

平成12年度厚生科学研究費補助金

特別研究事業報告書（課題番号H12—特別—047）

# 原子力施設の事故等緊急時における 食品中の放射能の測定と安全性評価 に関する研究

主任研究者 出雲 義朗（国立公衆衛生院放射線衛生学部長）

## 分担研究者

樋口 英雄（財団法人・日本分析センター理事）

河村日佐男（放射線医学総合研究所人間環境研究部第3研究室長）

平井 保夫（茨城県公害技術センター放射能部長）

杉山 英男（国立公衆衛生院放射線衛生学部環境放射線室長）

松浦 賢一（日本原子力研究所東海研究所保健物理部環境放射線  
管理課課長代理）

村山 三徳（国立医薬品食品衛生研究所食品部主任研究官）

高橋 知之（京都大学原子炉実験所安全管理研究部門助手）

2001年3月

原子力施設の事故等緊急時における食品中の放射能  
の測定と安全性評価に関する研究

	目	次	頁
総括研究報告			
原子力施設の事故等緊急時における食品中の放射能の測定と 安全性評価に関する研究		出雲義朗-----	1
分担研究報告1			
食品の測定および被ばく線量評価の開始と対応に関する研究		杉山英男、出雲義朗-----	11
分担研究報告2			
緊急時における食品中の放射能の測定に関する研究		樋口英雄、平井保夫、村山三徳、出雲義朗、杉山英男-----	17
分担研究報告3			
緊急時における食品摂取に起因する被ばく線量評価に関する研究		河村日佐男、高橋知之、平井保夫、松浦賢一、出雲義朗、杉山英男--	40
分担研究報告4			
緊急時に即応する平常時の事項に関する研究		平井保夫、出雲義朗、杉山英男----	69

# 總 括 報 告

## 原子力施設の事故等緊急時における食品中の放射能の 測定と安全性評価に関する研究

主任研究者 出雲 義朗 国立公衆衛生院放射線衛生学部長

研究要旨：原子力施設等に放射性物質や放射線の異常な放出がある場合又はその恐れがある場合、国の災害対策基本法に定める「防災基本計画・原子力災害対策編」（「原子力防災計画」）、「原子力災害対策特別措置法」（「原災法」）、「原子力施設等の防災対策について」（「防災指針」）及び「緊急時環境放射線モニタリング指針」等に基づき、各般に亘る所要の措置が講ぜられることになっている。このうち、モニタリング指針では1）空間放射線量率、2）大気中の放射性物質の濃度、及び3）環境試料（飲料水、葉菜、原乳、雨水、土壌、植物、農畜産物、源水、魚介類等）中の放射性物質の濃度に関するモニタリングが実施される。これらのモニタリングでは試料によって採取や調製法、測定法及び線量の評価法が異なるので、多数試料に関係者がそれぞれ一斉に十分対応することは容易なことではない。そこで、本研究では、これら試料のうち農畜水産食品につき、摂取における安全性評価の基礎として、放射能に関する測定や、摂取の場合の体内被ばく線量の推定、評価を一層明確にするため、上記の指針や科学技術庁の測定法等を基礎資料として食品に特化した調査研究を行った。まず、①緊急時発生後の食品試料への対応、開始時期等につき検討した。開始は空間線量率や大気試料への対応よりやや遅れるので指針の第1段階とは異なること、しかし、終了時期はほぼ一致すること、この開始の違いに基づき、この期間を第1段階とは区別して「初期」と定義した。その後の開始及び終了時期は指針の第2段階と概ね一致するが、この期間を初期に対して「後期」と定義した。なお、初期の開始は原災法や指針等との整合性を図りながら対策本部等の判断に十分留意することが肝要である。次に、②測定については、簡易測定としてサーベイメータの適用、また詳細な核種分析として機器分析及び放射化学分析の適用等を検討した。サーベイメータは検出器により線質、感度、測定範囲等に留意して適用すること、詳細な分析としては、ガンマ線放出核種に対するガンマ線スペクトロメトリー、及び放射性のストロンチウムやウラン等に対する放射化学分析の適用性や有用性、留意点などを述べた。なお、試料の調製は大部分上記資料に基づき実施するが、一部は食品衛生法に基づき実施するのが適当であること、等を述べた。③線量の推定、評価については、まず、対象の個別食品及び食品群の選定、分類、評価対象者、食品中の核種の放射能ないし放射能濃度、食品の1日摂取量及び摂取期間、放射能の摂取量、生産・流通・消費に係る市場希釈、調理加工処理にともなう除染、及び核種の物理的減衰等の各パラメータに基づいて、線量算定の基礎式を示した。パラメータのうち、食品（群）については指針よりも細分類し、品目を例示した。評価対象者は、指針の乳児、幼児及び成人に加えて、幼児及び成人の間の年齢階級（対象人口1000万人以上）（ICRP報告-56他の年齢階級（代表）10歳及び15歳にほぼ対応）をそれぞれ「少年（10歳）」及び「青年（15歳）」に区分して対象とした。さらに、各パラメータの変動要因や補正要因も検討した。なお、④緊急時に即応する平常時の関連事項の概要についても検討を行った。これら一連の研究をとおして、食品に特化した放射能の測定や食品摂取の場合の線量評価、ひいては安全性評価のための基礎資料として援用し得ることを指摘した。

分担研究者	
樋口 英雄	財団法人・日本分析センター 理事
河村日佐男	放射線医学総合研究所人間環 境研究部第3研究室長
平井保夫	茨城県公害技術センター放射 能部長
杉山英男	国立公衆衛生院放射線衛生学 部環境放射線室長
松浦 賢一	日本原子力研究所東海研究所 保健物理部環境放射線管理課 課長代理
村山 三徳	国立医薬品食品衛生研究所食 品部主任研究官
高橋 知之	京都大学原子炉実験所原子炉 安全管理研究部門助手

#### A. 研究目的

「原子炉等規制法」（平成12年7月施行。以下「炉規法」と略称）の原子力施設に放射性物質や放射線の異常な放出がある場合又はその恐れがある場合には、国、関係の地方公共団体及び原子力事業者は、国の災害対策基本法に定める「防災基本計画・原子力災害対策編」（以下「原子力防災計画」と略称）、「原子力災害対策特別措置法」（平成12年6月施行）（以下「原災法」と略称）、及び防災計画の技術的事項等に関する「原子力施設等の防災対策について」（原子力安全委員会、平成12年5月一部改定、以下「防災指針」と略称）、さらに防災指針に基づく「緊急時環境放射線モニタリング指針」（原子力安全委員会、平成12年8月一部改定、以下、「緊急時モニタリング」と

略称）等に基づき、各般所要の措置が講ぜられることになっている。緊急時には、その状況に応じて内閣総理大臣を長とする「原子力災害対策本部」が設置されるほか、現地には「原子力災害現地対策本部」が設置されるとともに、国、関係の地方公共団体及び事業所が一体になる「原子力災害合同協議会」がオフサイトセンター内に設置されることになっている。これらの対策本部等においては、緊急時医療、避難・退避、環境放射線の把握等、各般の関連事項が緊急かつ一斉に、場合によっては大規模に実施される。このうち、緊急時モニタリングでは、事態の状況や経過時間の推移に応じて第1段階及び第2段階に区分して、1）空間放射線量率、2）大気中の放射性物質の濃度、及び3）環境試料（飲料水、葉菜、原乳、雨水、土壌、植物、農畜産物、源水、魚介類等）の放射性物質の濃度に関するモニタリングが実施される。これらのモニタリングでは、試料により採取や調製法、測定法及び被ばく線量の評価法が異なるので、多数の事項に関係者がそれぞれ一斉に、かつ十分に対応することは容易はでない。

そこで、本研究では、環境試料のうち農畜水産食品につき、摂取における安全性評価の基礎として、放射能の測定や摂取の場合における体内被ばく線量の推定、評価を一層明確にするため、上記指針や測定法（科学技術庁）等を基礎資料として食品に特化した測定や線量の評価を検討する。その最初に、食品の測定及び被ばく線量評価の開始と対応につき検討した。その後、測定及び線量評価につき検討したうえ、さらに、緊急時に即応する平常時の関連事項の概要についても検討を行った。

## B. 方 法

### 1. 食品の測定及び被ばく線量評価の開始と対応に関する研究

(分担 杉山英男、出雲義朗)

上記炉規法、原災法、原子力防災計画及び防災指針等を基に、これら資料との整合性、緊急時の状況、各種環境試料中における農畜水産食品試料の位置付け、等を考慮しながら、食品の測定及び被ばく線量評価の開始や対応を中心に検討する。

### 2. 緊急時における食品中の放射能の測定に関する研究

(分担 樋口英雄、平井保夫、村山三徳、出雲義朗、杉山英男)

上記各指針及びこれまでに報告されている科学技術庁の各種測定法のほか、食品衛生法等を基礎資料として、食品試料に関する測定を中心に検討する。

### 3. 緊急時における食品摂取に起因する被ばく線量評価に関する研究

(分担 河村日佐男、高橋知之、平井保夫、松浦賢一、出雲義朗、杉山英男)

まず、線量算定の基礎式を示す。次に、食品の摂取による被ばく線量の推定、評価において必要な各種のパラメータを選定したのち、各パラメータの変動や補正要因、並びに適用における課題につき検討する。

### 4. 緊急時に即応する平常時の事項に関する研究

(分担 平井保夫、出雲義朗、杉山英男)

原子力防災計画及び防災指針等を参考にしながら、緊急時に即応する平常時の関連事項につき検討する。

## C. 結 果

### 1. 食品の測定及び被ばく線量評価の開始と対応に関する研究

上記防災指針及び緊急時モニタリングにおいて、モニタリングは事故後の状況に応じ、第1段階及び第2段階に区分してそれぞれ対応することになっている。この第1段階においては、1) 空間放射線量率、2) 大気中の放射性ヨウ素、ウラン、又はプルトニウム濃度、3) 環境試料(飲料水、葉菜、原乳等)中の放射性ヨウ素、ウラン又はプルトニウム濃度が測定項目になっている。これら試料のうち、葉菜、原乳等の農畜水産食品はその他の項目である空間放射線量率や大気試料に比べ、時間の経過にともなう放射能汚染の変動や試料の移動が比較的少ないうえ、住民が摂取(消費)を控える時間的余裕もある。したがって、食品のモニタリングは、その他の測定項目に比べやや遅れて開始する傾向にある。そこで、本研究では、食品に特化した測定や評価の開始時期が防災指針等とは必ずしも一致しないことから指針の第1段階と区別するため、開始後、つぎの段階に至るまでの期間を「初期」と定義する。ただし、開始は原災法、防災指針、緊急時モニタリング等との整合性を図りながら対策本部等の判断に十分留意する必要がある。しかし、初期の終了時期は指針における第1段階の終了時期と概ね一致する。したがって、その後の時期は指針における第2段階に相当するが、本研

究では初期に対して「後期」と定義し、指針と区分する。「後期」の終了については、必ずしも明確ではないが、緊急時モニタリングでは、「緊急時においては、基本的には防護対策の決定に当たって、先ず計算等により周辺環境の予測放射能濃度及び周辺住民等の予測線量等を推定し、さらに、モニタリング結果により実際の放射能濃度及び線量の評価を、主として以下の原子力施設（原子力施設等、核燃料施設）から放出される放射性物質又は放射線について行う」としている。このため、その予測や評価が終了するまでには比較的長期にわたる測定や評価のための期間を要すると考えられ、本研究においても防災指針との整合性を図ることにする。

## 2. 緊急時における食品中の放射能の測定に関する研究

### 2.1. 調査対象について

まず、農畜水産食品試料採取の重点地域は、上記基礎資料における最大空間放射線量率の出現（予測）地域とその近傍等が中心になる。次に、対象食品は食品に特化する研究なので、防災指針等より詳細な分類と具体的な品目を例示する。対象核種は事故施設の状況や事故後の経過時期により異なるが、指針との整合性を図りながら、初期では放射性ヨウ素、放射性セシウム、アルファ線放出核種のウラン、プルトニウム及び超ウラン元素を中心に、また後期では、それに加えて放射性ストロンチウムを主要な対象に選定することが適当である。

### 2.2. サーベイメータによる測定

サーベイメータは、試料の簡易測定にきわめて有用であるが、検出器により感度、

測定範囲、エネルギー特性等が異なるので、使用目的や測定しようとする放射性核種、放射線強度等に応じて機器を選定する。なお、使用に際しては、機器の校正、バックグランド値の測定、把握、機器の汚染に留意することが重要である。

### 2.3. ゲルマニウム半導体検出器を用いたガンマ線スペクトロメトリーによる核種分析

ガンマ線放出核種の同定や放射能の定量にきわめて有用であるが、機器の仕様及び校正、試料の調製、実際の計測法、測定時間と定量可能レベル、等に留意する。

### 2.4. 放射性ストロンチウムの分析

原子力施設等から環境へ放出されて食品を汚染する可能性がある放射性核種のうち、放射性ストロンチウム、すなわち、Sr-89（半減期：50.5日）及びSr-90（半減期：28.8年）は、いずれもベータ線放出核種なので、測定は一般に放射化学分析法により行う。上記ガンマ線放出核種に比べて長時間を要し、煩雑であるが、単位放射能あたりの被ばく線量（実効線量）、すなわち線量係数は、放射性セシウムとともに比較的高く、また、半減期も比較的長いので、摂取の場合の被ばく線量評価には重要な核種である。なお、食品試料に適用する調製法とそのベータ線の詳細な測定法に留意することが重要である。

### 2.5. ウラン及びプルトニウム分析

ウラン及びプルトニウムはいずれもアルファ線放出核種なので、その測定法は上記（2.3.及び2.4.）の核種とは異なる。そこで、それぞれに「ウラン分析法」（科学技術庁、平成8年3月、1訂）及び「プルトニウム分析法」（科学技術庁、平成2年

11月、1訂)を適用する。

### 3. 緊急時における食品摂取に起因する被ばく線量評価に関する研究

#### 3.1. 被ばく線量評価基礎式

放射能汚染食品を摂取する場合における被ばく線量を試算するため、まず、下記により算定の基礎式を示した。

$$A_{m,i} = \int_0^{t_m} C_{m,i} \cdot M_m \cdot f_{m_m} \cdot f_{d_m} \cdot \exp(-\lambda_i \cdot t) dt$$
$$= \frac{C_{m,i} \cdot M_m \cdot f_{m_m} \cdot f_{d_m}}{\lambda_i} [1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_m)]$$

$A_{m,i}$  食品  $m$  の摂取に起因する核種  $i$  の摂取量 (Bq)

$C_{m,i}$  サンプルング時における評価対象食品  $m$  中核種  $i$  濃度 (Bq/kg)

$t_m$  食品の摂取期間 (d)

$M_m$  食品  $m$  の一日あたりの摂取 (kg/d)

$f_{m_m}$  食品  $m$  の市場希釈係数 (-)

$f_{d_m}$  食品  $m$  の調理による除染係数 (-)

$\lambda_i$  核種  $i$  の物理的崩壊定数 (d<sup>-1</sup>)

・なお、同上式より、核種の物理的半減期が食品の摂取期間  $t_m$  より無視可能なほど長い核種については、下記式で与えられることになる。

$$A_{m,i} = C_{m,i} \cdot M_m \cdot f_{m_m} \cdot f_{d_m} \cdot t_m$$

#### 3.2. パラメータに関する検討

1) 対象食品 (群) : 対象食品 (群) は事故後の経過により異なる。初期では、放射性物質による農畜水産食品 (素材) の表面が汚染され易いことを考慮して、食品を

野菜、果物、乳類、穀類、魚介類・海草類及びその他の6食品 (群) に分類する一方、後期では「国民栄養の現状」(厚生省) の分類を参考に、これらを含む12食品 (群) に分類した。

2) 評価対象者 : 防災指針では、乳児、幼児及び成人の3年齢階級 (区分) を対象にしている。したがって、幼児と成人の間の階級、すなわち、ICRP-56 報告等における7-12歳及び12-17歳に対応し (代表年齢はそれぞれ10歳及び15歳) (我が国の対象人口1000万人以上) は、対象にされていない。①これら階級の線量係数は乳児、幼児及び成人に関する値とはそれぞれ異なること、②生理学的にも大きく異なり、食品の摂取量も異なること、③ICRP-56 報告等では各年齢階級の線量係数を代表年齢を使用して網羅的に提示していること、④評価対象の年齢階級を3から5に増加させても、評価に特に煩雑さを与えることにはならないこと、等の理由から、これら階級も評価対象にすることが適当である。なお、本研究ではICRP 報告の7-12歳及び12-17歳に相当する年齢階級をそれぞれ「少年 (10歳)」及び「青年 (15歳)」と定義する。

3) 食品中の核種濃度  $C_{m,i}$  : 原則として、各食品群の測定値の最大値を使用した。

4) 食品の摂取期間  $t_m$  : 摂取期間は、農畜水産食品の生育、生産、収穫、漁獲等の期間及びその後の冷蔵、冷凍、加工処理等の期間に対応する。これらの期間は、食品の種類及びその保存方法により大きく異なる。本研究では防災指針と同様基本的には摂取期間を1年とする。しかし、生鮮食品等では、冷凍保存や加工処理を行わないまま摂取する機会も少なくないので、1年よ



り短い適切な摂取期間を設定することが必要になる。

5) 食品の一日あたりの摂取量  $M_m$ : 上記評価対象の年齢階級ごとに異なるが、主として栄養調査結果に基づいた。しかし、乳児については、防災指針と同様、各食品ごとに幼児の 1/2 を使用する。ただし、乳児については 600 g を用いる。次に、幼児については、防災指針の場合成人の 1/2 ずつの摂取量を用いているが、本研究では「平成 10 年国民栄養調査結果（健康・栄養情報研究会編、国民栄養の現状、第一出版、2000。以下「栄養調査結果」と略称）における「1～6 歳」の年齢階級の値を使用する。このため、成人の摂取量の 1/2 よりもそれぞれ多くなる。また、少年（10 歳）及び青年（15 歳）に対しては、栄養調査結果の「7～14 歳」及び「15～19 歳」の各値を適用する。さらに、成人については「20～29 歳」以上の各年齢階級の摂取量を調査人数で加重した平均値を使用する。

6) その他：市場希釈係数  $f_{m_0}$ 、及び除染係数  $f_{d_0}$  については、明確でない点も少なくないため基本的には「1」を使用するが、参考までに関連する報告値等を示す。

#### 4. 緊急時に即応する平常時の事項に関する研究

##### 4. 1. 測定体制の整備に関する事項

まず、測定に係る事前の事項としては、原子力施設周辺地域を中心とする農畜水産食品の生産、流通、保管等の後の消費及び特産品等の把握、食品の入手経路、入手方法、地図、試料の採取記録（試料名、指採取日時、採取者、採取地、採取方法、入手先、保管、数量等）及びその記録用紙の準

備、採取機材の点検、整備、放射線・放射能の平常レベルの事前把握等が重要である。

##### 4. 2. 測定に必要な資機材の整備

次に、測定の資機材等に係る事項としては、即応のための機器の維持、管理（点検、修理、校正、更新等）、分析、測定に係る資機材の事前の整備等が重要である。

##### 4. 3. 測定、評価のための研修および訓練

平常時と異なる緊急時の測定法及び線量評価法を担当者は事前に習熟しておくため、適切な機関での研修や自己研鑽のほか、定期的な訓練を実施しておくことが重要である。

##### 4. 4. 各種資料の収集及び調査研究の実施

国際機関として ICRP, IAEA, WHO, FAO 等、また国内機関としては原子力安全委員会を中心として、そのほか文部科学省、厚生労働省、農林水産省、環境省等の関連部局、専門分析機関、関連学会等からの放射線防護に係る最新情報の収集に努める。一方、測定及び線量評価に係る調査研究を進めて、課題の解決や改善に努めること、等の重要性を述べた。

#### D. 考 察

##### 1. 食品の測定及び被ばく線量評価の開始と対応に関する研究

測定及び線量評価の開始と終了時期のうち、とりわけ終了時期に関しては、環境中へ放出された放射性物質の種類、放射能量、地域への拡散等、事故の規模により大きく異なると考えられる。しかし、放射性物質の食品への移行や蓄積は比較的長期に及ぶので、本研究のように食品に特化した放射

能の測定と線量評価においては、食品中の放射能レベルにもよるが「原子力緊急事態」解除宣言後も暫くの間、測定及び線量評価の継続実施が必要であろう。

なお、輸入食品の現状に鑑み、国内のみならず諸外国における緊急事態への対応も考慮する必要がある。

## 2. 緊急時における食品中の放射能の測定に関する研究

緊急時、とりわけ初期の測定においては精度よりも迅速性が要求される。しかし、線量評価に重要な Sr-89 や 90 等のベータ線放出核種に関する科学技術庁の分析測定法（昭和 58 年 3 訂）では、結果が得られるまでに約 1 ヶ月を要する。この点、測定に液体シンチレーション計測法が適用可能であれば、比較的短時間で測定を終了させることができる。さらに、前処理に固相抽出ディスク法の適用が可能になれば、一層迅速な測定が可能になると考えられる。この点は今後の検討課題である。次に、ウラン及びプルトニウムに対しては、ICP-MS（誘導結合プラズマ質量分析計）法を用いると、従来の方法に比べて迅速、高精度ではあるが、そのための新たな予算措置、技術の習得等の課題もある。

## 3. 緊急時における食品摂取に起因する被ばく線量評価に関する研究

線量評価の基礎になる各パラメータには変動や補正の要因も少なくないうえ、不明な点も数多い。不明な点はそのまま今後の課題である。

事故後の時間の経過によっては、対象の核種や品目が異なるが、迅速な評価は迅速

な測定結果に依存する。このため、とりわけ初期には測定結果が限定されるので、一般的な評価は困難である。

パラメータのうち、食品中の核種濃度  $C_{m,i}$  は、最大の被ばく線量を与える場合を仮定して原則的に最高値を基に評価するため、過大評価になる可能性が高い。また、食品の摂取期間  $t_m$  については、上記（3.2.4）のとおり、防災指針と同様 1 年を基本に用いるが、冷凍等長期保存を行わないまま摂取する機会も少なくない生鮮食品等では、1 年より短い期間を適宜用いることにした。摂取期間は、食品の種類及び保存方法等により大きく異なり、本研究においてはそれぞれに対応する適切な期間の設定は困難であった。しかし、摂取期間は被ばく線量の評価に大きく影響する要因であり、今後の検討課題である。なお、1 年より短い摂取期間の食品を、1 年間摂取するという仮定では線量が過大評価になるので、注意が必要である。次に、食品の 1 日摂取量  $M_m$  は、基本的には栄養調査結果に基づいたが、摂取は摂取量及び品目を含めて、年齢、性別、個人差、都市と農村、特産品、季節、天候、生産量のほか、価格等の社会的要因により大きく異なる。したがって、防災指針では安全性を考慮して、摂取量は平均値を基に線量を評価しているが、摂取の多様性を考慮すれば、本研究に照らしてむしろ平均値を示し、摂取量はその 2 倍程度につき評価するのが適当と考えられる。さらに、市場希釈係数  $f_{m,i}$  については、測定品目と同種の非汚染品目が流通経路を経て他の地域から供給されることがなく摂取（消費）される場合、すなわち、係数は 1 を用いることを基本にした。しかし、施設周辺地域の生

産、流通、保管等の後の消費等の実態は容易には明らかにならない一方、緊急時には地域産品の摂取（消費）及び出荷等が制約される可能性もある。このため、一般消費者に対して、適切な市場希釈係数を適用することは容易でない。被ばく線量の評価において、市場希釈は重要なパラメータである。しかし、パラメータにはきわめて複雑な要因を含んでおり、本研究ではその要因の解明には至らず、このため、適切な係数の算定式も提示するには至らなかった。この点は今後の課題である。なお、除染係数  $fd_p$  は、实际的に摂取する食品中の核種の摂取量と密接に関連して線量評価に重要ではあるが、“除染係数”として提示するには今後さらなる検討が必要と考え、本研究では文献中からいくつかを参考として例示する程度に留めた。

#### 4. 緊急時に即応する平常時の事項

平常時には、上記の測定及び評価の各事項のみならず、関連する指揮、連絡系統、実施体制等の整備、把握も重要である。また、全般的な理解の基礎として放射線防護に係る放射線の物理学的、化学的及び生物学的な基礎事項の研究も重要である。

なお、本研究における測定や評価は、炉規法の対象外である放射線障害防止法、医療法、薬事法等放射線関連施設からの放射性物質の異常漏洩の場合にも、施設の種類、性質、状況及び規模等に応じて、適宜、準用し得るであろう。

#### E. 結 論

#### 1. 食品の測定及び被ばく線量評価の開始と対応に関する研究

測定及び評価は防災指針と異なり、第1段階よりやや遅れて開始する。しかし、その終了時期は第1段階とほぼ一致する。本研究では、指針との違いを基にこの期間を「初期」と定義した。その後の開始及び終了時期は指針と概ね一致するが、指針と区別するため「後期」と定義した。放射性物質の食品への移行、蓄積は比較的長期に及ぶので、測定及び線量評価は「原子力緊急事態」解除宣言後も暫くの間、継続実施することが必要になるであろう。

#### 2. 緊急時における食品中の放射能の測定に関する研究

簡易測定としてサーベイメータはきわめて有用であるが、検出器により感度、測定範囲、エネルギー特性が異なるので、使用目的や測定しようとする放射性核種、放射線強度に応じた機器を選定することが重要である。また、詳細な核種分析法として、まず、ガンマ線放出核種に対しガンマ線スペクトロメトリー法（科学技術庁、平成4年制定）はきわめて有用である。次に、ベータ線放出核種のストロンチウム-89, 90 に対しては、放射化学分析法（同、昭和58年3訂）を適用するが、分析結果を得るまでには比較的長時間を要する。この点、迅速性が期待される液体シンチレーション計測法につき考察を行った。さらに、アルファ線放出核種のウラン及びプルトニウムの分析法については、それぞれ「ウラン分析法」（同、平成8年3月1訂）及び「プルトニウム分析法」（同、平成2年11月、1訂）を適用するが、さらに迅速、高精度な

ICP-MS 法の有用性や課題についても検討を行った。

### 3. 緊急時における食品摂取に起因する被ばく線量評価法に関する研究

まず、測定結果に基づく食品中の核種濃度、摂取期間、一日摂取量、生産、流通、保管等の後の消費に係る市場希釈係数、調理加工処理に係る除染係数及び核種の物理的崩壊定数、に基づき線量算定の基礎式を示した。その際、食品（群）としては、初期に6食品（群）、また、後期にはこの6食品（群）を含む12食品（群）を対象にした。一方、評価対象者は防災指針における乳児、幼児及び成人に加えて幼児及び成人間の年齢階級、すなわち、ICRP-56 他報告における7-12歳及び12-17歳に対応して（それぞれの代表年齢は10歳及び15歳）（日本における対象人口が1000万人以上）、それぞれ「少年（10歳）」及び「青年（15

歳）」に区分した。そのほか、各パラメータにつき、その変動や補正要因の検討を行った。このうち、食品（群）の摂取量は主として栄養調査結果に基づいたが、関連する変動要因やその補正要因はきわめて複雑、多様なため、明確でない点も少なくなく、今後の検討が必要である。また、生産、流通、保管等の後の消費に係る市場希釈係数や調理加工処理に係る核種の除染係数についても、今後さらに詳細な検討が必要である。

### 4. 緊急時に即応する平常時の事項

緊急時に即応するための平常時に整備しておく事項として、対象食品の選定、把握、食品の入手経路、施設周辺地図、試料の採取記録、平常時の把握、資機材の確保、機器の校正、維持、管理、国内外の関連する情報の収集、技術の研鑽、訓練の実施、調査研究等、多数の事項が重要である。

# 分 担 研 究 報 告

原子力施設の事故等緊急時における食品中の放射能の  
測定と安全性評価に関する研究

食品の測定および被ばく線量評価の開始と対応に関する研究

分担研究者 杉山英男（国立公衆衛生院放射線衛生学部）

出雲義朗（国立公衆衛生院放射線衛生学部）

研究要旨 原子力発電所等の原子力関連施設の事故等により放射性物質あるいは放射線が施設外に放出される可能性が生じる事態、すなわち放射線緊急時における食品の安全性を評価するための一環として、本分担研究では、緊急事態発生後における食品の放射能測定および被ばく線量評価の開始ならびに対応について各種の指針等をもとに文献的検討を行った。

わが国では、緊急時における指針等として、「原子力災害対策特別措置法」、「原子力施設等の防災対策について（以下、防災指針とする）」（原子力安全委員会）、「緊急時環境放射線モニタリング指針」（原子力安全委員会）などが整備されている。このため、本研究全体をとおして、これら指針等との整合性に留意することを念頭において測定および被ばく線量評価（安全性評価）に関する研究を進めた。その結果、本研究では食品に特化することから、事故情報収集ならびに食品への汚染過程を考慮して、緊急事態発生後に大気環境等の調査が速やかに実施される第1段階のモニタリング（防災指針）の中間程度の時点から対応を開始することとした。ただし、終了時点は第1段階と概ね一致することとして、この期間を「初期」とした。その後実施される対応は、第2段階のモニタリング（防災指針）とほぼ同様な期間として「後期」と定義した。測定・評価のための対象食品は飲料水を除き、「国民栄養の現状（平成10年国民栄養調査結果）」にある各種食品を可能な限り網羅する方向として、被ばく線量評価に資するために食品群を再区分した。測定法については、初期におけるサーベーターによる放射性ヨウ素のスクリーニングや放射性ヨウ素および放射性セシウムの Ge 半導体検出器を用いたガンマ線スペクトロメトリならびにウラン同位体あるいはプルトニウム同位体への ICP-MS 法の適用等が必要である。安全性評価については、初期では「飲食物摂取制限に関する指標」への対応、また、後期では施設周辺住民の経口摂取による正確性の高い被ばく線量評価が必要である。

## A. 研究目的

原子力発電所等の原子力関連施設において事故等が発生し施設内または施設外への放射性物質の放出や放射線の漏洩あるいはその可能性が生じる事態、すなわち放射線緊急時、においては環境放射線や各種環境試料中放射性物質のモニタリングとともに食品の汚染状況の把握ならびにその安全評価が必要とされる。

これまで、わが国では、いわゆる放射線緊急時におけるモニタリングとしては 1954 年にビキニ環礁における水爆実験による汚染魚の放射能検査の実施、さらに、1960 年代における旧ソ連ならびに中国による大気圏内核爆発実験による放射性降下物の影響調査が全国規模で行われた。その後、1986 年 4 月に旧ソ連チェルノブイリ原子力発電所で発生した事故は旧ソ連やヨーロッパなどを中心に放射能汚染をもたらし、その影響はわが国のモニタリングでも検出され北半球の広範な地域の汚染が確認された。この事故をうけてわが国の環境放射線モニタリング体制は全国規模に拡大されて人的、機器的にもさらに一層の質の充実が図られた。

このような状況のなか、1999 年 9 月には国内のウラン加工施設で臨界事故が起こり、わが国の原子力関連施設において放射線被ばくによる初の犠牲者が生じた。この事故はこれまでの原子力発電所を主とするわが国のモニタリング体制に教訓をあたえ、その体制の迅速な見直しが行われ、「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」（以下「原子炉等規制法」とする）の改正、施行（平成 12 年 7 月）および災害対

策基本法の特別法として「原子力災害対策特別措置法」（以下「原災法」とする）が新法として制定、施行（平成 12 年 6 月）された。原子炉等規制法では、加工事業を含めた原子炉等施設の施設定期検査制度や保安規定の遵守状況の検査の実施等が整備された。原災法では、従来の原子力発電所、再処理施設等に加えて核燃料加工施設、研究炉へ対象施設を拡大し原子力事業者の責務を明確化した。また、初期動作の迅速化を図るため緊急事態には内閣総理大臣を長とする「原子力災害対策本部」および現地には「原子力災害現地対策本部」を設置することとした。同時に、新設するオフサイトセンターには「原子力災害合同対策協議会」を設けて国と自治体との連携を確保する等、その緊急時対応体制の強化が図られている。さらに、原災法の制定をうけて、技術的、専門的事項を扱う原子力安全委員会指針の「原子力発電所等周辺の防災対策について」は「原子力施設等の防災対策について」（以下「防災指針」とする）と改訂（平成 12 年 5 月一部改訂）され、それを踏まえて原子力安全委員会指針の「緊急時環境放射線モニタリング指針」（以下「緊急時モニタリング指針」とする）も改訂（平成 12 年 8 月一部改訂）された。

以上のように、これまで、わが国がその対応を迫られた大規模な放射線緊急事態は個々にその性格を異にしており、専門家の間でもこれらの事象の発生は想定外であったとの認識が支配的であった。一方で、このような状況下においてわが国の放射線モニタリングはこれら緊急事態に対して事象発生時点におけるその対応能力を最大限に機能させてきたといえる。さらに、これら

の経験を契機として緊急時におけるモニタリング体制ならびに防災対策について再度の強化が図られてきている現況にある。

本調査研究の目的は、原子力施設の事故等による放射線緊急時におけるモニタリングの中でも、とくに食品に特化してその安全性について迅速な確認・評価が可能となる対応について整備することにある。とくに、本分担研究においては、放射線緊急事態における食品の「測定」と「被ばく線量評価（安全性評価）」の開始と対応について、さきに示した原災法あるいは各種の指針等との関連性を重視して文献的検討を行った。

## B. 研究方法

わが国では、原子力災害時における防災対策については上記の法律や各種の指針等をもとにした大きな枠組みの中でその体制が整備されつつあり、従って、本研究においてもこれらの指針等との整合性に留意することが必要とされよう。このため、本研究にあたっては主に原子炉等規制法、原災法、防災指針および緊急時モニタリング指針等をもとにして乳類、農畜産物あるいは魚介類などの食品の測定および被ばく線量評価の始動および終了に関する検討を行った。なお、仮に大規模な緊急時放射線モニタリングが実施されるような状況において、本研究結果の実効性についても十分な思慮が求められよう。

## C. 結果および考察

放射線緊急時における対策内容の多くは原災法、防災指針あるいは緊急時モニタリ

ング指針等で提示されている。従って、食品に特化した放射能測定と安全性評価に関する始動および終了に関する研究も基本的には防災指針や各種の指針等と整合性を保つことが現実的かつ効果的と考える。

### 1. 食品の放射能測定の開始と終了

原子力施設の事故等緊急時の初期においては、事故の内容および周辺環境の放射性物質ならびに放射線に関する情報収集が優先される。食品摂取に起因する被ばく線量評価は住民による摂取までに時間的余裕があるものの、汚染の実態把握および線量評価に資するための食品の放射能測定は早い時点から開始することが理想である。

しかし、一般に、緊急時という用語は時に概念的であり必ずしも内容を明確に表すものではない。従って、本研究では、原災法で放射線量等により規定する「原子力緊急事態」を緊急時とすることとして、これ以降に食品の放射能測定を開始する。すなわち、緊急時の判断基準としては、施設敷地境界付近の線量率が1地点で10分以上 $500\mu\text{Sv/h}$ 以上を検出するか、あるいは2地点以上で $500\mu\text{Sv/h}$ 以上を検出する場合、さらに臨界事故の発生等とする。この事態においては、原子力災害対策本部が設置されて防災指針や緊急時モニタリング指針等による対策が実施されることとなる。従って、食品に特化した放射能の測定においても原子力災害対策本部等の判断や措置に十分留意することが必要となる。

なお、食品への放射性核種の移行・蓄積特性は各種食品ならびに各放射性核種により異なるため、食品衛生の観点からも測定および安全評価については比較的長期に及



ぶ継続実施が望まれる。

## 2. 食品の汚染実態把握と被ばく線量評価への対応

防災指針等では、緊急時の環境放射線モニタリングは、①原子力緊急事態発生直後から迅速に開始する第1段階のモニタリングと、②その後、周辺環境における全般的な影響の評価、確認を目的とする第2段階のモニタリングに区分されている。一方、本研究では、食品に特化したモニタリングについて検討することが主な目的であり、経口摂取までに時間的余裕が見込まれること、ならびに対策本部等による事態の情報に留意する必要性から「初期」のモニタリングと「後期」のモニタリングの2つに区分する。ここで、初期については第1段階の中間程度の時点から次の段階に至るまでの期間とし、また、後期については第2段階に概ね相当する時期として防災指針との整合性に留意する。

初期および後期のモニタリングでは施設の特長や緊急事態の形態によって対象となる放射性物質あるいは食品群が異なることへの考慮が必要である。

すなわち、放射性物質または放射線の放出形態としては次の事態等が想定される。

①原子炉施設等からは放射性のクリプトンやキセノン等の希ガス、ヨウ素、さらにセシウムやストロンチウムなどの核分裂生成物

②-1 核燃料加工および濃縮施設においては火災、爆発、漏えい等によるウラン

②-2 核燃料加工施設における臨界事故では中性子線およびガンマ線、核分裂生成物、さらに中性子線照射により2次的に生成する誘導 $\gamma$ 線放出核種

③再処理施設事故においてはプルトニウム同位体および超ウラン元素のアルファ核種ならびに核分裂生成物

したがって、測定の対象核種としては、①の原子炉施設等においては初期のモニタリングでは放射性ヨウ素ならびに放射性セシウムが重要となる。本研究では、食品汚染の迅速な実態把握が必要であり、飲食物摂取制限措置等の防護対策に資するか否かの判断を重視する上から、とくにサーベイメータを用いた I-131 のスクリーニング法について検討がなされている（本分担研究；緊急時における食品中の放射能の測定に関する研究）。また、後期のモニタリングでは放射性セシウムやストロンチウムなどの核分裂生成物が重要となる。しかしながら、ストロンチウムの分析は煩雑であり所要時間も長い。このため、被ばく線量評価においては緊急時環境放射線モニタリングで得られた環境試料中のセシウムとストロンチウム存在比をもとにして、Ge 半導体検出器を用いたガンマ線スペクトロメトリによる放射性セシウム濃度で代表させることも一方法である。なお、放射性希ガスは不活性ガス状あるために食品への沈着あるいは移行、蓄積は小さい。②-1 の核燃料加工および濃縮施設の事故では初期のモニタリングからウランが、同じく、②-2 の臨界事故では初期のモニタリングから核分裂生成物が測定、評価対象となる。また、③の再処理施設事故においてはプルトニウム同位体および超ウラン元素のアルファ核種ならびに核分裂生成物。本研究では、ウランおよびプルトニウムの迅速分析法として ICP-MS の有用性が検討されている。（本分担研究；緊急時における食品中の放射能の測定に関

する研究)。さらに、状況に応じては食品に含まれるナトリウムなど安定元素の中性子放射化生成物にも留意が必要となろう。

測定・評価の対象食品は、本研究が食品に特化することから飲料水を除き、初期のモニタリングでは、放射性核種の直接的沈着の可能性のある葉菜類（野菜類）や果実類、乳幼児等への影響を判断の上から乳類、出穂期の玄米あるいは生鮮魚介類等が重要となる。さらに、原子力施設周辺で生産される特産品も重要な対象食品と考える。また、後期のモニタリングは、基本的に迅速性より正確性が重要となる。評価対象食品としては、「国民栄養の現状（平成 10 年国民栄養調査結果）」に基づき再分類した食品群について、汚染の可能性のある各種食品を可能な限り網羅することとし、さらに被ばく線量評価に資する目的から食品群を再分類する（本分担研究；緊急時における食品摂取に起因する被ばく線量評価に関する研究）。なお、この段階においても地域特産品の放射能測定と安全性評価は必要と考える。

これらの対象食品は入手先とともに事前に採取計画を作っておくことが望まれる。また、同様に測定機関についても事前に確保しておくことが必要である（本分担研究；緊急時に即応する平常時の事項に関する研究）。

なお、防災指針はわが国の原子力施設における異常事象あるいは緊急事態に着目して、その周辺における防災活動の実施を技術的、専門的事項について検討したものである。一方で、諸外国において重大な緊急事態が発生した場合、わが国への輸入食品についても上記の放射能モニタリングと同

種の対応が必要となることが生じる可能性のあることを付記する。

### 3. 被ばく線量評価の開始

初期のモニタリングでは、測定対象となる食品の種類と試料数は限られるが住民の被ばく線量低減化の観点から、また、飲食物摂取制限等の措置に資するための線量評価を早急に実施することが必要となる。これと並行して、本研究では、後期モニタリングで実施する多種類の食品の放射能測定結果をもとにして、摂取量や流通等の諸要因をも考慮に入れた正確性の高い被ばく線量評価を行うことも大切な課題であることを提示したい。この場合、食品への核種の移行、蓄積は特定の核種あるいは食品により特性が異なることから、個々について時間的な差異が生じる可能性が想定される。したがって、「原子力緊急事態」解除宣言後も防災指針との整合性に留意しつつ、食品の安全確保の上からさらに1年間程度のモニタリングを継続実施する必要性のある場合の重要性を考慮する。

### D. 結 論

原子力施設の事故等緊急時における食品に特化した放射能測定と安全性評価について、その開始、終了および対応について検討を行った。その結果、原災法および防災指針等で規定する「原子力緊急事態」に設置される原子力災害対策本部の情報ならびに措置等に留意して測定および安全性評価を開始することとし、「原子力緊急事態」解除宣言後も、防災指針との整合性あるいは食品中の放射能濃度の推移を判断して比較的長期間モニタリングを継続実施すること

とする。

本研究では、モニタリングは前期と後期の2区分に定義して、とくに後期においては、「国民栄養の現状」にある食品群を可能な限り網羅する各種食品の測定を目標として、その結果をもとにしてより正確性の高い施設周辺住民の経口摂取による被ばく線量評価を行う。

原子力施設の事故等緊急時における食品中の放射能の測定と  
安全性評価に関する研究

緊急時における食品中の放射能の測定に関する研究

分担研究者 樋口英雄（財団法人 日本分析センター）、  
平井保夫（茨城県公害技術センター放射能部）  
村山三徳（国立医薬品食品衛生研究所食品部）  
出雲義朗（国立公衆衛生院放射線衛生部）  
杉山英男（国立公衆衛生院放射線衛生部）

研究要旨 原子力施設等に放射性物質や放射線の異常な放出やそのおそれがある場合における、食品の安全性を確保するための研究の一環として、本研究では、「原子力施設等の防災対策について」（平成 12 年 5 月一部改訂）、「緊急時環境放射線モニタリング指針」（平成 12 年 8 月一部改訂）、科学技術庁、放射能測定法シリーズ等を基にしながら、原子力施設等の事故発生後の初期、後期に対応し、それぞれの時期に必要な食品に特化した放射能測定法・分析法の研究を行った。

その結果として、初期対応用の NaI(Tl)シンチレーション式サーベイメータにより、牛乳で 100Bq/L、葉菜で 1000Bq/kg の I-131 が測定できることが判った。これはスクリーニングレベルに相当する放射能濃度（牛乳では 300Bq/L、葉菜では、2000Bq/kg）以下である。一方、マリネリ容器（2L）に牛乳・乳製品、野菜、海草、魚、穀類、肉類、卵等の食品試料を入れ、相対効率 15%のゲルマニウム半導体検出器により 10 分間測定した場合、I-131 の定量可能レベルは、18、36、18、18 (Bq/kg, L) で、Cs-137 では、40、80、40、40 (Bq/kg, L) であった。

事故の後期の放射能測定では I-131、Cs-137 だけでなく、Sr-90、ウラン、プルトニウムの迅速分析も要求される。このため、Sr-90 の分析には、発煙硝酸法に加え、Sr-90 の壊変生成核種である Y-90 の溶媒抽出、チェレンコフ光測定による迅速分析法も採用した。ウラン、プルトニウムの分析では最近、迅速・極微量分析に用いられている ICP-MS を用いた分析法を検討した。特に、プルトニウムでは、試料の分解にマイクロウェーブ分解装置を用いた迅速分析法を検討した。これにより分析時間は大幅に低減でき、従来の  $\alpha$  線スペクトロメトリによる定量では結果が得られるまで一週間程度要したのに比べ 24 時間程度であった。