段階ではなく、むしろそれに至る抽出・クリーンアップの段階に起因することが多い。したがって今後の食品汚染物モニタリングの能率と信頼性を向上させるためには、分析の自動化が急務と考えるが、特に抽出、分離、試験溶液の調製までの自動化が急がれる。近い将来に、溶媒抽出、交流分配お

および液体クロマトグラフィーを組み合わせた『分画機器』の出現することを期待したい。

末端の定量操作としては TLC, GC, HPLC, MS にせよ分光法, 発光法, 酵素法などにせよ細かい創意と工夫の余地が残されている。ただしいずれの場合も目的とする分析対象物質の示すシグナル以外に同時に現われるシグナルをあわせて記録し、一定のデジタル化を行って保存しておくことが望ましい。次に述べる未知汚染物の検索に当たって極めて大きい貢献をしようと考えられるからである。

VI. Investigatory Monitoring の展開

先にIIIの③と④に挙げた対象物に対するモニタリングを OTA リポートは Investigatory Monitoring と呼んでいる。

1) 毒性情報の不足を補うためのモニタリング

毒性情報が不十分であってもモニタリングを先行させるべき物質が環境中には多数存在する。IIIの③に挙げたものはその一部である。これらの物質が食品中に検出された時には、食品衛生法第四条（有害な食品の流通を禁止する内容）にてらしてどう評価すべきか判断に迷うことが少なくない。このように毒性データに拠ることができない場合には、他の類似の食品、あるいは他地域からの同種の食品についてのモニタリングデータと比較したり、あるいは汚染の経時推移を見たりして判断を下すことになる。そのためにもこの種の汚染物に関する検討があらかじめ行われていることが必要ということになる。

なお OTA のワーキングペーパー⁶⁾によれば、生活用品としてあるいはエネルギー開発に伴って今後10年間に急激に環境に増加すると思われる物質として、polyethylene glycol などの可溶性ポリマー；polyacrylamide, polyamine などの有機凝集剤；照射加工用を使用する種々の acrylate；polybutylene terephthalate などの polyester 樹脂類；zeolite ($\text{Na}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 45\text{H}_2\text{O}$)；多くの繊維加工用化学物質；hydrazine 類；および石炭、石油などから放出される幾多の汚染物質などを挙げている。我が国にもそのまま当てはまるかどうかには疑問があるが今後のモニタリングの方向としては参考になる。

2) 未知汚染物の検知システム

前にも述べたように我が国の PCB, メチル水銀, 米国における PBB, ケボン, トルコにおける HCB など食品の汚染事例は、検知システムによって発見されたのではなく家畜事故, 労働災害および一般人の中毒などのために表面化したものである。勿論これらは亜急性毒性に近い強度の汚染であったから事故につながったわけだが現在でも慢性影響をもたらす新汚染物の出現のおそれがないとはいえない。GDP (good disposal practice) とか GHP (good handling practice) とでも呼ぶうるものが浸透しない限り環境→食品の汚染は止まることがない。

そこで、未知汚染物に対する検知システムが待望される。

これまでに PCB に関して Jensen が、 β -BHC に関して上田氏が検知に成功したのは GC 上における未知ピークの解析であった。原理的には将来もこの方法以上に出るところはないと思われる。ただし用いるべき試料、あるいは分析指標についてはかなり色々な改良が可能である。

分析試料は環境の汚染を最も敏感に反映するものがよい。ムラサキイガイやアサリを用いる検知⁷⁾は良好な指針である。

分析指標は、試料を一定条件で分析した時に得られるパターンが基準となる。パターンはなるべく複雑でしかも再現性の比較的高いものが良い。機器分析のパターンばかりでなく生物材料を用いた活性パターンも検知の標準指標となしう。活性は微生物、可溶性酵素、膜などのように機能をもった構造体、などいずれも *in vitro* で汚染物の作用を簡単に検知でき再現性の高いものを選ぶ。動物全体を用いる検定は動物を殺さずに行い得る検定が望ましい。いずれも化学処理により得られる画分の数が多いので活性検知が簡便であることを要するためである。

一定のパターンの中に入っているシグナル相互の比の変化、特定シグナルの増減あるいは出現や消失などが検知の拠りどころであるので、標準パターンの変動範囲の設定にかなりの努力が必要とならう。

米国 OTA リポートでは、高分離能のキャピラリカラムによる GC とコンピュータ装備の MS による解析を検知システムの具体例として挙げているがこの他にも上記のように幅広い検討と応用の試みが必要と思われる。

VII. 総 括

衛生思想の水準はその国の文化水準を示すものだといわれるが、我が国は食品衛生の上で文明国の仲間入りをしているとわれわれは考えている。確かに技術水準では自他共に信頼がおけると評価される。しかし予防的な調査研究に対する価値観となると残念ながら必ずしも高くないのではなかろうか。

食品汚染物モニタリングは次の10年間に、何を必要としどの方向に拡充されるか、あるいは他分野からの協力を望みたいところは何かなどについてかなり独善的にまとめた。

汚染対象の拡大、total diet の重視、毒性不明物質の追跡、Specimen banking の要望、未知汚染物の検知システム、分析の改善と自動化、いずれも恐らく10年後には完成されていることであろう。展望が案外近視眼的だったとのそしりを受けるような10年後になってほしいものである。

文 献

- 1) Office of Technology Assessment: "Environ-

- mental Contaminants in Food" (Dec., 1979), Congress of the United States, Washington, D.C.
- 2) 内山 充: 衛生試報. **97**, 1~19 (1979).
 - 3) 山県 登: "微量元素" (1977), 産業図書.
 - 4) 上田雅彦, 田植 栄, 近沢紘史, 西本孝男: 食衛誌. **12**, 445~450 (1971).
 - 5) 内山 充: 山根他編 "環境汚染物質と毒性, 無機物質篇" 化学の領域増刊 126号, p. 25~33 (1980).
 - 6) OTA Working Paper: "Priority Setting of Toxic Substances for Guiding Monitoring Programs" (1979), U.S. National Technical Information Service, Washington, D.C.
 - 7) 中村 彰夫, 樫本 隆: 生態 化学, **8**, 215~224 (1980).