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

平成１２年度厚生科学研究費補助金特別研究事業報告書

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

厚生科学研究費補助金（厚生科学特別研究事業）総括研究報告書

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、葉采、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、実際的な計測法、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。

$$A_{m,i} = \int_0^{t_m} C_{m,i} \cdot M_m \cdot fm_m \cdot fd_m \cdot \exp(-\lambda_i \cdot t)dt$$

$$= \frac{C_{m,i} \cdot M_m \cdot fm_m \cdot fd_m}{\lambda_i} [1-\exp(-\lambda_i \cdot t_m)]$$

$A_{m,i}$ 食品 m の摂取に起因する核種 i の摂取量（Bq）

$C_{m,i}$ サンプリ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)

fm_m 食品 m の市場希釈係数（-）

fd_m 食品 m の調理による除染係数（-）

λ_i 核種 i の物理的崩壊定数（d^{-1}）

・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。

$$A_{m,i} = C_{m,i} \cdot M_m \cdot fm_m \cdot fd_m \cdot t_m$$

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、乳については 600ｇ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 fm_m、及び除染係数 fd_m 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

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イ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、全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 fm_m 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_mは、実際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鑽も重要である。

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。

厚生科学研究費補助金（厚生科学特別研究事業）分担研究報告書

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。その後に実施される対応は、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

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 μSv/h 以上を検出するか、あるいは 2 地点以上で 500 μSv/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性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γ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がある葉菜類（野菜類）や果実類、乳幼児等への影響を判断する上から乳類、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必要となる。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。

厚生科学研究費補助金（厚生科学特別研究事業）分担研究報告書

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摂取に起因する被ばく線量評価に関する研究

分担研究者
河村 日佐男　（放射線医学総合研究所人間環境研究部）
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）
平井 保夫　（茨城県公害技術センター放射能部）
松浦 賢一　（日本原子力研究所東海研究所保健物理部）
出雲 義朗　（国立公衆衛生院放射線衛生学部）
杉山 英男　（国立公衆衛生院放射線衛生学部）

研究要旨　緊急時の初期および後期において測定された各種核種濃度の測定値を使用し、公衆がその食品を摂取することにより受ける可能性のある内部被ばく線量を評価するモデルパラメータについて検討した。

「原子力施設等の防災対策について」では、乳児、幼児および成人の 3 年齢階級(区分)を対象にしており、幼児と成人の間の階級は対象にされていない。しかし、これら階級の線量係数や食品の摂取量は異なること等の理由により、本研究では「乳児」、「幼児」、「少年」「青年」および「成人」の 5 段階の年齢階級に対する評価を行うこととした。また、国際放射線防護委員会(ICRP)の決定集団の考え方に基づき、集団中で最も高い線量を受けると考えられる人々を主な対象とした。このため、評価対象食品について、その品目の摂取量を全て当該食品によってまかなうグループを、主として被ばく線量の評価対象集団とした。被ばく線量を過小評価することを避けるため、評価対象食品中の核種濃度は、原則として各食品群あるいは品目における測定値の中から最大値を使用すること、食品の摂取期間は全ての食品について基本的に1 年間を使用すること、また、食品の市場希釈係数や調理による除染係数も1を使用することとした。食品の摂取量は、最新の「国民栄養の現状」(国民栄養調査結果)に基づく全国平均的な個人を仮定した場合の推定値を提示した。核種の経口摂取による実効線量への換算係数は ICRP の最も新しい年齢依存線量係数を基にして、とくに、ヨウ素については日本人の代謝特性を考慮して適用を図った。

過大評価にならない、より現実的な線量評価や、一般的な消費者に関する線量評価を行うために、評価に使用するモデルやパラメータ値の変動要因について考察した。具体的には、食品中の核種濃度が最も高くなる時点、食品の摂取量に対する種々の変動要因、収穫した食品の保存可能期間、流通過程における市場希釈係数の設定、調理加工処理における核種の除去率、線量係数の日本人への適合性等について調査検討した。

A．研究目的

本研究は、緊急時の初期および後期において測定された食品中の各種核種濃度の測定値を使用し、公衆がその食品を摂取することにより受ける可能性のある内部被ばく線量(各放射性核種に起因する実効線量および放射性ヨウ素の場合には甲状腺等価線量も合わせて)を評価する方法を検討することを目的とする。

本研究においては、個別食品に関する放射性核種の分析測定値に基づき、一般公衆がこれらの食品を摂取する場合の安全性評価を目標としているため、食品摂取量等についても可能な限り実際的な値を用いることとするが、同時に緊急時における食品中濃度の介入レベルの観点での評価にも対応できるよう留意する。

B．研究方法

本研究では、緊急時において測定された初期および後期における各種食品中の放射性核種濃度の測定値を入力データとし、評価対象食品中核種の人体への移行経路を考慮して、内部被ばく線量評価の基礎式を作成する。また、線量評価に必要なパラメータを検討するとともに、これらの基礎式やパラメータについて考察する。

本研究における被ばく線量評価の方法は、原子力安全委員会による「原子力施設等の防災対策について（以下「防災指針」と記述する）」[1]、「環境放射線モニタリングに関する指針（以下「環境放射線指針」と記述する）[2]および「緊急時環境放射線モニタリング指針（以下「緊急時指針」と記述する）」[3]との整合性に留意する。ただし、本研究では、個別食品に関する放射性核種の分析測定値に基づく一般公衆の被ばく評価を目的として線量を推定する。したがって、緊急時等の状況における食品中濃度の誘導介入レベルの設定などの場合とはやや異なり、食品摂取量等についても可能な限り現実的な値を用いることにする。他方、「防災指針」、「緊急時指針」との整合性の観点から、摂取限度等との対比も容易に行えるように考慮する。

本研究では、ICRP Publ. 43[4]の決定集団の考え方に基づき、集団中で最も高い線量を受けると考えられる人々を主な対象とする。このため、評価対象食品について、その品目の摂取量を全て当該食品によってまかなうグループを、主として被ばく線量の評価対象集団と仮定する。なお、この評価対象集団以外の一般消費者についても、食品の摂取期間、流通過程における市場希釈、調理加工処理における核種の除染・除去等の因子について検討する。

防災指針では、乳児、幼児および成人の 3 年齢階級(区分)を対象にしており、したがって、幼児と成人の間の階級(ICRP Publ. 56[5]等における 7-12 歳および 12-17 歳に相当；それぞれ代表年齢は 10 歳および 15 歳)は対象にされていない。しかし、我が国におけるこれらの年齢階級の人口は 1000 万人以上であること、これら階級の線量係数は幼児および成人に関する値とはそれぞれ異なること、これら階級は幼児および成人と生理学的にも大きく異なり、食品の摂取量も異なること、ICRP Publ. 56[5]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、評価対象年齢階級が 3 から 5 に増加しても、評価には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と考える。そこで、本研究ではICRP報告における7-12歳および12-17歳をそれぞれ「少年（10 歳)」「青年（15歳)」と区分し、「乳児」、「幼児」、「少年」、「青年」および「成人」の 5 段階の年齢階級に対する評価を行う。

線量換算係数については、ICRP の最も新しい経口摂取に関する各核種の年齢依存線量係数(核種の単位摂取量あたりの預託実効線量)を基にし、ヨウ素については日本人の代謝特性を考慮して適用をはかる。

C．研究結果

1． 被ばく線量評価

1.1 被ばく線量評価基礎式

本研究では、評価対象食品がサンプリングされた時点と同時期に収穫され、その後、保管、摂取された場合の被ばく線量を、5段階の年齢階級(乳児、幼児、少年、青年および成人)毎に評価する。この場合、食品 m の摂取に起因する核種 i の摂取量 $A_{m,i}$は、$C_{m,i}$ が収穫された時間すなわちサンプリングされた時間を t= 0 とすると、以下の式で与えられる。

$$A_{m,i} = \int_0^{t_m} C_{m,i} \cdot M_m \cdot fm_m \cdot fd_m \cdot \exp(-\lambda_i \cdot t)dt = \frac{C_{m,i} \cdot M_m \cdot fm_m \cdot fd_m}{\lambda_i}\left[1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_m)\right] \quad (C.1)$$

ここで、

$A_{m,i}$: 食品 m の摂取に起因する核種 i の摂取量(Bq)

$C_{m,i}$: サンプリ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 m の摂取期間(d)

M_m ： 食品 m の一日あたりの摂取量(kg/d)

fm_m: 食品 m の市場希釈係数(-)

fd_m: 食品 m の調理による除染係数(-)

λ_i ： 核種 i の物理的崩壊定数(d^{-1})

である。半減期が比較的短い核種については、サンプリング時における評価対象食品中の核種濃度は、サンプリング時から測定時の間の物理的崩壊の補正を行う必要がある。なお、物理的減衰が無視できる核種の場合、核種 i の摂取量は以下の式で与えることができる。

$$A_{m,i} = C_{m,i} \cdot M_m \cdot fm_m \cdot fd_m \cdot t_m \quad (C.2)$$

(C.1)式および(C.2)式は、サンプリング時に収穫された食品を評価対象としているため、汚染した食品が継続して供給される可能性がある場合は、放射性核種濃度が十分に低くなるまで測定を継続する必要がある。

これらの食品の摂取による内部被ばく線量 Hは、以下の式で与えられる。

$$H = \sum_m \sum_i K_i \cdot A_{m,i} \quad (C.3)$$

ここで、

H: 本事故に起因する実効線量(mSv)

K_i ： 核種 i の経口摂取による実効線量への換算係数(mSv/Bq)である。

1.2 食品群の分類

本研究の初期のモニタリングにおいては、核種の直接沈着の可能性が大きいもの、摂取量の多い食品、すなわち玄米、葉菜（キャベツ、ほうれん草、はくさい等)、果花菜（きゅうり、トマト等)、果実（柑橘類、リンゴ等)、生乳、生鮮魚介類、海草類、当該サイト周辺で日干しされている魚介類等を主な評価対象とする。また、後期のモニタリングにおいては、より正確な評価をするために、初期のモニタリング対象品目のほかに、いも類、肉類、卵類等を評価対象品目として追加する。具体的な分類方法およびその摂取量については、「C. 研究結果」2.3 項を参照されたい。なお、評価対象区域における特産品等重要となる食品がある場合は、当該食品を個別の食品として評価することが適当である。

1.3 評価対象核種

本研究では、主として原子炉等の事故による核種の放出を想定しているので、I-131、Cs-137、Sr-90、ウラン同位体、プルトニウム同位体等の核種が測定される（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」参照)。これらの核種のほかに、食品の摂取に起因する内部被ばく線量を評価すべき核種として I-133、Cs-134 およびSr-89 があげられる。主な燃焼度について、一般に、I-131、Cs-137および Sr-90 に対するこれらの核種の同位体比を表 C.1 に示す[6]。事故が発生した炉の燃焼度が明らかな場合は、その燃焼度に最も近い燃焼度の放射能比を I-131、Cs-137およびSr-90 濃度(サンプリング時換算）に乗じることにより、各食品中の I-133、Cs-134および Sr-89 濃度を推定することが可能となる。なお、事故が発生した炉の燃焼度が明らかでない場合は、防災指針と同様に 30,000MWd/ton の放射能比を使用することとする。

2． 評価に使用するパラメータ値

2.1 評価対象食品 m 中の核種 i 濃度 $C_{m,i}$

評価対象食品 m 中の核種 i 濃度 $C_{m,i}$は、原則として各食品群あるいは品目における測定値の内の最大値を使用する。

2.2 食品 m の摂取期間 t_m

生育、生産、収穫等の期間および収穫された食品の摂取期間は、当該食品の保存可能期間と考えることができる。この保存可能各期間は食品の種類によって異なるが、漬け物や乾物にすることにより、長期保存が可能な食品も多い。また、最近は冷凍保存技術の向上等により、様々な食品の長期保存が可能となっている。

防災指針における飲食物摂取制限に関する指標介入レベルの算出では、食品の摂取期間として 1 年間を使用している[6]。本研究では、上記のような長期保存の可能性が考えられることから、食品 m の摂取期間 t_mには全ての食品について防災指針と同様に1 年間を使用することを基本とする。ただし、葉菜や果実等については、冷凍等の加工による保存を行わない場合には、収穫後比較的短期間で消費されることが考えられる。このような場合については、より短期間の摂取期間（保存可能期間）を設定することが可能である。

2.3 食品 m の一日あたりの摂取量 M_m

2.3.1 摂取量の推定

食品の摂取量は地域によって差があるため、平常時において評価対象となる地域における食品摂取量を把握しておくことが望ましい。しかし、その把握が十分でない場合が少なくないため、本研究では、評価対象者として全国平均的な個人を仮定し、その食品の摂取量の推定には主として「国民

栄養の現状」(平成10年国民栄養調査結果)[7]を使用した。この調査は毎年実施されており、刊行物より、食品群別、地域ブロック別、年齢群別、男女別に1人1日当たりの摂取量に関する全国的な値が利用できる。各年齢階級に関する平均的な食品摂取量の推定値を表 C.2 および表 C.3 に示している。なお、国民栄養調査結果で扱う食品群は、直接沈着あるいは経根吸収など放射性核種の汚染経路を考慮した食品区分とは一致しないため、食品群および品目を再構成して用いた。

(1)少年、青年、成人

「少年」および「青年」の代表年齢はそれぞれ 10 歳および15 歳であることから、それぞれに対し国民栄養の現状の分類における 7～14 歳および15～19 歳の年齢階級のデータを適用した。「成人」に対し、20～29 歳以上の年齢階級の摂取量を調査人数で重み付けした平均値を使用した。ただし、これらの年齢階級別のデータは食品群別に与えられており、品目別には全年齢の平均値のみが与えられている。このため、上述した方法によって得られた食品群別の摂取量を、全年齢の平均値によって品目別に割り振ることにより、各品目の摂取量を推定した。

(2)幼児

国民栄養の現状における 1～6 歳の年齢階級の摂取量を使用した。このため、防災指針における飲食物摂取制限指標の算出においては幼児の乳類以外の摂取量は成人の1/2[6]であるのに対し、本研究で使用するデータは全ての食品群について成人の 1/2 よりも大きい値となっている。ただし、指標算出においては乳類の摂取量は一日あたり500g としているのに対して [6]、本研究における摂取量（178.4g）は低い値となっていることに留意する必要がある。

(3)乳児

本研究では、乳以外の食品も摂取する離乳中あるいは離乳後の幼児を対象とする。乳以外の摂取量は摂取制限指標と同様に幼児の 1/2 と仮定し、乳の摂取量は同様に一日あたり 600g とする[6]。

2.3.2　摂取量の適用

2.1 項で示したように、本研究では各食品群あるいは品目における測定値の内の最大値を使用することを基本とする。初期のモニタリングにおいては、原則として以下の食品の摂取量を使用する。なお、過小評価になることを避ける場合は(　)内の食品群の摂取量を使用する。

- 玄米：米類（穀類）
- 果実類：柑橘類あるいはりんごなど（果実類）
- 野菜：ほうれん草、キャベツなど（野菜）
- 生乳：牛乳（乳類）
- 海草類：海草類
- 生鮮魚介類：生魚（魚介類）
- 当該サイト周辺で日干しされている魚介類：魚介（生干し、乾物）

なお、果実類および野菜で、測定した品目が表 C.2 に含まれていない場合は、測定を行った食品に対応する類似の種類の品目の摂取量を使用する。

後期のモニタリングにおいては、原則として対応する表 C.3 の各品目の摂取量を使用する。ただし、いも類、果実類、野菜、魚介類および肉類において、地域によってある品目の食品群に占める割合が十分に高い場合には、当該品目の摂取量として当該品目が含まれる食品群の摂取量を使用することとする。なお、初期のモニタリングと同様に、測定した品目が表 C.3 に含まれていない場合は、類似の種類の品目の摂取量を使用する。

2.4　食品 m の市場希釈係数 fm_m

市場希釈係数は、汚染された食品が流通過程を経て摂取される際に、汚染されていない他の生産地において収穫された当該食品によって、希釈される割合、すなわち評価対象者の当該食品摂取量に対する、汚染された食品の割合を示す。本研究においては、事故等において線量が最も高く受ける集団を主な対象としていることから、評価対象者は当該品目の摂取量を全て評価対象食品でまかなっていることを仮定する。すなわち、fm_m=1 を基本とする。

2.5　食品 m の調理による除染係数 fd_m

除染係数は、食品を加工、調理することにより、当該食品に含まれる放射性核種が部分的に除去され、残留する効果を考慮する係数であり、全く除去されない場合は 1、全ての核種が除去される場合は 0 となる。

本研究において、食品中の核種濃度は、野菜や果実等の場合、食品衛生法「食品、添加物の規格基準」[8]で定めた検体としての処理法に従い、例えば葉菜においては外側変質葉やしんを除去するなど、一般的に食事に供する際の処理に準じることから、結果として、最小限の核種の除去を行って測定することを原則としている。また、米についても食品衛生法に従い、玄米を対象としている。事故直後における汚染は核種の直接沈着が主であるため、例えば葉菜では洗浄等によって核種濃度が減少することが考えられる。また、玄米は精米することによって、核種濃度が減少することが知られている [9]。ただし、洗浄による効果はばらつきが大きく、除染係数を合理的に設定することが困難であること、玄米は精米せずに食される場合もあること、泥を払うなど最小限の除去は行われることから、本研究では除染の影響を考慮せず、食品 m の調理による除染係数は、fd_m=1 を基本とする。

2.6　核種 i の経口摂取による実効線量への換算係数 K_i (mSv/Bq)

実効線量への換算係数(以下「線量係数」と記述する)は、緊急時指針を受けた飲食物摂取制限指標に関する解説 [6] および ICRP Publ. 72[10]等に基づいた値を使用する。なお、放射性ヨウ素については、実効線量および甲状腺等価線量の双方で評価することとし、その他の核種については実効線量を評価することとする。主な核種の線量係数を表 C.4 に示す。

D．考　察

1．　線量評価モデル

1.1　被ばく線量評価基礎式

C．研究結果で示した(C.1)式と(C.2)式は、核種の半減期によって適用する式を区分する。Sr-89（半減期：50.5d)，I-131（半減期：8.04d)，I-133（半減期 20.8h）は半減期が比較的短いため、(C.1)式によって評価する必要がある。Cs-137、Sr-90、ウラン同位体、プルトニウム同位体等の長半減期核種については、計算の簡便のため、(C.2)式を使用することが可能である。

1.2　食品群の分類

本研究の初期のモニタリングでは、一般に被ばく線量への寄与が高いと考えられる食品を重点的に評価することを目的とするため、表 C.2 には被ばく線量への寄与が大きいと思われる食品を選択して記載した。また、後期のモニタリングにおいては、より正確な被ばく線量を評価するために、初期のモニタリング対象食品に追加して、その他の食品も測定対象として、国民栄養の現状 [7] に記載されている食品群および品目を再構成して表 C.3 に記載した。表 C.3 の「その他」に分類した食品群は、摂取量が小さいこと、あるいは加工、流通過程を経ること等の理由により、被ばく線量に対する寄与は比較的小さいと考えられる。

それぞれの食品群あるいは品目における「その他」は、過小評価になることを避けるため、当該食品群の中の測定値の最大値を適用して評価に加えることが可能である。

評価対象地域に茶畑が含まれる場合は、その茶の摂取による内部被ばくの可能性がある。（表 C.3 では「その他」の「調味嗜好飲料」に含まれる）。しかし、生の茶葉を直接使用することはほとんど考えられず、洗浄等の過程を経ることによって付着した放射性核種の多くは除去される可能性が高いこと、茶の摂取量は個人差は大きいと考えられるが、一人 1 日あたりにすると 1g 程度 [11] であることから、本研究では線量評価の対象外とする。ただし、評価対象区域において茶が特産品である場合は、当該茶の加工工程後に、茶葉あるいはその浸出液を評価すること、生茶葉では平均的な乾燥比から 5g に相当する摂取量を評価すること、等が望ましい。

1.3　評価対象核種

事故直後の葉菜の表面汚染の大部分は放出核種の 直接沈着に起因するので、葉菜中の核種の放射能比はほぼ一定であることが推察される。このため、濃度が測定されていない核種について、既に測定された核種の濃度に放射能比を乗じることにより、核種濃度を推定することが可能である。また、比較的長半減期の核種については物理的崩壊に関する補正をする必要がないため、例えば Cs-137 による内部被ばく線量の推定値から、その核種による被ばく線量を以下の式によって求めることが可能である。

$$H_i = \frac{K_i}{K_{Cs-137}} \cdot Ar_i \cdot H_{Cs-137} \quad (D.1)$$

ここで、

H_i：本事故に起因する核種 i による実効線量(mSv)

K_i: 核種 i の経口摂取による線量係数(mSv/Bq)

K_{Cs-137}：Cs-137 の経口摂取による線量係数(mSv/Bq)

Ar_i: 核種 i の Cs-137 に対する沈着核種の放射能比(-)

H_{Cs-137}：本事故に起因する Cs-137 による実効線量推定値(mSv)

例えば Sr-90 の放射能比が Cs-137 の 10%であると仮定すると、Sr-90 の成人の線量係数(2.8×10^{-5}mSv/Bq)が Cs-137 のそれ(1.3×10^{-5}mSv/Bq)の約 2 倍であるため、Sr-90 による実効線量は Cs-137 の 20%程度であることが推定される。このように、事前に放射能比を想定しておくことにより、他の核種の影響を推定することが可能である。ただし、放射能比は事故の状況や原子炉からの距離によって大きく異なる可能性がある。特にセシウムは揮発性が高いため、チェルノブイリ原子力発電所事故の場合、原子炉近傍では燃料要素が直接沈着したのに対し、遠方に対してはエアロゾルに付着して大気により運ばれた [12]。このように、放射能比によって放射性核種濃度を推定する際には、核種の放出の状況に応じて放射能比を適宜設定する必要がある。

(D.1)式によって、葉菜以外の食品について推定する場合は、食品中における放射能比が核種の移行性の差異によって、沈着した放射能比と異なる可能性があることに留意する必要がある。例えば穀類については、沈着した核種の可食部への転流率が核種によって異なるため、可食部における放射性核種の蓄積が大部分葉面からの転流による場合は、沈着した放射能比と食品中の放射能比が異なることが考えられる。ただし、このような場合、セシウムは他の元素に比べて植物における転流速度が大きい [13] ため、(D.1)式による推定値は当該核種による線量を過大評価することが予想される。また、畜産物、水産物についても同様に、セシウムは一般にストロンチウムやプルトニウムよりも畜産物への移行係数や淡水産物への濃縮係数が大きい [14] ため、(D.1)式による推定値は線量を過大評価する可能性がある。

2.　評価に使用するパラメータ値

2.1　評価対象食品 m 中の核種 i 濃度 $C_{m,i}$

評価対象食品中の核種濃度は原則として濃度が最大となると考えられる時点、すなわち核種の放出終了時点における濃度を使用することを原則とするが、以下のことに留意する必要がある。

(1)　核種放出期間内にサンプリングされた場合

核種放出期間内にサンプリングされた試料については、以下の式で最大濃度を推定することができる。

$$C_{m,i} = C_{m_{o,i}} \frac{1-\exp(-\lambda_{eff}\cdot t_r)}{1-\exp(-\lambda_{eff}\cdot t_0)} \quad (D.2)$$

ここで、

$C_{m_{0,i}}$:t_0 における食品 m 中核種 i の実測濃度(Bq/kg)

λ_{eff}: 食品表面沈着核種の実効減衰定数(d^{-1})

$\lambda_{eff} = \lambda_i + \lambda_w$

λ_i：核種 i の物理的減衰定数(d^{-1})

λ_w: Weathering 効果による減少定数(d^{-1})

t_r　：核種放出予想期間(d)

t_0：核種放出開始からサンプリングまでの期間 (d)

である。ここで、λ_{eff} が十分に小さい場合（Weathering 効果による減少を無視し、半減期が十分に長い核種の場合）には、以下の式を用いることができる。

$$C_{m,i} = C_{m_{0,i}} \frac{t_r}{t_0} \quad (D.3)$$

ただし、これらの数式による推定は、放出条件や気象条件が均一であるとした場合の便宜的な予測式であるため、線量評価には核種放出終了後に実測された値を用いることが望ましい。なお、放出が長期の場合、気象条件の変動により核種の最大沈着地点は大きく変動することから、(D.2)式あるいは(D.3)式による推定は保守的である可能性が高いことが推察される。

(2)　食品中の核種濃度が最大となる時点に関する検討

穀類・穀物に関する直接沈着の研究

(Aakrog[15])によれば、影響が最も大きいのは収穫の約 30 日前頃であり、沈着時に開花状態にあった穀類の可食部中の核種濃度は、沈着直後に収穫した場合より高くなる可能性がある。このため、穀物に関しては、事故直後に収穫し得るものだけでなく、事故時において出穂、開花期にあったものについてもサンプリングする必要がある。なお、核種放出直後にサンプリングされた穀物の核種濃度を使用する場合は、その 3 倍程度の値[15]を核種濃度として使用することができる。

・葉菜、果花菜、果実類

可食部へ直接沈着する核種が支配的であり、核種放出終了直後が、食品中の核種濃度が最大であると考えられる。

・葉菜、果花菜以外の野菜

いも類、豆類、根菜類など、可食部に核種が直接沈着しない作物については、葉面や耕作地土壌に沈着した核種が転流あるいは経根吸収等によって可食部に移行するため、沈着から蓄積するまでに時間の遅れが生じることが考えられる。このため、核種沈着直後に収穫された作物よりもある程度時間を経た作物の方が核種濃度が高い可能性がある。しかし、これらの農作物は摂取量が著しく大きくない限り、葉菜に比べて被ばく線量に対する影響は小さいと考えられる。

・きのこ類

直接沈着の影響が大きいと考えられる形状の場合は、核種放出終了直後が、食品中の核種濃度が最大であると考えられる。しかし、きのこは他の食品に比べてセシウムを特異的に高濃縮することが認められている[16),17)]。

・肉類、卵類

家畜が汚染した飼料を摂取する場合、放射性核種が畜肉や卵へ蓄積するまで時間の遅れが生じる可能性があるため、事故直後から数日間はとりわけ重要である。

・乳類

乳牛による牧草、飼料を経由した核種の摂取から、牛乳への移行は比較的速やかであると考えられる。このため、核種放出終了直後に核種濃度が最大であると考えられる。

・海草類、魚介類

淡水産物を想定した場合、核種放出終了後において、対象河川や湖沼の流域に蓄積している核種が河川や湖沼に流入することにより、水中の核種濃度が上昇し、水産物中の核種濃度が上昇する可能性がある。このため、少なくとも数日間、かつ、降雨によって流域からの核種の流入が生じ、その後に核種濃度が減少傾向にあることが確認されるまで、測定することが望まれる。

また、海産物についても、海流の影響、河川から海域への核種の流入、魚の回遊などの影響のため、事故直後よりもそれ以降に水産物中の核種濃度が上昇する可能性があるため、サンプリングを継続することが望まれる。海洋では沈着あるいは流入した核種は広域に拡散することから、評価対象領域における核種濃度が減少傾向にあることが確認されるまでサンプリングを継続することが望まれる。

2.2 食品 m の摂取期間 t_m

(C.1)式および(C.2)式は、当該食品がサンプリング時点で収穫され、その食品を継続して摂取する場合の評価である。すなわち、食品 m の摂取期間 t_m は食品中の核種濃度が最大となる時点においてサンプリングされた場合に、その収穫された食品を何日間摂取するかということを意味する。このため、評価対象地域における当該食品の生育、生産量が十分に多いと仮定すれば、食品 m の摂取期間 t_m(d)は、当該食品の生育、生産期間および保管可能期間に対応する。このうち、保管期間については冷凍技術の向上等の影響により、合理的な保管可能期間を設定することが困難なため、生育、生産期間も含めて全ての食品について摂取期間は 1 年間を適用することを基本とした。しかし、冷凍保存等を行わない場合は、現実的な保管可能期間を適用することができる。貯蔵条件が適切な場合の主な野菜や果実の保管可能期間を表 D.1 に示す。

2.1 項で考察したように、食品中の核種濃度は核種放出終了後の比較的早い時点で最大となると考えられる。しかし、食品中の核種濃度が最大となった時点以降も、事故の時点で生育段階にある農作物等、汚染された食品が継続して供給される可能性がある。食品の摂取期間を 1 年間とした場合は、汚染された食品が供給される期間よりも十分長いため、その影響を考慮する必要はない。これに対し、現実的な保存可能期間を摂取期間として用いる場合は、汚染された食品が継続して供給されることを考慮する必要がある。すなわち、その食品中の核種濃度を継続して測定し、各時点における食品による核種摂取量を合計する必要がある。この場合、食品 m の摂取に起因する核種 i の摂取量 $A_{m,i}$は、以下の式で与えられる。

$$A_{m,i} = \sum_n \frac{C^n_{m,i} \cdot M^n_m \cdot fm_m \cdot fd_m}{\lambda_i} \cdot \left[1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_m)\right] \quad \text{(D.4)}$$

物理的減衰が無視できる核種の場合、核種 i の摂取量は以下の式で与えることができる。

$$A_{m,i} = \sum_n C^n_{m,i} \cdot M^n_m \cdot fm_m \cdot fd_m \cdot t_m \quad \text{(D.5)}$$

ここで、

$C^n_{m,i}$: n 回目のサンプリング時における評価対象食品 m 中の核種 i 濃度(Bq/kg)

M^n_m: n 回目にサンプリングされた食品 m の一日あたりの摂取量(kg/d)

である。

以下では、食品中の核種濃度が最大となる時点におけるサンプリング結果から、当該食品が継続して供給される場合の被ばく線量を推定する際の評価方法について、食品の摂取期間の観点から、食品の種類毎に検討する。

(1) 農作物

穀類や根菜類は保管可能期間が長いため、現実的な保存可能期間を摂取期間として適用しても、線量を著しく過小評価することはないと考えられる。これに対し、葉菜や果実について、事故後も生育を継続させ、逐次収穫して摂取することを評価する場合において、過小評価しないような評価を行うためには、汚染された葉菜が供給される期間において常に当該食品の最大核種濃度の食品が供給されると仮定する。この場合、摂取期間 t_m(d)としては、汚染された食品が供給される期間、すなわち当該農作物の生育期間を使用することとなる。ただしこの場合、生育初期の段階における核種の葉面への沈着率は収穫期よりも小さいこと[20)]、沈着した核種の風雨による除去が考えられることから、推定線量はかなり過大評価となる可能性がある。

(2)畜産物

畜産物については、核種が牧草等の飼料作物に沈着することにより、畜産物に移行する経路を評価する。当該畜産物に対して汚染飼

料の摂取を停止した場合は、(C.1)式あるいは(C.2)式を使用することができる。この場合、畜産物中の核種濃度が最大の時点で製造され、その畜産物を継続して摂取した場合を評価することとなり、摂取期間は当該畜産物の保管可能期間に対応する。これに対して、汚染された牧草や飼料を継続して摂取させる場合は核種が牧草等の飼料作物に沈着することにより、畜産物に移行する経路を評価するため、畜産物の汚染は、家畜が当該飼料を摂取している期間継続することとなる。よって、食品 m が畜産物である場合、当該畜産物の摂取に起因する核種 i の摂取量 $A_{m,i}$ は、(C.1)式および(C.2)式における食品 m の摂取期間 t_m(d)を、家畜による汚染飼料の摂取期間に置き換えた式となる。なお、生育している牧草をそのまま摂取させる場合は、葉菜と同様に牧草の生育段階や、風雨による除去の効果により、核種摂取量は低くなり、推定線量はかなり過大評価となる可能性がある。

(3)水産物

水産物について、農作物と同様に水産物中の核種濃度が最大の時点で収穫され、その水産物を継続して摂取した場合を評価する場合は、(C.1)式あるいは(C.2)式で評価することが可能である。しかし、水産物を逐次生産して摂取する場合を評価する際には、農作物や畜産物とは異なり汚染継続期間を合理的に設定することができない。また、当該水産物の生育水に対して淡水産物においては河川流域から、海水産物においては河川等から核種の流入が事故後継続する可能性があるため、核種濃度が最大値に比べて十分低くなるまで評価を行うことが望まれる。

2.3 食品 m の一日あたりの摂取量 M_m

本研究の評価の目的から評価対象地域における平均的な人を対象とすべきであり、平常時の防災対策の一環として、評価対象地域における消費性向を把握しておく必要がある。特に、各地域に特徴的な食品、すなわち地域の特産品については摂取量が平均値よりも多い可能性があることに留意する必要がある。

ここでは、表 C.2 および表 C.3 の基礎データとして使用した「国民栄養の現状」(平成 10 年国民栄養調査結果)[7]等を参考にして、食品の摂取量の変動特性について以下に考察する。

(1)年齢階級別

国民栄養の現状 [7]における、食品群別および一般的品目の年齢階級別 1 人 1 日当たりの摂取量を全国値とともに表 D.2 に示す。

「少年」の摂取量として適用した「7-14 歳」で多くの食品群の摂取量がほぼ成人レベルに達する。乳類は「7-14 歳」が最大(322.5g)であり、一方、海草類の摂取は 60～69 歳で最大(3.9g)である。このように、年齢階級により、摂取量が異なることが線量評価に影響する可能性があるため、本研究において年齢階級を 5 段階に分類したことは妥当であると考えられる。

(2)男女別

いくつかの食品群について、男女別に比較し、図 D.1 に示す。「青年」の摂取量として適用した「15-19 歳」の女子の摂取量は、果実類で男子より多く、米類、肉類、魚介類では男子を 100％とすると、65%ないし 80%であり、乳類では若干多かった。しかし、このような場合を除き、各年齢階級の男女値を全国値と比較するとほとんどの食品群で 100±15%以内にあった。

(3)生計別

「国民栄養の現状」(平成元年国民栄養調査成績)[21] のデータを用い、いくつかの食品群あるいは品目について、農家所帯および非農家所帯の食品摂取量を全国値と比較して表 D.3 に示す。農家所帯は非農家所帯の食品摂取量に較べて農産物を多く摂取しており、全国値を 100％とすると、さつまいも 140%、みそ 122%、その他の果実 121%、大根 151%、はくさい 134%、あじ、いわし類 120%である一方、トマト、牛肉、牛乳では少なかった（それぞれ 55%、75%および 87%)。このように、農家所帯では、摂取量が全国値の 130％を超える、または 70%を下廻る食品群があることに留意する必要がある。

(4)地域ブロック別

「国民栄養の現状」(平成元年国民栄養調査成績)[21] におけるいくつかの食品群あるいは品目につき、地域ブロック別摂取量を全国値と比較して図 D.2 に示す。ほうれん草は北海道、南九州で少なく(全国値を 100％であるとして 69％および 73%、以下同様)、トマトは東北、中国、四国で低く(54%-62%)、関東 I では顕著に多い(131%)。はくさいは東北、近畿 II および中国で多く(124%-130%)、じゃがいもは北海道で多い(137%)。柑橘類摂取量は、中国、四国で多く(122%-125%)、りんごは北海道（129%)、東北（142%)、関東 II（132%）で多かった。あじ、いわし類の摂取量は九州地方で(125%-130%)、また、魚介(生干し、乾物)は北海道、関東 II、近畿 II で高かった(126%-145%)。牛肉は近畿および四国、北九州で(136%-156％)、また、豚肉は関東で多く摂取されている(121%-125%)。鶏肉の場合は九州地方が多かった(132%-140%)。一方、各ブロックの牛乳摂取量は全国値に対し 100±15%以内であった。地域差は長期的に見れば流通機構の発達とともに全体としては減少していると考えられるが、地域特産物が多く摂取される傾向が読みとれる。摂取量が全国値の 130%を越えるような地域的食品については考慮が必要と考えられる。

食品摂取量は国民栄養調査結果による値を基準としてよいが、年齢以外にも性別、生計、地域の変動要因がある。このような変動については、栄養調査で得られた標準偏差の 2 倍(2 σ)を加えた値は大部分の食品群につき平均値の約 2 倍となっている。以上の変動要因を勘案すると、変動幅は 100±50%程度、最大値 200%(2 倍)を考慮すれば十分であると考えられる。

2.4 食品 m の市場希釈係数 fm_m

本研究においては、事故において線量を最も高く受ける集団を主な対象としていることから、評価対象者は当該品目の摂取量を全て評価対象食品でまかなっていることを仮定している。しかし、このような評価対象者以外の一般的な消費者については、流通の過程を経ることにより、核種により汚染された食品の摂取量は上記対象者よりも少ないことが想定される。

しかし、評価対象となる地域は市町村レベルの比較的狭い範囲であること、市場において必ずしも食品が均質に混合されるのではないため、平均的なデータの適用が困難であること、緊急時には出荷が制約されることが予想されることなどから、事故時において使用することのできる妥当な市場希釈係数を設定することは容易ではない。

ただし、各種統計資料から、市場希釈の影響を大まかに把握することは可能である。例えば、青果物産地別卸売統計 [22] や青果物流通年報 [23] 等により、各都道府県、消費地あるい

は卸売市場に対して、評価対象地域(都道府県単位)から出荷される食品の構成比を知ることができる。このような構成比に関するデータは、市場希釈係数の目安とすることができる。ただし、これらの統計資料を基に市場希釈係数を設定する場合は、上述したような問題点や、農作物の出荷は季節変動が極めて大きいこと等に留意する必要がある。

2.5 食品 m の調理による除染係数 fd_m

本研究においては、食品中の核種濃度は野菜や果実等においては食品衛生法「食品、添加物の規格基準」[8] で定めた検体の前処理法に従うため、一般的に食品として供する際の最小限の汚染(核種) 除去を行って測定することを原則としている。このため、多くの検体では、人工・天然を問わず表面汚染の核種はほぼ残存した状態と考えられる。

緊急時の汚染の有無を明らかにする目的からは、汚染状況をよく反映し、フィールドでの迅速性を重んじる観点から、上記の検体が適当と判断される。ただし、土壌粒子などによる作物表面の天然の放射性核種によるバックグラウンドを日頃の測定により把握しておくことが必要である。

さらに食品に対し、水洗や調理・加工を施したとき、食品に付着した放射性物質が放射能除去されることが考えられる。

食品からの放射能汚染の除去率に関する研究については、これまで、(イ) 大気圏内核実験が行われていた当時の地球規模フォールアウトによる農畜産物、水産物の汚染の除去、(ロ) 原子力施設からの事故放出による地域的フォールアウトによる農畜産物の汚染の除去、(ハ) 実験室での RI 灌水や水耕による吸収実験にともなう汚染の除去、等が報告されている [9,24]。除去の方法は、簡単な水濯ぎから煮炊きの効果など多様な方法による報告がなされており、また、チェルノブィリ事故の多くの場合、比較的高度の汚染を積極的に除去することに重点が置かれている点に特徴がある。なお、各種食品中の安定元素が調理、加工で除去される割合も推定されており、適当なデータのない場合にはそれを利用することも可能であろう [9]。

ここでは、一般的な葉菜、果花菜、根菜、魚介類における調理加工処理における除去率および残留の割合を、日本におけるデータと IAEA によるデータから抜粋してそれぞれ表 D.4[9]および表 D.5[24]に示す。「チェルノブイリ事故」と記載したデータは、1986 年 4 月のチェルノブィリ事故後、東北地方日本海沿岸および北関東地方太平洋沿岸地区における野菜に沈着した I-131、Cs-137 等の除去率の報告である。発電炉事故による葉菜表面の I-131 の洗浄および単独のあく抜き操作による除去率は、それぞれ 15%および 60%程度であった。Cs-137、Cs-134 は水洗により 35%が、また単独のあく抜きにより 65%が除かれた。また、ヨウ素については、無機形(I_2)と有機形(CH_3I)による若干の差が知られている [9]。

また、大気圏内核実験による地球規模フォールアウト由来の野菜、魚介類中の Sr-90 の除去が種々の方法により試みられている [9]。果菜のなす、きゅうり、トマト、ピーマンでは、1% NaCl 溶液 30 分浸漬によりそれぞれ 65%、65%、22%および 17%が除去された。はまぐり、かき、メキシコえびの Sr-90 は 1% NaCl 溶液による洗浄でそれぞれ 36%、19%および 63%が除去された。玄米の Sr-90 および Cs-137 の精白による除去率はそれぞれ平均 84%および 64%であった。

表 D.5 は、IAEA による畜肉、乳製品、野菜等の調理または加工処理による放射性核種の残留の割合等に関するデータから一部を抜粋したものである [24]。

ここに示した葉菜、果花菜、根菜、魚介類の調理加工処理における放射性核種の除去率は、評価に使用する除染係数の設定の参考とすることが可能である。ただし、除染係数の値は様々な条件により変わり得ること、すなわち表 D.4 および表 D.5 に引用した数値が汚染の経路、汚染時の化学形、放出後の経過日数などの諸条件を考慮に入れ、評価対象となる事故放出に対して適用可能かどうか、どの程度の値を使用すべきかを十分検討する必要がある。

2.6 核種 i の経口摂取による実効線量への換算係数(線量係数) K_i

ここでは公衆のための ICRP の線量係数を適用するうえでその妥当性にかかわる日本人の特性について各元素毎に若干考察する。なお、ヨウ素、セシウム、ストロンチウムおよびプルトニウムの体内動態モデルは Publ. 67 で [25]、また、ウランは Publ. 69 で改訂されており、線量係数はすべての核種につき一括して Publ. 72[10]に新しい数値が与えられている。

(1)ヨウ素

日本人では食餌からの安定ヨウ素摂取レベルが 500〜1000 μg と欧米と較べて大きいことから、摂取された放射性ヨウ素の甲状腺への取り込み率が、成人でほぼ 0.15[27]、安全サイドでは 0.2 とされ [28]、発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に関する指針 (以下「軽水炉指針」と記述する [29]) や防災指針等に取り入れられている。一方、生物学的半減期は成人男子で 35 日程度であり [27,30]、ICRP の値 80 日よりかなり短い。しかし I-131 の半減期が 8.04 日と短いため実効半減期には大きな影響がなく、また正常日本人の甲状腺重量は ICRP 標準人のそれと大差がない。したがって放射性ヨウ素による被ばく線量推定のためには、軽水炉指針や防災指針と同様に ICRP 報告の経口摂取に対する線量係数 [10]に、甲状腺取り込み率 0.2 を加味した値を適用するのが妥当と考えられる。

(2)セシウム

日本人成人では摂取された Cs-137 の生物学的半減期(長いほうの成分)は 90 日で、ICRP の値 110 日より短いことが知られており、その結果被ばく線量としては約 80%となるものとされている [31,32]。また、3 ヶ月齢では 13 日、5 歳 35 日、10 歳 54 日、15 歳 80 日の値が提案されている [31,32]。一方 ICRP の与えたコンパートメント B の生物学的半減期は、3 ヶ月齢で 16 日、1 歳 13 日、5 歳 30 日、10 歳 50 日、15 歳 93 日となっており [25]大差はないと考えられる。

(3)ストロンチウム

1960 年代には Sr/Ca Observed Ratio の概念による安定ストロンチウムの食餌から骨への移行率は 0.12 と、欧米諸国の 0.16-0.25 に較べて小さいことが報告された [33]。しかし、その後ストロンチウムの動的代謝モデルの発展にともなってこの比較は線量算定上有効に利用できなくなっている。一方、日本人骨格中の放射線感受性組織すなわち活性赤色骨髄と骨表面(内膜)の細胞の重量はそれぞれ 1000g および 100g で [34,35]、旧 ICRP 標準人 (Publ. 23)の値、それぞれ 1500g[5,36]および 120g[5]より小さいが、β線線量への影響は軽微であることが計算される。

(4)ウランおよびプルトニウム

食餌から人体への移行、代謝パラメータについて日本人に特徴的な報告はとくにないが、活性赤色骨髄の重量が、比実効エネルギー(SEE)を通じてアルファ線線量に直接影響することが計算され得る[34]。日本人の Pu-239 によるアルファ線線量(等価線量)に、旧 ICRP 標準人の赤色骨髄重量を適用すると約 50%過小評価となっていた。しかし改訂された ICRP 標準人の赤色骨髄重量は 1170g であり[37]、現在では日本人の値(1000g)との差は縮小している。

上述の考察に基づき、本研究では、ヨウ素を除きセシウム、ストロンチウム、ウランおよびプルトニウムの各核種については、ICRP による経口摂取に伴う線量係数(50 年預託実効線量)の最も新しい値をそのまま適用することとした。なお、その他の核種についても同様に基本的に ICRP の線量係数[10]に従うことにする。

3. 長期的被ばくについて

事故等によって放射性核種が放出された場合、比較的半減期が長い放射性核種が多量に放出された場合は、その影響に対する総合的な観点から、より長期的な評価が必要とされる。

事故直後の放射性核種の直接沈着の影響が小さくなる時点以降は、農作物や飼料については経根吸収の影響が大きくなると考えられる。すなわち、放射性核種が沈着した耕作地から算出される農作物、畜産物および水産物等について、当該核種の半減期や環境中における核種移行を考慮しながら、必要な期間測定を継続する必要がある。

E. 結　論

本研究では、緊急時において実測された初期および後期における各種食品中の放射性核種濃度の測定値を入力データとし、評価対象食品中の核種の人体への移行経路を考慮して、内部被ばく線量の評価の基礎式を作成した。その際、5 段階の年齢階級を適用し、各年齢階級に対して、線量評価に適用するためのパラメータ値を設定した。また、これらの基礎式やパラメータ値の変動要因について考察した。

緊急時における被ばく線量の評価は、季節や気象に起因する自然条件、評価対象地域における特産品や生活態様等様々な要因が関与する。このため、より妥当な被ばく線量の推定のためには、生産や消費に関する地域特性の調査や、放射性核種濃度のバックグラウンドレベルの把握など、平常時における調査研究の充実が望まれる。

参考文献

1) 原子力安全委員会: 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), 原子力安全委員会 (2000).

2) 原子力安全委員会: 環境放射線モニタリングに関する指針(平成 12 年 8 月一部改訂), 原子力安全委員会 (2000).

3) 原子力安全委員会: 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), 原子力安全委員会 (2000).

4) ICRP: Principles of Monitoring for the Radiation Protection of the Population, ICRP Publication 43 (1985).

5) ICRP: Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 1, ICRP Publication 56 (1989).

6) 須賀新一, 市川龍資: 防災指針における飲食物摂取制限指標の改訂について, 保健物理, 35, 449-466 (2000).

7) 健康・栄養情報研究会編: 国民栄養の現状 (平成 10 年国民栄養調査結果), 第一出版, 11-14, 73-81 (2000).

8) 食品衛生法, 平成 13 年 3 月 31 日現在.

9) 原子力環境整備センター編: 食品の調理・加工による放射性核種の除去率、環境パラメータ・シリーズ 4、原子力環境整備センター (1994).

10) ICRP: Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 5, ICRP Publication 72 (1996).

11) 日本茶業中央会: 平成 12 年度茶関係資料, (社)日本茶業中央会 (2000).

12) AN APPRAISAL BY THE NEA COMMITTEE ON RADIATION PROTECTION AND PUBLIC HEALTH; CHERNOBYL Ten Years on Radiological and Health Impact, OECD (1995).

13)渡部忠一, 山口勇: 植物葉面への付着吸収・透過のメカニズムと移行モデル, 汚染物質の環境挙動予測に関する局地規模詳細モデルならびにその移行パラメータ, 143-152 (1996).

14) IAEA; Handbook of Parameter Values for the Prediction of Radionuclide Transfer in Temperate Environments, Technical Report Series No. 364, IAEA (1994).

15) A. Aakrog: Translocation of Radionuclides in Cereal Crops, Ecological Aspects of Radionuclide Release, Special Publication Series of the British Ecological Society No. 3, 81-90 (1983).

16) 杉山英男, 寺田宙, 礒村公郎, 塚田祥文, 柴田尚： キノコへの放射性セシウムの移行特性－野生キノコおよび培養キノコ－, RADIOISOTOPES, 42, 683-690 (1993).

17) 村松康行, 吉田聡: キノコと放射性セシウム, RADIOISOTOPES, 46, 450-463 (1997).

18)流通システム研究センター編: 農産物の輸送と貯蔵の実用マニュアル, 流通システム研究センター (2000).

19)流通システム研究センター編: 果実の鮮度保持マニュアル, 流通システム研究センター (2000).

20)A. C. Chamberlain: Interception and Retention of Radioactive Aerosols by Vegetation, Atmospheric Environment, 4, 57-78 (1970).

21) 厚生省監修: 平成 3 年版国民栄養の現状 (平成元年国民栄養調査成績), 第一出版, 74-81 (1991).

22) 農林水産省統計情報部: 平成 11 年青果物産地別卸売統計, 農林水産省統計情報部 (2000).

23) 東京青果物情報センター: 東京都中央卸売市場青果物流通年報 (野菜編), 東京青果物情報センター (2000).

24)IAEA: Guidelines for Agricultural Countermeasures Following an Accidental Release of Radionuclides, Technical Report Series No. 363, IAEA, 58-68 (1994).

25) ICRP: Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 2, ICRP Publication 67 (1993).

26) ICRP: Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of

Radionuclides: Part 3, ICRP Publication 69, 57-72 (1995).
27) G. Tanaka, H. Kawamura, Y. Nakahara: Reference Japanese Man-I. Mass of organs and other characteristics of normal Japanese, Health Phys. 36, 333-346 (1979).
28) 吉沢康雄，草間朋子: 日本人の甲状腺に関する正常値について，保健物理 11，123 (1976).
29)原子力安全委員会: 発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に関する指針（平成元年一部改訂），原子力安全委員会 (1989).
30) M. Uchiyama, G. Tanaka, S. Akiba: Radioiodine retention by 2 Japanese male adults following a single oral dose, J. Radiat. Res. 23, 358 (1982).
31)放射線医学総合研究所: 特別研究「環境における放射性物質の動態と被ばく線量算定に関する調査研究」（平成 5 年度～平成 9 年度）最終報告書，放射線医学総合研究所 NIRS-R-36，69-73 (1999).
32) M. Uchiyama: Reevaluation of caesium biological half-life of Japanese, J. Environ. Radioactivity, 41, 93 (1998).
33) G. Tanaka, H. Kawamura, E. Nomura: Reference Japanese Man -II. Distribution of strontium in the skeleton and in the mass of mineralized bone, Health Phys. 40, 601-614 (1981).
34) H. Kawamura, M. Yamamoto, Y. Igarashi, et al.: Naturally occurring ^{226}Ra concentrations in bone at various ages and α doses in adults, Health Phys. 61, 615-622 (1991).
35) G. Tanaka, H. Kawamura: Anatomical and physiological characteristics for Asian Reference Man - male and female of different ages: Tanaka Model, NIRS-M-115, 66 (1996).
36) ICRP: Report of the Task Group on Reference Man, ICRP Publication 23, 79 (1975).
37) ICRP: Basic Anatomical and Physiological Data for use in Radiological Protection. The Skeleton, ICRP Publication 70, Annal. ICRP 25(2),73 (1995).

表 C.1 主な燃焼度における放射能比

核種	燃焼度 (MWd/ton)				
	5000	10000	20000	30000	50000
Sr-89/Sr-90	44.29	21.92	10.21	6.31	3.52
I-133/I-131	1.57	1.53	1.47	1.43	1.35
Cs-134/Cs-137	0.28	0.53	0.90	1.20	1.67

（文献6より作成）

注) 表 C.1は原子炉内の放射性核種の存在割合(下記；文献6より抜粋)を引用して作成した

核種	燃焼度 (MWd/ton)				
	5000	10000	20000	30000	50000
Sr-89	6.20E+05	5.70E+05	4.80E+05	4.10E+05	3.10E+05
Sr-90	1.40E+04	2.60E+04	4.70E+04	6.50E+04	8.80E+04
I-131	4.40E+05	4.50E+05	4.70E+05	4.70E+05	4.90E+05
I-133	6.90E+05	6.90E+05	6.90E+05	6.70E+05	6.60E+05
Cs-134	4.50E+03	1.70E+04	5.70E+04	1.10E+05	2.50E+05
Cs-137	1.60E+04	3.20E+04	6.30E+04	9.20E+04	1.50E+05

表 C.2　初期のモニタリングに係る食品摂取量

食品群別 大分類	食品群別 小分類	品目	食品群、品目別摂取量(g/d) 全国値	乳児	幼児	少年	青年	成人
総量			1397.1	983.6	945.6	1403.5	1388.3	1442.7
穀類			257.9	76.5	152.9	243.1	279.7	266.4
	米類		164.8	48.9	97.7	155.3	178.7	170.2
	その他の穀類		93.2	27.6	55.3	87.9	101.1	96.3
果実類			115.5	52.5	104.9	108.4	98.5	118.5
		柑橘類	30.2	13.7	27.4	28.3	25.8	31.0
		りんご	26.2	11.9	23.8	24.6	22.3	26.9
		その他	59.0	26.8	53.6	55.4	50.3	60.5
野菜			260.6	67.2	134.3	220.0	236.1	277.5
	葉菜		62.4	16.1	32.2	52.7	56.5	66.4
		ほうれん草	15.0	3.9	7.7	12.7	13.6	16.0
		キャベツ	20.2	5.2	10.4	17.1	18.3	21.5
		はくさい	21.2	5.5	10.9	17.9	19.2	22.6
		葉菜つけもの	6.0	1.5	3.1	5.1	5.4	6.4
	果花菜		30.3	7.8	15.6	25.6	27.5	32.3
		きゅうり	11.4	2.9	5.9	9.6	10.3	12.1
		トマト	15.0	3.9	7.7	12.7	13.6	16.0
		ピーマン	3.9	1.0	2.0	3.3	3.5	4.2
	その他の野菜		167.9	43.3	86.5	141.7	152.1	178.8
海草類			6.0	1.5	2.9	3.9	4.3	6.7
魚介類			95.9	22.4	44.8	65.7	78.8	115.6
	生魚		60.9	14.2	28.4	41.7	50.0	73.4
	魚介（生干し、乾物）		8.7	2.0	4.1	6.0	7.1	10.5
	その他の加工品		26.4	6.2	12.3	18.1	21.7	31.8
乳類			135.0	600.0	178.4	322.5	161.9	105.9
		牛乳	113.9	600.0	150.5	272.1	136.6	89.3
		その他の乳製品	21.2	0.0	28.0	50.6	25.4	16.6
その他			524.0	163.6	327.2	439.9	529.1	552.1
	いも類		71.5	25.9	51.7	83.0	76.6	71.3
	豆類		72.5	20.8	41.6	62.1	55.4	77.5
	きのこ類		14.0	3.1	6.2	9.9	11.6	15.3
	肉類		77.5	25.8	51.6	88.4	114.1	75.4
	卵類		40.5	14.6	29.2	40.6	51.0	40.6
	種実類		2.1	1.2	2.3	1.0	1.4	2.3
	砂糖類		9.5	3.1	6.2	9.0	7.8	10.0
	菓子類		24.3	19.4	38.8	34.0	32.1	20.9
	油脂類		16.0	5.6	11.1	17.0	19.8	16.0
	調味嗜好飲料		193.1	42.4	84.7	89.0	151.2	217.9
	その他の食品		5.1	1.9	3.8	5.9	8.1	4.9

(文献7より作成)

表 C.3　後期のモニタリングに係る食品摂取量

食品群別 大分類	食品群別 小分類	品目	食品群、品目別摂取量(g/d) 全国値	乳児	幼児	少年	青年	成人
総量			1397.1	983.6	945.6	1403.5	1388.3	1442.7
穀類			257.9	76.5	152.9	243.1	279.7	266.4
	米類		164.8	48.9	97.7	155.3	178.7	170.2
		米	161.2	47.8	95.6	151.9	174.8	166.5
		米加工品	3.6	1.1	2.1	3.4	3.9	3.7
	小麦類		90.9	26.9	53.9	85.7	98.6	93.9
		パン、菓子パン	40.9	12.1	24.2	38.6	44.4	42.2
		なまめん、ゆでめん	34.0	10.1	20.2	32.0	36.9	35.1
		その他小麦類	16.0	4.7	9.5	15.1	17.4	16.5
	その他の穀類		2.3	0.7	1.4	2.2	2.5	2.4
いも類			71.5	25.9	51.7	83.0	76.6	71.3
		さつまいも	10.3	3.7	7.4	12.0	11.0	10.3
		じゃがいも	30.6	11.1	22.1	35.5	32.8	30.5
		その他のいも	15.1	5.5	10.9	17.5	16.2	15.1
		いも類加工品	15.5	5.6	11.2	18.0	16.6	15.5
豆類			72.5	20.8	41.6	62.1	55.4	77.5
	大豆・大豆製品		69.9	20.1	40.1	59.9	53.4	74.7
		味噌	14.1	4.0	8.1	12.1	10.8	15.1
		豆腐	39.4	11.3	22.6	33.7	30.1	42.1
		豆腐加工品	7.5	2.2	4.3	6.4	5.7	8.0
		大豆、その他の大豆製品	8.9	2.6	5.1	7.6	6.8	9.5
	その他の豆類、加工品		2.6	0.7	1.5	2.2	2.0	2.8
果実類			115.5	52.5	104.9	108.4	98.5	118.5
		柑橘類	30.2	13.7	27.4	28.3	25.8	31.0
		りんご	26.2	11.9	23.8	24.6	22.3	26.9
		その他の果実	47.3	21.5	43.0	44.4	40.3	48.5
		果汁	11.7	5.3	10.6	11.0	10.0	12.0
野菜			260.6	67.2	134.3	220.0	236.1	277.5
	葉菜		62.4	16.1	32.2	52.7	56.5	66.4
		ほうれん草	15.0	3.9	7.7	12.7	13.6	16.0
		キャベツ	20.2	5.2	10.4	17.1	18.3	21.5
		はくさい	21.2	5.5	10.9	17.9	19.2	22.6
		葉菜つけもの	6.0	1.5	3.1	5.1	5.4	6.4
	果花菜		30.3	7.8	15.6	25.6	27.5	32.3
		きゅうり	11.4	2.9	5.9	9.6	10.3	12.1
		トマト	15.0	3.9	7.7	12.7	13.6	16.0
		ピーマン	3.9	1.0	2.0	3.3	3.5	4.2

	根　菜		86.1	22.2	44.4	72.7	78.0	91.7
		大　根	37.4	9.6	19.3	31.6	33.9	39.8
		にんじん	21.9	5.6	11.3	18.5	19.8	23.3
		たまねぎ	26.8	6.9	13.8	22.6	24.3	28.5
	その他の野菜(葉菜、果花菜、根菜含む)		81.8	21.1	42.2	69.1	74.1	87.1
きのこ類			14.0	3.1	6.2	9.9	11.6	15.3
海草類			6.0	1.5	2.9	3.9	4.3	6.7
魚介類			95.9	22.4	44.8	65.7	78.8	115.6
	生　魚		42.2	9.9	19.7	28.9	34.7	50.9
		さけ、ます	4.3	1.0	2.0	2.9	3.5	5.2
		まぐろ類	7.3	1.7	3.4	5.0	6.0	8.8
		たい、かれい類	8.3	1.9	3.9	5.7	6.8	10.0
		あじ、いわし類	11.5	2.7	5.4	7.9	9.4	13.9
		その他の生魚	10.8	2.5	5.0	7.4	8.9	13.0
	いか、たこ、かに		13.7	3.2	6.4	9.4	11.3	16.5
	貝　類		5.0	1.2	2.3	3.4	4.1	6.0
	魚　介（生干し、乾物）		8.7	2.0	4.1	6.0	7.1	10.5
	その他の加工品		26.4	6.2	12.3	18.1	21.7	31.8
肉　類			77.5	25.8	51.6	88.4	114.1	75.4
		牛　肉	20.8	6.9	13.8	23.7	30.6	20.2
		豚　肉	26.0	8.7	17.3	29.7	38.3	25.3
		鶏　肉	20.0	6.7	13.3	22.8	29.4	19.5
		その他の肉類	10.7	3.6	7.1	12.2	15.8	10.4
卵　類			40.5	14.6	29.2	40.6	51.0	40.6
乳　類			135.0	600.0	178.4	322.5	161.9	105.9
		牛　乳	113.9	600.0	150.5	272.1	136.6	89.3
		チーズ	2.2	0.0	2.9	5.3	2.6	1.7
		その他の乳製品	19.0	0.0	25.1	45.4	22.8	14.9
その他			250.1	73.5	146.9	155.9	220.4	272.0
	種実類		2.1	1.2	2.3	1.0	1.4	2.3
	砂糖類		9.5	3.1	6.2	9.0	7.8	10.0
	菓子類		24.3	19.4	38.8	34.0	32.1	20.9
	油脂類		16.0	5.6	11.1	17.0	19.8	16.0
	調味嗜好飲料		193.1	42.4	84.7	89.0	151.2	217.9
	その他の食品		5.1	1.9	3.8	5.9	8.1	4.9

(文献7より作成)

表 C.4　実効線量および甲状腺等価線量に係る線量係数　(mSv/Bq)

実効線量係数					
核種	乳児	幼児	少年	青年	成人
Sr-89	3.6×10^{-5}	8.9×10^{-6}	5.8×10^{-6}	4.0×10^{-6}	2.6×10^{-6}
Sr-90	2.3×10^{-4}	4.7×10^{-5}	6.0×10^{-5}	8.0×10^{-5}	2.8×10^{-5}
I-131	1.4×10^{-4}	7.5×10^{-5}	(3.8×10^{-5})	(2.5×10^{-5})	1.6×10^{-5}
I-133	3.8×10^{-5}	1.7×10^{-5}	(7.2×10^{-6})	(4.9×10^{-6})	3.1×10^{-6}
Cs-134	2.6×10^{-5}	1.3×10^{-5}	1.4×10^{-5}	1.9×10^{-5}	1.9×10^{-5}
Cs-137	2.1×10^{-5}	9.7×10^{-6}	1.0×10^{-5}	1.3×10^{-5}	1.3×10^{-5}
U-234	3.7×10^{-4}	8.8×10^{-5}	7.4×10^{-5}	7.4×10^{-5}	4.9×10^{-5}
U-235	3.5×10^{-4}	8.5×10^{-5}	7.1×10^{-5}	7.0×10^{-5}	4.7×10^{-5}
U-238	3.4×10^{-4}	8.0×10^{-5}	6.8×10^{-5}	6.7×10^{-5}	4.5×10^{-5}
Pu-238	4.0×10^{-3}	3.1×10^{-4}	2.4×10^{-4}	2.2×10^{-4}	2.3×10^{-4}
Pu-239	4.2×10^{-3}	3.3×10^{-4}	2.7×10^{-4}	2.4×10^{-4}	2.5×10^{-4}
Pu-240	4.2×10^{-3}	3.3×10^{-4}	2.7×10^{-4}	2.4×10^{-4}	2.5×10^{-4}
Pu-241	5.6×10^{-5}	5.5×10^{-6}	5.1×10^{-6}	4.8×10^{-6}	4.8×10^{-6}
Pu-242	4.0×10^{-3}	3.2×10^{-4}	2.6×10^{-4}	2.3×10^{-4}	2.4×10^{-4}
甲状腺等価線量に係る線量係数					
核種	乳児	幼児	少年	青年	成人
I-131	2.8×10^{-3}	1.5×10^{-3}	(7.6×10^{-4})	(5.0×10^{-4})	3.2×10^{-4}
I-133	7.3×10^{-4}	3.3×10^{-4}	(1.4×10^{-4})	(9.3×10^{-5})	5.9×10^{-5}

(文献5、10，25，26より引用、なお、(　)の数値は文献3および10を基に年齢補正した試算値)

表 D.1 農作物の保管可能期間の例

食品群別		品目	貯蔵温度(℃)	関係湿度(%)	保管可能期間
大分類	小分類				
果実類	柑橘類	普通みかん	3~5	85	約100日間程度
	りんご	りんご	-1.1~4.4	90	3~8ヶ月
野菜	葉菜	ほうれん草	0	95~100	10~14日
		キャベツ（秋冬）	0	90~95	3ヶ月
		キャベツ（早生）	0	98~100	5~6ヶ月
		はくさい	0	90~95	1~2ヶ月
			0	98~100	3~6週間
			0	90~95	50~70日
	果花菜	きゅうり	10~13	90~95	75日
			10~13	95~100	2~3ヶ月
		トマト（完熟）	2~7	90~95	2週間
		トマト（催色果）	10	90~95	1~3週間
		トマト（緑塾果）	13~21	90~95	1~3ヶ月
		ピーマン	10	90~95	2~3週間
			7~10	90~95	30~40日
	根菜	大根（葉付）	0	90~95	2~3ヶ月
		大根（葉切除）	0	95~100	2~4ヶ月
		大根（葉切除）	0	90~95	3~4ヶ月
		にんじん	0	98~100	7~9ヶ月
			0	95~100	2~4ヶ月
		たまねぎ	0	65~70	1~8ヶ月

（文献18より作成）

表 D.2　年齢階級別食品群別摂取量

食品群別	総　数	1-6歳	7-14歳	15-19歳	20-29歳	30-39歳	40-49歳	50-59歳	60-69歳	70歳以上
総　量	1397.1	945.6	1403.5	1388.3	1331.6	1398.8	1459.1	1574.8	1473.9	1305.7
穀　類	257.9	152.9	243.1	279.7	268.2	277.8	273.1	270.3	267.2	238.8
米　類	164.8	88	132.4	179	167.4	169.9	173.7	179.7	181.3	168.2
種実類	2.1	2.3	1.0	1.4	1.4	1.5	2.1	2.8	3.2	2.7
いも類	71.5	51.7	83	76.6	64.6	62	67.6	77.7	77.2	77.1
豆　類	72.5	41.6	62.1	55.4	60.1	64.9	71.5	87.8	91.9	85.4
果実類	115.5	104.9	108.4	98.5	78.5	75.7	101.1	149.4	156	141.4
緑黄色野菜	87.9	51.9	69	79.8	81.4	84.6	86.5	103.8	107.1	96
その他の野菜	172.7	82.4	151	156.3	161.1	170.2	184.5	200.5	195.8	184.6
きのこ類	14	6.2	9.9	11.6	13.6	14.4	14.9	18.6	16.1	13.4
海藻類	6	2.9	3.9	4.3	4.8	5.1	5.8	8.1	8.6	7.1
魚介類	95.9	44.8	65.7	78.8	85.7	88.6	104.1	124.3	117.8	103.1
肉　類	77.5	51.6	88.4	114.1	101.7	90.3	84.2	74.7	58	44.4
卵　類	40.5	29.2	40.6	51	43.6	42.5	45.6	41.7	36	33.4
乳　類	135	178.6	322.5	161.9	105.6	102.6	96.7	108.2	114	108.5

（文献7より引用）

表 D.3 農家世帯と非農家世帯の食品の摂取量の比較

	全国	農家	非農家	農家/全国	非農家/全国
総量	1352	1378.8	1348.4	1.020	0.997
さつまいも	10.5	14.7	10.0	1.400	0.952
じゃがいも	27.9	28.7	27.8	1.029	0.996
味噌	15.2	18.6	14.7	1.224	0.967
豆腐	35.5	38.6	35.1	1.087	0.989
柑橘類	48.4	50.6	48.1	1.045	0.994
りんご	28.5	26.2	28.8	0.919	1.011
その他の果実	35.9	43.3	34.9	1.206	0.972
にんじん	16.2	16.7	16.1	1.031	0.994
ほうれん草	20.4	21.9	20.2	1.074	0.990
トマト	12.7	7.0	13.5	0.551	1.063
大根	38.5	58.3	35.8	1.514	0.930
たまねぎ	23.8	24.3	23.7	1.021	0.996
キャベツ	19	19.8	18.9	1.042	0.995
はくさい	21.1	28.3	20.1	1.341	0.953
あじ、いわし類	12.6	15.1	12.3	1.198	0.976
いか、たこ、かに	18.6	19.2	18.5	1.032	0.995
魚介(生干し、乾物類)	7.8	7.8	7.8	1.000	1.000
牛肉	19.7	14.7	20.4	0.746	1.036
豚肉	26.2	24.0	26.4	0.916	1.008
鶏肉	18.6	19.4	18.5	1.043	0.995
牛乳	118.2	102.4	120.4	0.866	1.019

(文献21より作成)

表 D.4 農水産食品中の放射性核種の調理加工処理による除去率

品目	核種	起源	処理方法	除去率 (%)	除染係数*
葉菜					
キャベツ	^{90}Sr	フォールアウト	0.25% 酢酸 15分浸漬	26.8	0.73
レタス	^{90}Sr	フォールアウト	0.25% 酢酸 15分浸漬	59.6	0.40
果菜					
トマト	^{90}Sr	フォールアウト	1% 食塩水 30分浸漬	21.8	0.78
ピーマン	^{90}Sr	フォールアウト	1% 食塩水 30分浸漬	16.5	0.84
			水道水 30分浸漬	16.1	0.84
きゅうり	^{90}Sr	フォールアウト	1% 食塩水 30分浸漬	64.7	0.35
			皮取り	39.5	0.61
なす	^{90}Sr	フォールアウト	1% 食塩水 30分浸漬	65	0.35
			水道水 30分浸漬	59.1	0.41
			皮取り	27.9	0.72
			中性洗剤4.5ミリリットル/水道水2.5リットル 30分間浸漬	66.4	0.34
なすの果肉	^{90}Sr	フォールアウト	1% 食塩水 30分浸漬	64.9	0.35
			水道水 30分浸漬	53.8	0.46
豆類					
えだまめ	^{90}Sr	フォールアウト	5% 食塩水 12分煮沸	74.8	0.25
さやいんげん	^{90}Sr	フォールアウト	5% 食塩水 12分煮沸	17.4	0.83
穀物					
精米(玄米→白米)	^{90}Sr	フォールアウト	1959年、1962～1964年の多量降下年に採取した玄米からの精白	91.6 (88.9～95.2)	0.08
			1960～1961年、1965～1980年の少量降下年に採取した玄米からの精白	81.6 (64.3～88.1)	0.18
			1959～1980年の上記諸データの平均値	83.5 (64.3～95.2)	0.17
精米(玄米→白米)	^{90}Sr	フォールアウト	1990～1991年に採集した玄米からの精白	84.3 (82.0～96.5)	0.16
精米(玄米→白米)	^{137}Cs	フォールアウト	1966～1970年採取した玄米からの精白	66.0 (60.1～79.7)	0.34
			1990～1992年採取した玄米からの精白	63.9 (57.0～69.1)	0.36
嗜好飲料					
茶葉	^{134}Cs, ^{137}Cs	フォールアウト	煮沸	6.7	0.93
魚介類					
はまぐり	^{90}Sr	フォールアウト	1% 食塩水洗浄	35.7	0.64
			3% 食塩水洗浄	74.7	0.25
			水道水洗浄	28.4	0.72
かき	^{90}Sr	フォールアウト	1% 食塩水洗浄	19.4	0.81
			3% 食塩水洗浄	28.8	0.71
			水道水洗浄	8.8	0.91
メキシコえび	^{90}Sr	フォールアウト	1% 食塩水洗浄	62.5	0.38
			3% 食塩水洗浄	72.1	0.28
			水道水洗浄	31.6	0.68

(文献9より)

*) 除染係数 = 1 - [除去率(%)÷100]

表D.5　葉菜、果実および根菜中の放射性核種の調理加工処理による残留の割合

種類（汚染の経路）	品　目	処 理 方 法	Sr	Cs	I	その他の核種	歩留まり*
野　　菜	ほうれんそう	水洗い	0.2	0.2-0.9	0.07-0.8	Ru:0.4-0.8	1.0
（表面沈着）		水洗いとあく抜き	0.4-0.7	0.2-0.9	0.6-0.7	Ru:0.5-0.8	0.8
	レタス	水洗い		0.2-1.0	0.1-0.5	Ru:0.2	1.0
		可食部以外を除く		0.1-0.4	0.1-0.4	Ru:0.01-0.3	0.7
	キャベツ	可食部以外を除く		0.9	0.5	Ru:0.7-1.0	0.8
		水洗い	0.07	0.09	0.4		1.0
		水洗いとあく抜き	0.3	0.2-0.7			0.7
	豆　　類	水洗い					1.0
		あく抜き	0.3	0.3	0.7		0.9
		塩水選別	0.4	0.4			
	トマト	水洗い			0.5		1.0
		煮る			0.2		0.7
	たまねぎ	可食部以外を除く		0.2	0.2	Ru:0.2	0.9
		水洗い		0.3	0.2		1.0
	きのこ類	2% NaClで煮る		0.3			
野　菜、果　実	ほうれんそう	水洗い	0.4-1.0	0.6			1.0
（表面沈着+経根吸収）		水洗いとあく抜き	0.4-1.0	0.5-0.6			0.8
		缶詰	0.5	0.2			0.7
	レタス	可食部以外を除く		0.5			0.7
		あく抜き	0.3-0.9	0.1-0.6			0.5
	キャベツ	水洗い	0.3	0.9			1.0
		水洗いとあく抜き	0.4-1.0	0.1-1.0			0.7
	カリフラワー	皮むき		0.5			0.7
	豆　　類	あく抜き	0.3-1.0	0.6-0.9			0.9
		缶詰	0.3-0.8	0.4-1.0			
		塩水選別	0.6	1.0			
	トマト	水洗い	0.7				1.0
		皮むきおよび薄切り	0.7				0.9
		缶詰	0.8				
	たまねぎ	皮むき、水洗い、煮沸	0.5				
	きのこ類	煮る	0.7-0.9	0.2-0.5			0.6
		2% NaClで煮る	0.2				
		乾物を侵漬	0.1-0.2				
	きゅうり	漬ける		0.15			
		缶詰	0.35	0.06			
	も　　も	皮むき	0.5				0.9
		缶詰	0.5				
		アルカリで除皮	0.09	0.03			
	いちご	水でゆすぐ	0.7	0.6			1.0
	漿果（ベリー）	ピューレにする		0.6-0.8			0.6-0.8
		水でゆすぐ		0.8			
根　　菜	じゃがいも	ゆでて皮むき	0.9-1.0	0.8-0.9		Po:0.4-0.7	0.9
（経根吸収）		皮むき	0.5-0.9	0.6-0.8		Po:0.3-0.5	0.8
						Pu,Am:0.1-1.0	
		皮をむいてゆでる	0.7-0.8	0.6			0.8
	にんじん	皮むき	0.7	0.5		Pu,Am:0.4	
		皮つきで加熱		0.5-0.8			0.8-0.9

（文献24より）　　*)歩留まりPe＝原材料に対する調製品の重量比

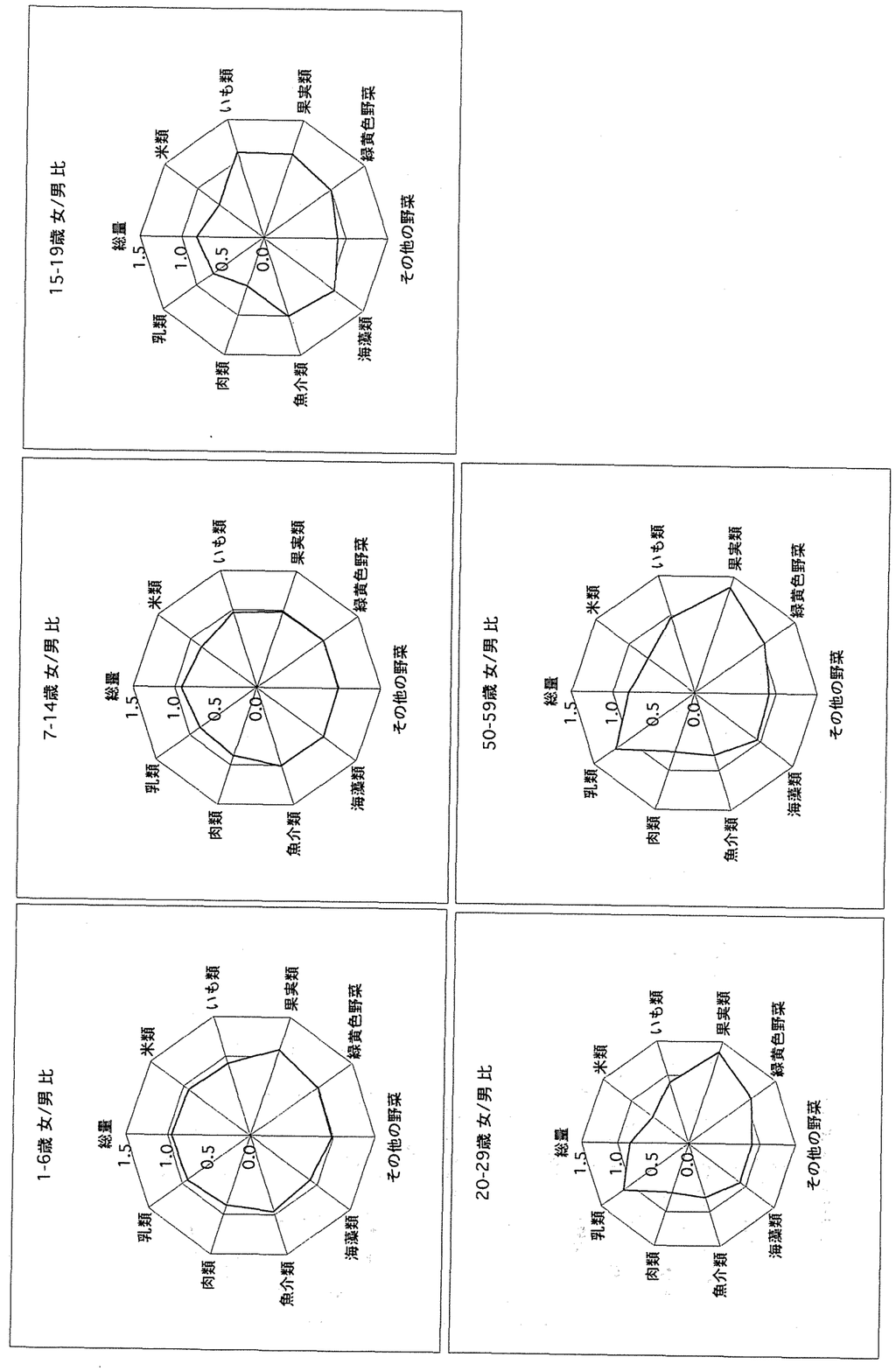

図 D.1　年齢階級別の食品群別摂取量全国値（抜粋）における女対男の比
（文献 7 から作成）

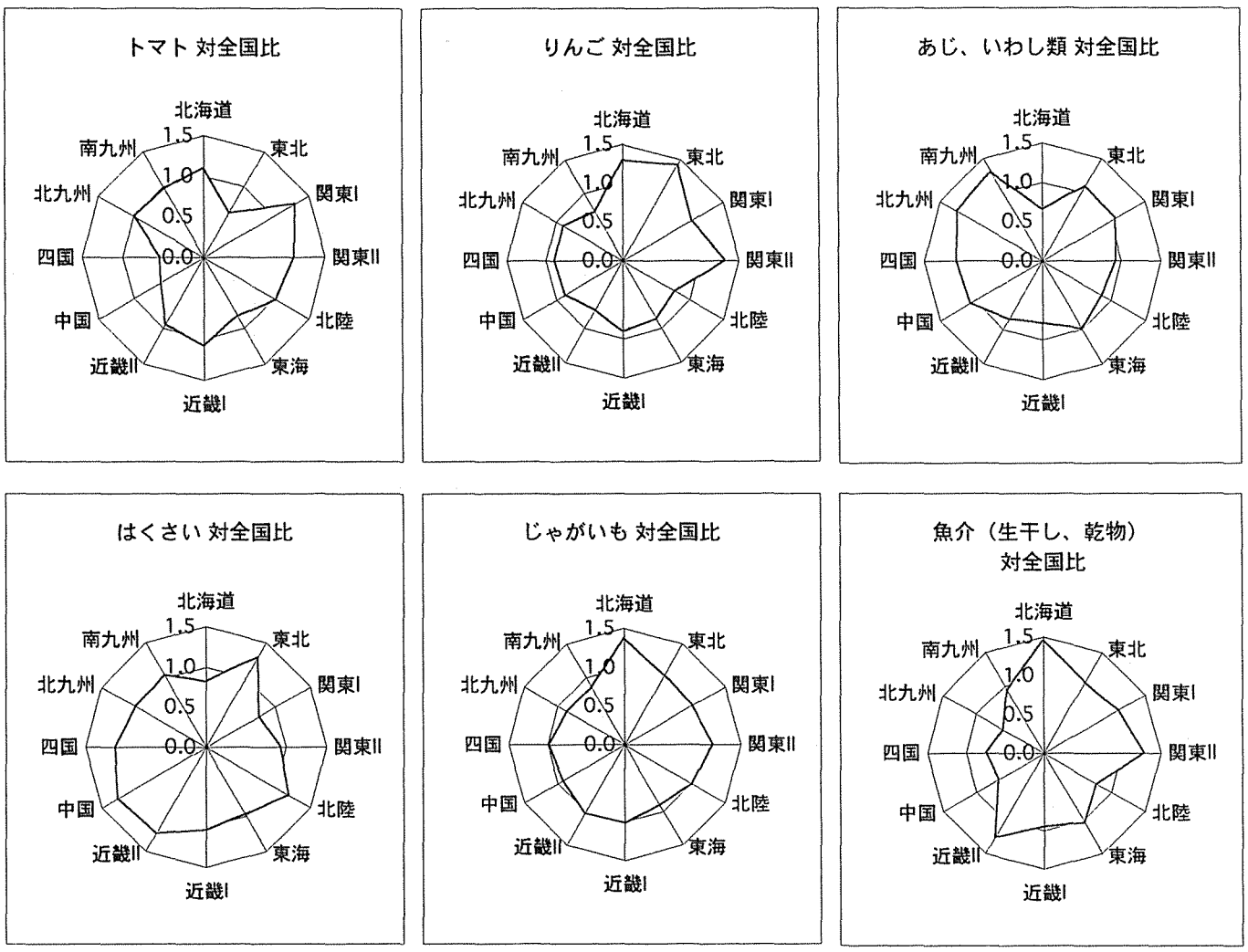

図 D.2　地域ブロックの食品群別摂取量の全国値に対する比率　（抜粋）
（文献 21 より作成）