

平成 23 年度 6 次産業化促進技術対策事業

# 災害時の緊急対応における食品の安全性確保

～東京電力福島第一原子力発電所事故による  
緊急時対応に係わる技術情報整理～

平成 24 年 3 月

社団法人 農林水産・食品産業技術振興協会



## 刊行にあたって

バブル崩壊以来、高齢化・少子化の影響もあって、我が国の社会経済の低迷期は 20 年以上に及んでいる。そうした状況は内需型産業の性格の強い食品産業ではより深刻であり、将来の産業発展のためには、国際市場も視野に入れた産業構造のイノベーションとその源泉である技術革新が喫緊の課題となっており、政府一体となった取組が進められている。

その一環として、(社)農林水産先端技術産業振興センター(STAFF)(現(社)農林水産・食品産業技術振興協会(JATAFF))は、平成 21～22 年度に農林水産省からの委託を受け「食品産業技術ロードマップ」の策定を行った。ロードマップでは、5 つの社会的要請領域として取り上げた、食の安全、品質管理の徹底、信頼性の確保 健康の維持・増進 資源の利用の効率化、コスト削減、副産物活用、廃棄物縮減・リサイクル、省エネ・CO2 削減 国産農畜水産物の利活用の増進、自給率向上、地域活性化への対応 生産性向上、の各分野で、5 年後の実用化を見すえて重点的に開発すべき技術内容等について、総勢 30 数名の専門家が総力を上げてまとめたもので、関係方面から高い評価を得ている。

平成 23 年度は、ロードマップのフォローアップとして、同じく農林水産省の事業を受け、上記の社会的要請領域の中で取り上げられた各種技術課題に優先順位を付けながら深耕し、研究計画として取りまとめる予定であったところ、平成 23 年 3 月 11 日の大震災による新たな事態の発生を受け、その対応や復興に向けて取り組むべき技術課題を緊急にまとめることとなり、特に原発事故による放射性物質による食品汚染に関連する技術開発課題について、文献調査や海外調査を含め重点的に検討を行った。海外調査には 1986 年のチェルノブイリ原発事故を経験し、今なおその影響下にあって、さまざまな規制の下にある EU の実態調査も含む。本冊子は、そうした一連の調査結果を取りまとめたものである。

ところで、この放射能物質による食品汚染問題に関しては、食品安全委員会が実施した「食品中に含まれる放射性物質の健康影響評価」において、これまでの許容年間線量を 5 ミリシーベルトから 1 ミリシーベルトへと引き下げられるべきとの結論を受け、厚生労働省はこれまでの食品中残留放射能の暫定基準に代わって、一般食品に関しては 500Bq/kg から 100 Bq/kg へと 5 倍、また飲料水は 200 Bq/kg から 10 Bq/kg へと 20 倍、牛乳は 200 Bq/kg から 50 Bq/kg へと 4 倍と厳しい基準を設け、さらに新たに 50 Bq/kg を基準とする乳児用食品の区分が設けられたところであり、基本的には平成 24 年 4 月から施行されることとなっている。

そうした状況の中で、放射能汚染という今後長期間にわたって取り組まなければならない困難な課題について、本冊子が関係者の理解を深める上で参考となれば幸いである。

最後に、本事業の推進に当たってご尽力をたまわった林 清委員長を初め、検討委員会及び専門部会の皆様方に衷心より厚く御礼を申し上げる。

平成 24 年 3 月

(社)農林水産・食品産業技術振興協会  
理事長 岩元睦夫

## ＜目次＞

I. はじめに 6次産業化促進技術検討委員会委員長 林 清	1
II. 緒言：本事業の目的と範囲	2
III. 放射性物質汚染問題に対する食品産業界のポリシーとニーズの整理	2
1. 食品産業各社の自社製品の安全性確保に係わる基本スタンス（ポリシー）	
2. 食品の放射性物質汚染に係わるアンケート調査結果（選択式）	
3. 食品の放射性物質汚染に係わるアンケート調査結果（記入式）	
IV. 我が国における分析法概要と資料リスト整理	6
1. 厚生労働省・農林水産省の食品・農産物に関する規制ガイドラインと検査	
2. 文部科学省放射能測定マニュアル(放射能測定シリーズ)	
3. 食品中の放射能測定に関連する参考資料・技術情報（日本アイソトープ協会）	
4. 食品関連の放射能・放射線測定受託検査機関に関する情報	
V. 欧州連合（EU）におけるモニタリング態勢	19
1. EUにおける環境放射能のモニタリング態勢、ならびに緊急対応の概要	
2. EUにおける規制値の変遷と、規制値に対する考え方	
3. 各論・1-EU内国別対応の一例：ベルギーにおける The Radiological Surveillance Program	
4. 各論・2-EUにおけるモニタリングデータの取り纏め	
5. 各論・3-EUにおける分析の精度管理、分析機関間・国際間のハーモナイゼーション	
VI. チェルノブイリ事故を教訓にしたグローバル企業の対応（ネスレ社を例にして）	26
1. 福島原発事故発生時のネスレ日本の対応	
2. チェルノブイリ原子力発電所発生当時の西ドイツの状況	
3. 『危機』から何を学ぶか	
VII. チェルノブイリ原発事故以降に実施された各種研究・調査報告の文献情報整理	31
1. インデックス	
2. 文献の邦訳要旨	
① <u>分析・測定法及び生物モニターについて</u>	39
【1】チェルノブイリ区域由来の完熟ダイズ種子のプロテオーム解析は汚染環境への植物の順応を示唆している	
【2】食品中の長寿命放射性セシウム、セシウム-134 及び セシウム-137、のガンマ線スペクトロメトリによる検出：試験室間共同試験の要約	
【3】チェルノブイリ地域で生育したアマ（flax）のプロテオミクス解析は、種子プロテオームへの汚染環境の影響は限定的であることを示唆している	
【4】液体シンチレーションカウンタを用いた排水中ストロンチウム-89 及びストロンチウム-90 の迅速分析法	
【5】環境大気中の放射能モニタリングをするための最適試料容量	
【6】放射線生物学：放射線防護の概念	
【7】内部被曝量測定に関する総説	

- 【8】 アルファ線やガンマ線を放出する放射性核種を含む液体試料の一段階前処理法による迅速スクリーニングと分析
- 【9】 放射線検出器の歴史
- 【10】 実験室用高純度ゲルマニウム検出器スペクトル分析システムの校正ドリフト
- 【11】 シミュレーション降雨での放射性汚染物質の堆積に関する粘着紙による捕集効率の測定
- 【12】 時系列的な空中リモートセンシングによるリブル川河口におけるセシウム-137 の移動及び堆積の予測
- 【13】 環境中のストロンチウム-90 の生物学的モニターとしての鹿の角

## ② 放射線被曝事故例について ----- 45

- 【14】 過去 60 年間の放射線事故

## ③ 日本からの報告 ----- 46

- 【15】 チェルノブイリ事故後の茨城から採集した試料のヨウ素-131 及び他の放射性核種
- 【16】 放射性セシウムの水田土壌への収着挙動における粘土鉱物の影響
- 【17】 サメに着目した放射能レベルの調査研究について
- 【18】 伊方沖の魚類中セシウム-137 濃度の変動要因について
- 【19】 再懸濁(resuspension)：日本における人工放射能堆積に関する 10 年間スケールのモニタリング
- 【20】 環境放射能調査研究成果論文抄録集(平成 21 年度)
- 【21】 漁場を見守る
- 【22】 平成 20 年度 環境放射能水準調査結果
- 【23】 日本で消費されるキノコ中のセシウム-137 とカリウム-40 の濃度及びそれらキノコの摂取による被曝量
- 【24】 東海村廃棄物処理プラント事故で放出された放射性セシウムの茨城県つくば市における大気濃度：予測と観測との比較
- 【25】 海産生物中の放射性セシウム濃度とその変動
- 【26】 チェルノブイリ原子炉事故後の日本での牛乳や雨水中のヨウ素-131 のモニタリングとヒト甲状腺線量当量の推定
- 【27】 松の木に含まれる放射性セシウムと安定同位体元素の分布
- 【28】 水田土壌からコメへの放射性核種と安定同位体元素の取り込み

## ④ 核種の移動及び環境影響等について ----- 52

- 【29】 放射線核種の大量放出による健康への影響、農業システムにおける物理的移動と化学的・生物学的プロセス
- 【30】 オーストリアにおけるチェルノブイリ放射性降下物に由来する食物汚染調査
- 【31】 チェルノブイリ事故からの生態学的な教訓
- 【32】 チェルノブイリ地方のシジュウカラ (Parus) 卵中の抗酸化物質と孵化能
- 【33】 ハンガリーのフードチェーンにおける放射性核種監視の戦略
- 【34】 チェルノブイリの放射性核種分布と移動、並びに、環境と農業への影響
- 【35】 チェルノブイリ事故 10 年後のチェコ共和国森林でのトウヒ樹皮におけるセシウム-137 放射能分布及び樹皮総合移行率 (bark aggregated transfer factor) に関する遡及的分析
- 【36】 チェルノブイリ放射性核種の分布と移動
- 【37】 含水率、地球規模のセシウム-137 降下物の草地土壌での深度プロファイル及び外部ガンマ線線量率の変動
- 【38】 ギリシャ周辺の海洋表層のセシウム-137 濃度
- 【39】 廃棄物処理場候補地の土壌からのセシウム-137 及びコバルト-60 の拡散移動に関する実験室における研究
- 【40】 汚染された森林生態系の生物循環にでの安定同位体セシウムと放射性セシウムの平衡
- 【41】 過湿潤低山帯の森林生態系におけるアルカリ金属に関連した  $^{137}\text{Cs}$  の分布と取り込み
- 【42】 温帯林生態系における移行パラメータ値：総説
- 【43】 放射性物質の根圏吸収と移行係数の変動に影響する環境プロセス：総説

## ⑤ モデル・シナリオ・提言等について ----- 60

- 【44】 戦略モデルを用いた仮想的汚染シナリオにおける最適な農業対策措置の特定
- 【45】 放射性物質が混入した食品サプライチェーンの復旧におけるフィンランドの利害関係者 (stakeholder) の活動
- 【46】 放射能汚染事故における家庭及びケータリング業での対応策
- 【47】 牧草地の放射能汚染時における乳牛への清浄給餌のコストと実用性
- 【48】 放射能漏出事故での食品の放射線防護対策のための ALARA (as low as reasonably achievable) アプローチ
- 【49】 土壌中における放射性降下物の拡散様式：濃度・深度相関プロファイルに及ぼす吸着特性の不均一性の影響

- 【50】 非耕作草地土壌における放射性核種の垂直方向への移動  
【51】 牧草地の土壌におけるセシウム-137 の垂直移動の空間的多様性と長期予測への影響

⑥ 植物（農作物を除く）への移行及び影響等について ----- 63

- 【52】 洪水後の放射性セシウムの根吸収変化を予測するための実験法  
【53】 植生により捕捉された放射性エアロゾルの測定値の解析  
【54】 泥炭地植生におけるカリウム、放射性降下物セシウム-134、及びセシウム-137 の土壌から植物への移行の季節的变化  
【55】 放射性セシウムの土壌－植物移行モデルの改良（使用パラメーターの縮小）と評価  
【56】 植生へのヨウ素沈着及び植生上におけるヨウ素の生物学的半減期の測定  
【57】 セシウム-134を含む模擬落下物のマツ及びオークへの残留  
【58】 次亜ヨウ素酸（HOI）としてのヨウ素-131 の大気中から植物への移行  
【59】 水耕栽培条件下で栽培されたヒマワリのセシウム-137 及びストロンチウム-90 の吸収  
【60】 木材灰を施肥後の泥炭地森林におけるベリー類、キノコ、ヨーロッパアカマツの針葉によるセシウム-137 の吸収  
【61】 植物による放射性セシウムの吸収：そのメカニズム、制御及び応用に関するレビュー  
【62】 ヨーロッパアカマツ植林が、チェルノブイリ赤い森の廃棄物埋設地点からのセシウム-137 及びストロンチウム-90 の長期的な再循環に与える影響  
【63】 植物におけるセシウム-134 の取り込みの土壌特性及び時間との関係  
【64】 ヒマワリ、ヨシ、ポプラのセシウム-137 吸収に関する実験室条件下での解析  
【65】 アイルランドの半自然生態系における植物中の放射性セシウム濃度の長期的傾向

⑦ 地衣類・コケ類について ----- 70

- 【66】 中央スウェーデンにおける地衣類(*Cladonia alpestris*)試料中のヨウ素-129 及びセシウム-137 濃度レベルと起源  
【67】 25 年間に及ぶ陸生及び水生生物による放射性核種のモニタリング  
【68】 天然及び人工放射性核種の生物への蓄積を長期間モニタリングする際のモデルとしての地衣類の有効性  
【69】 半自然生態系のコケ類へのウラン-238、ラジウム-226、トリウム-232、カリウム-40 及びセシウム-137 の移行  
【70】 アーバスキューラ菌根菌がタルウマゴヤシ中の放射性セシウム蓄積を減少させる  
【71】 森林生態系での放射性核種の移行と循環における菌類の役割

⑧ 食物連鎖・生体濃縮等について ----- 74

- 【72】 放射線汚染食品と住民の被曝線量  
【73】 トナカイにおける放射性セシウムの吸収、保持及び組織分布：食事及び放射性セシウム起源の効果  
【74】 チェルノブイリ事故に伴うセシウム-137 放射性降下物のデータを活用した食物連鎖モデルの検証及び農業分野における対応措置の有効性に関する考察  
【75】 1998 年から 2008 年の期間の、南部ドイツ地域に生息するイノシシ (wild boar) のセシウム-137 汚染濃度の経時変化  
【76】 放射性セシウムの起源が放射性降下物のトナカイ肉への移行に与える影響  
【77】 セシウムを実験的に添加した場合に観察されるため池中の異なる栄養段階の水生生物によるセシウムの蓄積  
【78】 チェルノブイリ放射性核種による食品及び人体の汚染  
【79】 ネバダ試験区域における放射性核種の土壌から空气中、野生植物、カンガルーネズミ、放牧牛への移行  
【80】 チェルノブイリ原子力発電所周辺地域に生息する無脊椎動物中のプルトニウム、セシウム-137 及びストロンチウム-90  
【81】 ヒース蜂蜜中のチェルノブイリ事故由来放射性セシウムとその蓄積パターンへの依存度

⑨ 野菜・果実について ----- 79

- 【82】 セシウム、ストロンチウム及びルテニウムの牧草・野菜への移行に関する動的モデルの構築  
【83】 香港で消費される 3 種類の野菜へのセシウム-137 の移行 (transfer) の評価  
【84】 気体放射性ヨウ素及び粒子状放射性セシウムの葉物野菜への乾性沈着  
【85】 火山灰土壌（黒ボク土）から作物への放射性ヨウ素の移行要因  
【86】 ベリー類等ツツジ科植物における放射性降下物セシウム-137 の蓄積  
【87】 チェルノブイリ事故後の野菜におけるヨード含量の変化

- 【88】 土壌から白菜への放射性セシウムとストロンチウムの移行におけるカリウムとカルシウムの同時施用効果
- 【89】 土壌から果実植物への放射性核種の移行
- 【90】 ブドウの木による  $^{134}\text{Cs}$  と  $^{85}\text{Sr}$  の取り込みブドウの葉と生育土壌への取り込み
- 【91】 トマト栽培における  $^{134}\text{Cs}$ 、 $^{85}\text{Sr}$  及び  $^{65}\text{Zn}$  の茎葉部と根への取り込み
- 【92】 イチゴにおける  $^{134}\text{Cs}$  及び  $^{85}\text{Sr}$  の茎葉部への取り込みと葉齢の関係
- 【93】 チェルノブイリ事故によって生じた果樹への放射性セシウムによる長期的汚染
- 【94】 チェルノブイリ事故後の果樹での放射性セシウムの動態

#### ⑩ 穀物について ----- 85

- 【95】 秋まき小麦における放射性降下物セシウム-137 及びストロンチウム-90 の土壌から穀物への移行の品種内変動
- 【96】 仮想的原子炉事故によって放出された放射性セシウムと放射性ストロンチウムの温室栽培条件下における遮断、残存、移行
- 【97】 春播き小麦 6 品種におけるセシウム-137 及びストロンチウム-90 の蓄積能比較

#### ⑪ キノコについて ----- 87

- 【98】 栽培キノコ及び培地中における放射性セシウム濃度
- 【99】 糸状土壌細菌 *Streptomyces* sp. K202 株のセシウム蓄積特性
- 【100】 キノコにおける放射性核種セシウム-137の蓄積
- 【101】 南ポーランド森林地帯における各種キノコ中のセシウム-137とカリウム-40
- 【102】 環境におけるマッシュルームによる放射性セシウムの蓄積：文献レビュー

#### ⑫ ミルク・乳製品について ----- 89

- 【103】 オーストリアアルプス地帯の農業におけるセシウム-137 及びストロンチウム-90 のミルクへの移行
- 【104】 チェルノブイリ原子炉事故で放出されたヨウ素-131 及びセシウム-137 のミルクへの移行
- 【105】 西欧各地域産のエメンタルタイプのチーズに含まれるストロンチウム-90、ウラン-238ウラン-234、セシウム-137、カリウム-40、プルトニウム-239/240
- 【106】 チェルノブイリ事故後の牧草・乳牛・牛乳経路におけるヨウ素とセシウムの移行
- 【107】 放射性物質降下後のミルク中のセシウム濃度の長期的減少
- 【108】 チェルノブイリ事故後のセシウム-137汚染食品の摂取による内部被曝 報告1. 一般モデル：ウクライナ・リウネ州（Rovno Oblast）の成人の摂食放射線量と被曝対策の効果
- 【109】 牛乳のヨウ素移行係数値の再評価
- 【110】 放射性セシウムの食品への移行に関する時間的及び空間的予測
- 【111】 チェルノブイリ原子炉事故後に生じた放射性降下物に含まれる放射性同位体（ヨウ素-131、セシウム-134及びセシウム-137）のチーズ製品への移行
- 【112】 牛乳からチーズへの放射性セシウム及び放射性ストロンチウムの移行過程における変動
- 【113】 低地と高地の牧場における放射性降下物ストロンチウムとセシウムの植物から牛乳への移行
- 【114】 土壌や植生と比べて高地での乳製品での放射性核種活性の低変動性：環境調査への有効性
- 【115】 チェルノブイリ事故後の食堂での食品からの  $^{137}\text{Cs}$  取り込み

#### ⑬ 畜産物・食肉等について ----- 95

- 【116】 放射性核種の畜産物への移行：移行係数の改訂推奨値
- 【117】 塩性湿地植物から羊の組織、ミルクへの放射線核種の移行
- 【118】 異なる環境源からの放射性セシウムの雌羊と授乳期の子羊への移行
- 【119】 ヒトが摂食する動物肝臓中のプルトニウム-239/240 とセシウム-137 降下物量
- 【120】 様々な放射性核種の畜産物への移行係数の算定
- 【121】 常在性の安定同位体元素（特にヨウ素）を用いた家畜製品への放射性核種の移行係数の検証
- 【122】 異なるタイプのハチミツ中に含まれるプルトニウム-239/240、セシウム-137、ストロンチウム-90 及びカリウム-40
- 【123】 反芻動物への放射性セシウムの移行に影響を与える生理学的パラメータ
- 【124】 トナカイにおける放射性セシウムの吸収、残存及び組織分布：食性及び放射性セシウム源の影響
- 【125】 家畜動物における放射性核種の挙動に関するロシア語研究論文に関する総説：第 1 部 腸管吸収について

⑭ <u>淡水・海水生物について</u> .....	100
【126】放射性核種の淡水生物相への移行に関する国際的モデルの妥当性確認試験 【127】アリューシャン列島アムチカ島及びキスカ島における海水魚及び海鳥中の放射性核種：基準の確立 【128】放射性核種の淡水生物相への移行に関するロシア語文献のレビュー 【129】小さな森林湖における魚類へのセシウム-137の移行 【130】海産生物と放射能－特に海産魚中のセシウム-137 濃度に影響を与える要因について－	
⑮ <u>基準値・規制等について</u> .....	102
【131】原子力事故後の給餌に利用する際の動物飼料中に含まれる放射線核種の作業レベル（working level）の算定 【132】放射線防護に関する国際委員会の歴史 【133】低線量と低線量率の意味すること	
⑯ <u>実効半減期について</u> .....	104
【134】チェルノブイリの放射性降下物によって汚染された、北東スコットランドの牧草地で放牧されている、子羊中のセシウム-137、セシウム-134 及び銀-110m 【135】陸上及び水中生態系におけるストロンチウム-90 とセシウム-137 の生態学的半減期 【136】放射能汚染された牧草におけるストロンチウム-85 及びセシウム-134 の実効半減期 【137】植物に堆積する放射性核種の環境半減期の調査 【138】刈り取った植物の放射線評価における高い土壌植物間濃縮比の影響についての検討 【139】環境中のセシウム-137の崩壊 【140】放射性物質下降後の食品中セシウム含量の長期的減少	
⑰ <u>防護措置等について</u> .....	107
【141】チェルノブイリの放射能で汚染された地域の防護措置 【142】チェルノブイリの事故後の20年間にわたる農業防護対策の実施：学んだ教訓 【143】放射線防護剤の歴史と開発 【144】チェルノブイリ事故後の長期にわたるロシア連邦の農村集落での住民被曝と防護措置実施に関わる重要な要因 【145】放射線防護：現状と将来展望 【146】牛乳中の安定同位体及び放射性ヨウ素濃度：ヨウ素の摂取量の影響 【147】セシウム-137 汚染土壌浄化を目的とする台湾原産植物種の評価とセシウム-137 の土壌から植物への移行におけるカリウム添加及び土壌改良の効果 【148】野菜によるセシウム-134 の取り込みは酸性土壌に施用される消石灰に影響される 【149】放射線生態学、放射線生物学そして放射線防護：枠組みと問題点 【150】米国における放射線防護規定、勧告と規範の歴史 【151】放射線防護剤：現状と今後の展望	
⑱ <u>低減措置等について</u> .....	112
【152】低レベルウラン汚染土壌のクリーンアップのための植物を利用した環境浄化（phytoextraction） 【153】チェルノブイリ事故後 20 年間にわたる農業分野での対応措置に関する総合的レビュー 【154】チェルノブイリ汚染地域における湖岸住民の内部被曝の主要因は湖水魚である 【155】ラットのヨウ素-131曝露に対するヨウ化カリウム及び過塩素酸アンモニウム投与による改善効果の評価 【156】北方林生態系での植物及び菌類中のセシウム-137 レベルに関するカリウム単独施肥の長期的効果 【157】アルギン酸カルシウム、フェリシアン化鉄（II）、ヨウ化カリウム及び亜鉛－DTPA 同時経口摂取によるラット中のストロンチウム-85、セシウム-137、ヨウ素-131、セリウム-141 体内残留の減少 【158】乳畜ミルク中の放射性ヨウ素を減少させる方策に関するレビュー 【159】セシウムとフェリシアン化鉄（プルシアンブルー：Prussian blue）の結合に関する定量解析 【160】"金属フェロシアン化物－陰イオン交換樹脂"による牛乳及び水中のセシウム-137とヨウ素-131の同時吸着 【161】畜産物の放射性セシウム汚染低減のための形態の異なるヘキサシアノ鉄酸剤のロシアでの利用 【162】飲料水及び淡水食材（淡水魚など）からの放射線被曝を低減させる措置に関する批評的総説 【163】チェルノブイリ放射性核種の体外排出 【164】香港での淡水養殖魚の放射能汚染に対する各種防護対策による摂取線量の低減 【165】ベラルーシにおけるセシウム-137、ストロンチウム-90汚染農地の修復対策とその実践	



【166】	「チェルノブイリ」事故下の子供がリンゴペクチンを摂取することで体内のセシウム-137量は減少する	
【167】	チェルノブイリ事故下の子供にみられる、セシウム-137 量、循環器症状及び食品との関係 - リンゴペクチン経口摂取後の予備調査結果 -	
【168】	現在のベラルーシの子供におけるセシウム-137 体内放射線量に関する研究 - 体内放射線量はさらに減少できるか？	
【169】	ラットにおけるセシウム-137 除染に関するプルシアンブルー及びリンゴペクチンの有効性の比較	
⑩	<u>調理・加工について</u>	121
【170】	加工処理が食品における放射性物質の含量に及ぼす影響	
【171】	葉物野菜の放射性核種の濃度（調理での低減について）	
【172】	調理による葉物野菜、海藻のヨウ素-131 の低減	
【173】	調理過程における汚染ニホンナマズからのセシウム-137 除去	
【174】	大麦からビールへのセシウム-137の移行	
【175】	ヨウ素-131 で汚染された野菜での放射能の保持と除去	
【176】	野菜と果実の保存前処理における放射性ストロンチウム及びセシウムの除去	
【177】	実験室レベルの加工操作での野菜からの放射性ストロンチウム、セシウムの除去	
【178】	ミルクからの放射能除去 - 総説	
⑪	<u>消費者行動について</u>	125
【179】	食物連鎖の放射線汚染後における食の安全及びその管理の受容	
【180】	ベルギーにおける放射性汚染後の農業分野での対策に対する当事者グループの態度：ベルギー E C -FARMING グループ内における総合議論	
【181】	食の品質と安全性 - 消費者知覚と公衆衛生の観点から	
【182】	チェルノブイリ事故後の発がんリスクに対する心理的反応	
【183】	チェルノブイリ：リスクと不確実さのもとで生きる	
【184】	ベラルーシにおけるチェルノブイリ事故による長期的心理的苦痛のマルチレベル分析	
【185】	英国における放射性リスク情報源に対する信用度	
【186】	チェルノブイリ事故後のリスク認知と不安	
【187】	汚染地域の持続的回復と長期的マネジメントの倫理的要因	
【188】	汚染区域で生きる：当事者関与の教訓	
VIII.	終りにあたって 6 次産業化促進技術検討専門部会取り纏め役 川本伸一	131
IX.	6 次産業化促進技術検討委員会・専門部会委員名簿	133

## I. はじめに

6次産業化促進技術検討委員会委員長 林 清

農水省から平成23年度6次産業化促進技術対策事業の委託を受け、昨年10月7日に第1回6次産業化促進技術検討委員会を開催した。本年度は災害時の緊急対応について、「食品の安全性確保」を視点に検討したいとの要請があり、検討委員会の下に、各界エキスパートからなる専門部会を立ち上げ、初期の目的を達成すべく専門部会の活動を継続した。

とりわけ、福島第一原発事故対応に苦慮している食品産業からの要望や指摘事項を背景に、放射性物質の食品影響問題に産業界が的確に対応していく上で参考となる情報について検討した結果、以下の4方向に重点をおいた。

- ①諸外国におけるチェルノブイリ原発事故対応を明らかにするため、関連文献の調査・整理
- ②我が国の放射性物質分析法の概要と資料リストの整理
- ③欧州におけるモニタリング態勢の把握
- ④チェルノブイリ事故を教訓にしたグローバル企業の対応例調査

一方、昨年10月の事業着手時とは異なる状況として、本年4月を目処に「新基準値」が施行される予定となった。新基準値は、より安全側に立ったものであり、現行の暫定規制値の1/5程度の低い値となることから、試料のサンプリング誤差、NaI (TI) 簡易測定方法の有効性、ゲルマニウム型精密測定方法等の点で注意を要し、食品産業界では既にこの新基準値に対応した動きが見られる。

こうした状況下、出荷制限等のリスク管理が功を奏し、放射性物質の農作物への影響はほとんど認められないという状況である。厚生労働省発表資料では平成24年1月に測定した農産物は1万点強であり、検出限界未満が98.5%であり、暫定規制値越えは1点のみという状況である。さらに、このことを明確に裏付けるデータが「コープふくしま」から公表されている。組合員の協力を得て、毎食家族人数より1人分余計に食事を作り、それを2日分（6食＋おやつや飲料などを含む）保存し測定した。その結果、51世帯中、1Bq/kg以上の放射性セシウムが検出されたのはわずかに6家庭であり、最も多く検出した食事でも放射性セシウム137+134の量は11.7Bq/kgであった。この量は、51家庭いずれでも検出されている放射性カリウムの変動幅（15～56Bq/kg）のほぼ4分の1程度であった。仮に今回測定した食事と同じ食事を1年間続けた場合の放射性セシウムの実効線量（内部ひばく量）は、年間合計約0.01～0.14mSv以下と、極めて低線量である。

既に農水省を中心に「食べて応援しよう」等のキャッチフレーズで応援消費キャンペーンが展開され、それに呼応したイベントも数多く開催され、賛同する消費者が着実に増加している。6次産業化促進技術検討委員会でとりまとめた本報告書に加え、今後、食品に含まれる放射性物質の詳細な測定結果とその科学的説明がなされ、こうした科学的根拠が消費者の安全・安心につながり、風評被害が解消され、産地ならびに食品産業界が活力を取り戻すことが強く望まれる。

## Ⅱ．本事業の目的と範囲

本事業の目的は災害時の緊急対応の中で、食品産業が食品の安全性を確保していくために必要とする技術情報を整理していくことにあり、平成 23 年 3 月に発生した東京電力福島第一原子力発電所（以下、福島原発と略）事故発生から約 11 ヶ月にわたる緊急対応を振り返る一方で、チェルノブイリ原子力発電所事故（1986 年 4 月）を先行事例として、関連する技術情報を取り纏めようとしたものである。

昨年 10 月に、各界の有識者からなる 6 次産業化促進技術検討委員会（委員名簿：133 頁）を開催し、後述する食品産業のポリシーやニーズをもとに、本事業では以下の 4 点について関連技術情報を整理していくことが確認された：

- A) チェルノブイリ原発事故以降に実施された各種研究・調査報告の文献情報整理
- B) 我が国の分析法の概要と資料リストの整理
- C) 欧州におけるモニタリング態勢の把握
- D) チェルノブイリ事故を教訓にしたグローバル企業の対応例についての調査

そして、これら 4 点の各論的な調査や技術情報整理は関連する分野のエキスパートから構成される専門部会（委員名簿：133 頁）に委ねられることとなり、最終的な取り纏め案の内容は、委員会と専門部会による合同会議（平成 24 年 2 月 3 日）において確認されたものである。

繰り返しにはなるが、本事業は、福島原発事故発生から約 11 ヶ月にわたる緊急時対応を取り扱ったものであり、本年 4 月より施行が予定されている「食品中の放射性物質の新たな基準値」への直接的な対応を意図したものではない。しかしながら、新基準値の下においても、食品の放射性物質汚染をモニタリングする際、“内外技術情報を良く把握しながら、検査測定のを高めることによって、検査結果に対する納得性を高めていく必要性”は共通であり、“災害時の緊急対応における食品の安全性確保への社内体制整備など”はこれからの課題でもある。本報告書が、今後の対応の中でも広く参照されていくことを期待するものである。

## Ⅲ．放射性物質汚染問題に対する食品産業界のポリシーとニーズの整理

福島原発事故後、食品産業界は国内的には暫定規制値に対応する一方で、各国の輸入検査の強化に伴って食品添加物を含む輸出用加工食品に輸出証明（検査証明、製造地証明）が要求されるなどの緊急対応が必要となった。当時は、①証明書の申請窓口として、水産物は水産庁、農産物は各地方の農政局（農林水産省）となっており、加工食品（食品添加物を含む）の窓口は定めておらず、一方、②国内の認定検査機関は農水産物と飲料水中の放射性物質分析のためフル稼働で、加工食品中の放射性物質に分析対応できる状況ではなく課題山積であったが、食品業界からの要望を受けて行政的な対処がなされ、特に EU 向け輸出食品に関する当初の混乱は昨年 4 月末頃までに沈静化するところとなった。その後、EU 以外の国々への対応についても行政措置がとられた結果、懸案の中国向けについても、中国政府からは平成 23 年 11 月 24 日付で、事故直後から続いていた日本産食品への輸入規制を実質的に解除することが正式に通告され、加工食品や日本酒、調味料などの大半の食品について、日本の政府機関が発行する原産地証明書を添付すれば輸入が認められることになった。但し、福島県、栃木県、群馬県、茨城県、千葉県、宮城県、新潟県、長野県、埼玉県、東京都の 10 都県産の食品については、「放射能の影響が懸念される」として、引き続き日本からの加工食品の輸入を全面的に禁止している。この間、国内的にはお茶や牛肉などからの放射性セシウム検出問題があり、その汚染メカニズムを解明しながら防止策が打たれてきた。

このような内外情勢の中で、平成 23 年 8 月～10 月に、当時の(社)農林水産先端技術産業振興センター（現、(社)農林水産・食品産業技術情報協会：JATAFF）の安全性・品質保証部会では、食

品産業の食品放射線汚染に対する基本的考え方を確認した上で、部会会員を中心に食品大手 61 社を対象に福島原発事故に係わる緊急対応についてアンケート調査(国内・海外両対応への課題)を実施した。アンケートは選択式と記入式による調査であり、得られた 28 社よりの回答をもとに放射性物質汚染問題に対して食品産業界が抱える課題の把握につとめた。このアンケート結果から導き出される「食品産業ニーズ」は、本事業の目的である「災害時の緊急対応の中で、食品産業が食品の安全性を確保していくために必要とする技術情報整理」のベースを構成するものであり、上述の 6 次産業化促進技術検討委員会において確認された 4 点の情報整理の方向性はこれに基づくものである。全企業数の 99%以上が中小企業からなる食品産業にあって、本アンケート結果の意味を問う声であろうが、大部分の食品産業が当時、抱えた多くの疑問と課題を包含し、代弁するものとして取り扱うこととした。以下にその要点を整理した：

### 1. 食品産業各社の自社製品の安全性確保に係わる基本スタンス（ポリシー）

食品産業各社の自社製品（主に加工食品）の放射線汚染に対する基本的考え方につき、上述の JATAFF 安全性・品質保証部会で議論され、次の通り確認された。すなわち：

【当社は製品の製造にあたり、基本的に、行政による「継続的なモニタリング」と「規制値を超えた食品を流通させない取組み」によって、食品の安全は確保されていると考えております】

### 2. 食品の放射性物質汚染に係わるアンケート調査結果（選択式による実態調査）

- 1) 放射線量の測定に関しては、多くの回答者は自社で簡易分析を実施しており、精密分析に関しては、自社で実施しているケースもあるが、多くは外部委託で対応。
- 2) 放射性物質の消長・動態分析に関しては、加工食品の原料を対象とする場合は自社で分析しているケースが多いが、産地との協同分析も散見される。原料の搬入、保管工程を対象とする場合は一部、自社で実施しているものの、多くはこれを実施していない。加工・調理工程を対象とする放射性物質の消長・動態分析に関しては、回答者の半数が実施している。加工食品の原料の栽培地（土壌、飼料）を分析しているとする回答は僅かである。
- 3) 暫定規制値についての質問で、原料汚染が規制値以下の場合の対応に関しては、多くはその原料を使用すると回答している。さらに、製品が規制値以下で汚染されている場合も、同様に多くは出荷すると回答。回答の背景には、【当社は製品の製造にあたり、基本的に、行政による「継続的なモニタリング」と「規制値を超えた食品を流通させない取組み」によって、食品の安全は確保されていると考えております】との基本的考え方があると思われる。
- 4) 顧客対応に関しては、殆ど全ての回答者が説明マニュアルを作成済みである。
- 5) 加工食品の輸出に係わる行政対応に関し、多くの回答者は地方行政対応を問題なしとしているが、中央省庁の対応に関しては、半数が不十分と回答している。海外の輸入検査強化への迅速対応を求める声の反映ではないかと思われる。
- 6) 顧客への説明の観点から日本政府の対応に関して、政府は、一般消費者に対して規制値の根拠や分析値の意味するところを分かりやすく丁寧に説明すべきであるとしている。また、安全性に係わる部分にプラスして、緊急時迅速放射能影響予測ネットワークシステム（SPEEDI）のデータを日本地図で公開するなど、速やかな情報公開を心掛けるべきであるとの意見が強くみられた。これは、消費者の不信感は政府の不適切な告知や説明に起因するとの考えに基づくものと思われた。

### 3. 食品の放射性物質汚染に係わるアンケート調査結果（記入式による実態調査）

記入式による実態調査では下記の質問項目に対して、ここまでに解決された課題、今後解決すべき課題、それに潜在的な課題を具体的に記述してもらうこととした：

（国内）

- 放射線量の分析方法（簡易分析、精密分析、認定機関への依頼分析）
- 放射性物質の消長・動態（原料の栽培地、原料の搬入・保管、加工・調理工程）

- 政府の暫定規制値（考え方・対応方法、数値、表示）
- 顧客への説明（生産者・流通・消費者、製品の放射能分析結果、顧客からの質問対応）
- 行政対応

（海外）

- 輸入国の規制状況、政府の支援

（自由意見）

- マスメディア、報道、風評被害、関連業界団体の対応状況

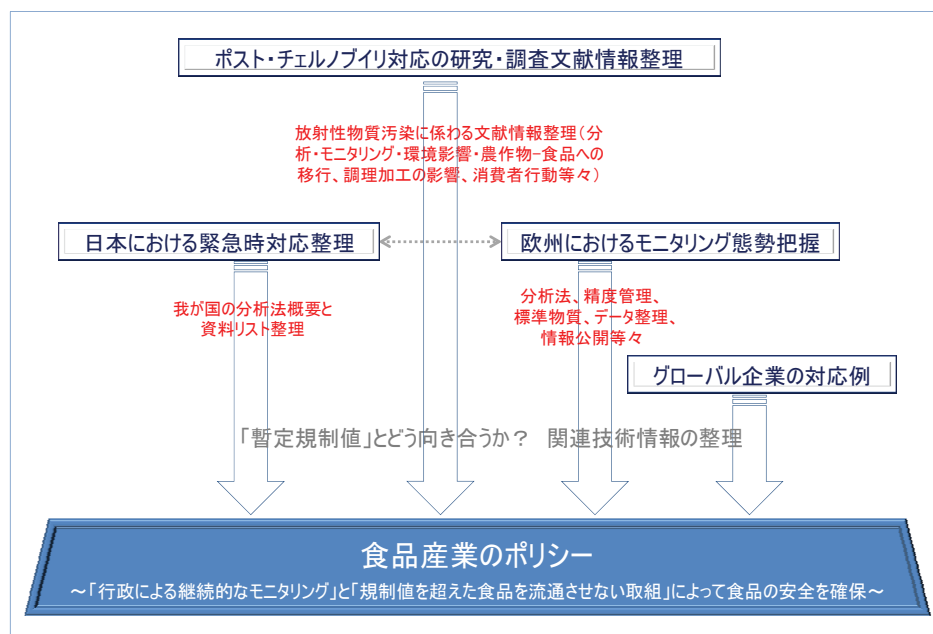
以下にニーズが大きいと思われる意見を抽出し、整理した：

- 1) 放射線量の分析方法(簡易分析、精密分析)：潜在的な課題
  - ① 規制値が厳しくなるなど状況が変化したときのために、精度の高い簡易測定機器を用意する必要がある
  - ② 今後、規制値がより厳しくなると分析上の問題が顕在化し、NaI(Tl)シンチレーションスペクトロメータでは対応できなくなる可能性がある。その解決策として新たな高精度・高効率分析法を開発して欲しい。
  - ③ 分析した後、たとえ規制値内であっても放射性物質が検出された時の原料、製品の処置はどうあるべきか、悩ましい問題である。
  - ④ ストロンチウム、プルトニウム等の公定法による検査を確立すること。
  - ⑤ 関連文献情報の整理とともに、我が国の分析法の概要と関連する資料リストの整理が必要
  - ⑥ 分析結果の納得性を高めていくためには分析の質を高めていく必要があり、教育指導、検定など精度管理の強化が急務。
- 2) 定性分析、定量分析（認定機関への依頼分析）：潜在的な課題
  - ① 少量多品種の製品を扱う加工食品産業界では、検査回数が多くなり、負担が甚大となる。
  - ② 状況が変化し、測定回数を増やす必要が生じたとき、分析依頼数の確保は容易でない。
- 3) 放射性物質の消長・動態（原料・製品）：今後解決すべき課題
  - ① 年間被曝量 1 mSv を基礎とした（今後設定されるであろう）新しい規制値への対応をどのように行うか大いに不安である。
  - ② 新規規制値への移行には、原料の切り替えを含めて十分な時間的余裕（準備期間）が欲しい
  - ③ 製品の品質が問題ない状態を継続して維持することが極めて重要と認識（規制値を超えない食品を継続的に流通させること）。
- 4) 放射性物質の消長・動態（原料・製品）：潜在的な課題
  - ① 今のモニタリング態勢では一部の原料が検査をすり抜けている可能性を否定できない。
  - ② 農産物原料確保のためには、汚染された農用地の除染が急務。
  - ③ 日本のモニタリングに関してチェルノブイリ事故後の欧州での対応状況や文献情報との対比が必要
- 5) 政府の暫定規制値について（考え方・対応方法）：潜在的な課題
  - ① 政府の暫定規制値に関する説明が不足。消費者が正しく理解しているとは思えない。
  - ② 暫定規制値と健康影響の因果関係の不明確さが消費者の不安感を増すことにつながっている。
- 6) 顧客への説明（製品の放射能分析結果）：潜在的な課題
  - ① 汚染の可能性がない製品についても、消費者の安心のためとの宣伝文句で検査を実施し、検査結果を公表する事業者が見られる。風評被害に繋がるものであり、行政による指導を求めたい。
  - ② 検査方法への理解が進まないまま、検査結果が一人歩きすると大きなリスクが発生する。
  - ③ 今後、製造ロット毎、あるいは高頻度の測定が求められたとき、検査回数の増加にどのように対応するか。
- 7) 顧客への説明（顧客からの質問への対応）：潜在的な課題

- ① 安全性に対する政府の考え方がみえてこず、行政への不信感からお客様相談室への問い合わせが増加する状況が続いている。
  - ② 消費者は、分析値が規制値内でもアレルギー反応（拒絶反応）を示すことが多い。
- 8) 海外、輸入国の規制状況：潜在的な課題
- ① 国レベルで緩和、改善されても、個々の得意先企業が社内基準を変えない例も多い。
  - ② 福島第一原発事故の収束がない限り、相手国の対応は今後もバラバラになる可能性があり、国際的な取り決めが必要である。
  - ③ 今後も日本産農水産物、食品に対して、根強い警戒感が残るものと思われる。
- 9) 海外、政府の支援
- ① 事態終結への明確な工程を明示した上で、除染作業などに対する抜本的な対策を望む。
  - ② 国家間の合意形成が不十分であり、また、政府の委嘱を受けた自治体の対応に一貫性がなく、産業界は振り回されるケースが多い。
- 10) 自由意見（マスメディア、報道）
- ① マスメディアは不安を煽る報道を慎み、消費者に対して規制値の根拠や分析値の意味するところを解説し、もっと正確に報道すべきである。
- 11) 自由意見（風評被害）
- ① 原産地表示や原産地情報の開示が特定地域の差別化にならないよう指導すべきである。
  - ② 風評被害の補償はきちんとなされるべきである。

本アンケート調査結果を受け、6 次産業化促進技術検討委員会・専門部会ではその討議の中で、これらが包含する食品産業ニーズについて詳しく検討を加え、潜在的なニーズをも発掘しながら、福島原発事故による緊急時対応に係わる技術情報整理の枠組みを、冒頭でも述べた下記 4 点に絞り込むこととした：

- A) チェルノブイリ原発事故以降に実施された放射性物質の分析法、放射性物質の消長・動態、消費者心理をも含む各種研究・調査報告などの文献情報整理（（邦文要約とインデックス付）
- B) 我が国の分析法（確定法・スクリーニング法を含めた通知・ガイドライン等）の概要と資料リストの整理
- C) 欧州におけるモニタリング態勢の把握：特に分析法の標準化やデータ解析に係わる調査
- D) チェルノブイリ事故を教訓にしたグローバル企業の対応例に係わる調査





## IV. 我が国における分析法概要と資料リスト整理

福島原発事故に伴う食品への放射性物質への影響が明らかになってきた 3 月 17 日、厚生労働省は食品安全部長名で、暫定規制値を定めたことを都道府県等に通知し、飲食物からの放射性物質の摂取を制限するためのモニタリング等の対策が取られるようになった。3 月 21 日には一部地域の飲食物について出荷制限、摂取制限が発令された。

本項では、これらの事態に対応して関係省庁から発出された食品や農産物に関連した規制値やガイドラインの所在を示すとともに、モニタリングのための測定法を示したマニュアル等の所在を明らかにする。これにより、食品産業や関連事業者が、放射性セシウムを主とする食品中の放射性物質の検査を実施、あるいは検査機関へ測定依頼する際の参考情報を提供する。併せて、放射性物質の測定に関する基礎的事項を理解するためのリソースを紹介する。

尚、本報告書の情報は原則的に、平成 24 年 2 月 3 日時点迄のものである。HP の URL リンク等については、以降の変更に留意して利用されたい。

### 1. 厚生労働省・農林水産省の食品・農産物に関する規制ガイドラインと検査

本項では、食品（水道水）の放射性物質濃度の暫定規制値と、モニタリング検査のための測定法、さらに飼料や肥料の暫定許容値、関連検査法、農業生産のための関連情報を 1.1～1.5 にまとめた。尚、1.6 に本情報整理の期限（2 月 3 日現在）で議論されている新基準値(案)と、これに対応した測定法(案)、飼料の暫定許容値の見直しについての情報を付記した。この内容については、特に最新情報を確認して利用していただきたい。

#### 1-1 厚生労働省関係 規制値 ガイドラインの通知文書（暫定規制値対応分）

##### ➤ 食品衛生法上の暫定規制値

###### 1) 「食品中の放射性物質に関する暫定規制値」

[http://www.mhlw.go.jp/shinsai\\_jouhou/dl/shokuhin.pdf](http://www.mhlw.go.jp/shinsai_jouhou/dl/shokuhin.pdf)

###### 2) (参考) 「放射能汚染された食品の取り扱いについて」 （平成 23 年 3 月 17 日 食品安全部）

<http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r9852000001558e-img/2r9852000001559v.pdf>

###### 3) (参考) 「魚介類中の放射性ヨウ素に関する暫定規制値の取扱いについて」 （平成 23 年 4 月 5 日 食品安全部）

<http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r98520000017z1u-att/2r98520000017z7d.pdf>

平成 23 年 3 月 17 日、食品中の放射性物質について食品衛生法上の暫定規制値を定め、暫定規制値を上回る食品は食品衛生法第 6 条第 2 号に当たるものとして、販売することを禁止した。また、検査法については、平成 14 年 5 月 9 日付け事務連絡「緊急時における食品の放射能測定マニュアルの送付について」にて指示。その後、放射性ヨウ素が水産物からも検出されたことを受け、暫定規制値に魚介類中の放射性ヨウ素（2000Bq/kg）を追加した。

##### ➤ 水道水中の放射性物質の基準

###### 4) 「福島第一・第二原子力発電所の事故に伴う水道の対応について」 （平成 23 年 3 月 19 日 健康局水道課）

<http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r98520000015koh-att/2r98520000015kr1.pdf>

原子力安全委員会が定めた「飲食物に関する摂取制限の指標値」の放射性ヨウ素（飲料水）300Bq/kg、放射性セシウム（飲料水）200Bq/kg を超過した場合の水道の対応についての、各都道府県水道行政担当部局長及び水道事業者に対する技術的助言。

###### 5) 乳児による水道水の摂取に係る対応について （平成 23 年 3 月 21 日 健康局水道課）

<http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r98520000015ox9-img/2r98520000015oyx.pdf>

食品衛生法に基づく暫定規制値を踏まえ、水道水の放射性ヨウ素が 100Bq/kg を超える場合には、当該水を供する水道事業者等は、乳児用調製粉乳を水道水で溶かして乳児に与える等、乳児による水道水の摂取を控えるよう通知した。

## 1-2 厚生労働省関係 測定法マニュアル通知 事務連絡

### ➤ 食品中の放射性物質の検査法

#### 1) 「緊急時における食品の放射能測定マニュアル」

<http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r9852000001558e-img/2r98520000015cfj.pdf>

#### 2) 『「緊急時における食品の放射能測定マニュアル」に基づく検査における留意事項について』（平成 23 年 3 月 18 日 食品安全部監視安全課 事務連絡）

<http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r98520000014tr1-img/2r98520000015is5.pdf>

#### 3) 『「緊急時における食品の放射能測定マニュアル」に基づく検査における留意事項について』（平成 23 年 4 月 20 日 食品安全部監視安全課 事務連絡）

<http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r98520000019v70-img/2r9852000001a0nj.pdf>

食品衛生法に基づく、暫定規制値超過のモニタリングのための食品中放射能検査のマニュアルである。分析法としては、以下の4章。尚、事故後、本マニュアル利用の際の留意事項として野菜（非結球性葉菜類、結球性葉菜類、アブラナ科花蕾類、根菜類等）検査に際し、試料洗浄（土壌除去）の標準作業書に関する事務連絡がなされた。

#### （緊急時における食品の放射能測定マニュアル内容）

1. NaI(Tl)シンチレーションサーベイメータによる放射性ヨウ素の測定法
2. 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法
3. 緊急時のためのウラン分析法及びプルトニウムの迅速分析法
  - 3-1 ウラン分析法
  - 3-2 迅速プルトニウム分析法
4. 放射性ストロンチウム分析法
  - 4-1 緊急時のための Sr-90 迅速分析法
  - 4-2 発煙硝酸法による放射性ストロンチウムの分析法

尚、この緊急時マニュアル制定の基礎となった、厚生科学労働研究「原子力施設等の事故による緊急時における食品中の放射能測定の安全性評価に関する研究」（平成 12 年）における測定法検討部分の報告書から、緊急時マニュアルに収載された方法の選択の根拠を知ることができる。

補足 「緊急時における食品中の放射能測定に関する研究」（厚生労働科学研究費報告書 抜粋）

<http://trustad.sixcore.jp/wp-content/uploads/2011/03/img-330170036.pdf>

### ➤ 食品中の放射性セシウムスクリーニング法（事務連絡）

＜2012 年 2 月時点での最新版＞

#### 4) 「食品中の放射性セシウムスクリーニング法の一部改正について」（平成 23 年 11 月 10 日 食品安全部監視安全課事務連絡）

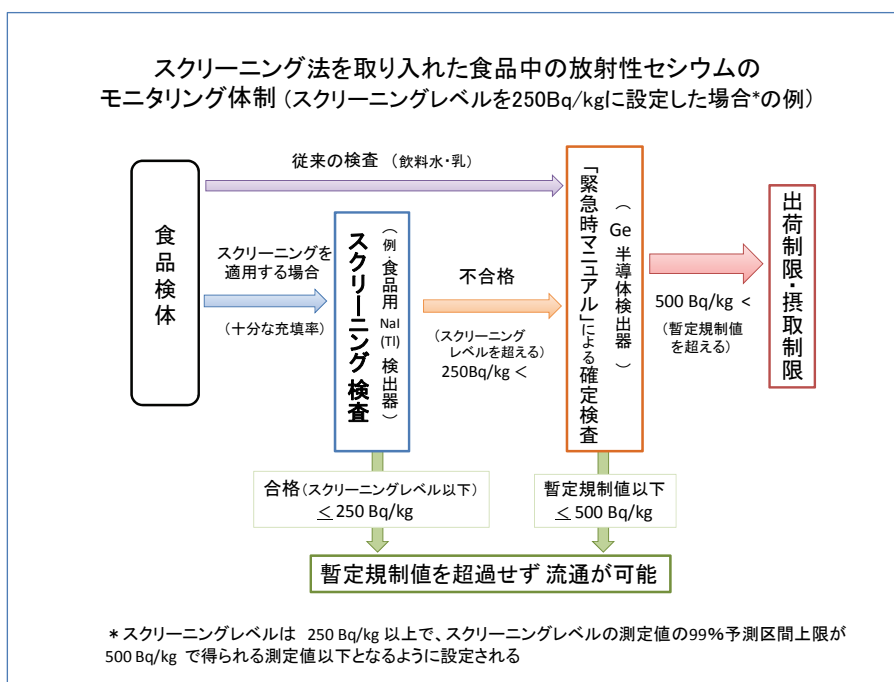
<http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r9852000001uv9r-att/2r9852000001v1wc.pdf>

#### 5) 「食品中の放射性セシウムスクリーニング法の Q & A について」（平成 23 年 11 月 10 日 食品安全



(注：これにより 9 月 7 日の QA は廃止)

これらは 7 月 29 日に事務連絡された牛肉スクリーニング法からの改定の最新版 (2012 年 2 月現在) である。スクリーニングとは、暫定規制値 (500Bq/kg) より確実に低い判断基準(スクリーニングレベル)に対し、対象となる食品がそのレベル以下であれば検査に合格していると判断することで、モニタリング全体の効率化を図るために導入された。スクリーニング検査の結果、放射性セシウムが暫定規制値よりも確実に低いと言えない検体 (スクリーニング検査で不合格) は、緊急時マニュアルに規定された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り放射能濃度の測定を行い、検査結果を確定するものとしている。



### 食品の放射性セシウムスクリーニング法

- 1 分析対象 放射性セシウム
- 2 対象食品 飲料水、乳及び乳製品を除く食品全般
- 3 分析方法 以下に示す性能を有する方法とする。  
性能  
バックグラウンド値 下記の測定下限値を担保できる値であること。  
バックグラウンド値は試料と同じ容器に同量の水をいれたものとする。ただし、遮蔽が十分な場合はブランク状態の測定値をバックグラウンドとしてもよい。  
  
測定下限値 50 Bq/kg 以下であること。  
  
真度(校正) 適切な標準線源を用いて校正されていること。校正は1年に1回以上実施する。  
スクリーニングレベル 規制値の1/2 以上  
スクリーニングレベルにおける測定値の99%区間上限が規制値レベルで得られる測定値以下であること。
- 4 検査結果の信頼性管理  
試料の取り違えを防止するために、1 試料について2 検体以上を測定し、2 つの測定値の差が小さいことを確認する等の措置を講じる。  
定期的にバックグラウンドを測定し、測定下限値が高くなっていないことを確認する。  
定期的にブランクを測定し、分析系に汚染がないことを確認する。  
定期的に濃度既知の試料を測定し、真度が低下していないことを確認する。

この事務連絡は、事故後新たな核種の放出がなく、厳密な核種弁別を行なわなくとも放射性セシウムの濃度を見積もることが可能である環境を適用の大前提にしている。分析方法として測定器(検出器)の種類

等に限定的な定めはなく、測定条件下でのバックグラウンド値、この分析方法の中で規定する測定下限値、スクリーニングレベル、真度(校正)についての性能要件を規定している。参考に例示された手法は次の 3 つであるが、性能要件を満たす方法であれば、これ以外の検出器を使った方法でも利用可能である：

1. ゲルマニウム半導体を用いたガンマ線スペクトロメトリー（測定時間、試料量等をスクリーニング用にアレンジ可）
2. NaI(Tl) シンチレーションスペクトロメータによる方法
3. NaI(Tl)シンチレーションサーベイメータによる方法。

この方法で要求されている測定下限値の確認には、測定器の出荷時の性能保証だけでなく測定条件下におけるバックグラウンド値の評価が必須であることを、十分認識して利用することが重要である。

尚、以下にスクリーニング法に関する以前の事務連絡文書と方法を参考のため、新しい順に示す。

- 6) 食品中の放射性セシウムスクリーニング法について（平成 23 年 10 月 4 日 事務連絡）  
<http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r9852000001ql0l-att/2r9852000001ql29.pdf>  
別添 2 米麦を追加し、題名を食品中の放射性セシウムスクリーニング法とした。
- 7) 牛肉中の放射性セシウムスクリーニング法の一部改正について（医薬食品局食品安全部監視安全課 平成 23 年 9 月 7 日 事務連絡）  
<http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r9852000001p1mi-att/2r9852000001p1sb.pdf>
- 8) 牛肉中の放射性セシウムスクリーニング法の Q & A について（医薬食品局食品安全部監視安全課 平成 23 年 9 月 7 日 事務連絡）  
<http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r9852000001p1mi-att/2r9852000001p1to.pdf>
- 9) 牛肉中の放射性セシウムスクリーニング法の考え方について（医薬食品局食品安全部監視安全課 平成 23 年 9 月 7 日 事務連絡）7 月 29 日版の改定と解説 23 年 11 月 10 日版の連絡により 廃止  
<http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r9852000001p1mi-att/2r9852000001p1r9.pdf>
- 10) 牛肉中の放射性セシウムスクリーニング法の送付について（食品安全部監視安全課 平成 23 年 7 月 29 日 事務連絡）  
<http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r9852000001kxbg-att/2r9852000001n371.pdf>  
牛肉中の放射性セシウムスクリーニング法を定め、関係都道府県へ連絡。スクリーニング法の導入による検査の迅速化及び効率化に資する目的で導入。（牛 筋肉に限定）

## ➤ 水道水関係

- 11) 水道水等の放射能測定マニュアルの送付について（健康局水道課 平成 23 年 10 月 12 日）  
<http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r9852000001rd6x-att/2r9852000001rd8l.pdf>
- 12) 「水道水等の放射能測定マニュアル」  
<http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r9852000001rd6x-att/2r9852000001rd98.pdf>

「水道水における放射性物質対策検討会」の中間とりまとめ等を踏まえ、水道水等の放射能測定マニュアルをとりまとめ、水道水及び水道原水の放射能測定を行う場合の参考として、各都道府県水道行政担当部局に健康局水道課が通知したもの。

扱っている方法は、Ge 半導体検出器によるガンマ線スペクトロメトリ、NaI(Tl)シンチレーション検出器を用いた方法等。本マニュアル中の放射能測定の基礎的解説も初学者には参考になる。

### 1.3 農林水産省関連 飼料、肥料の基準値 ガイドライン(暫定規制値対応分)

#### ➤ 放射性セシウムを含む肥料・土壌改良資材・培土及び飼料の暫定許容値

- 1) 放射性セシウムを含む肥料・土壌改良資材・培土及び飼料の暫定許容値の設定について(平成 23 年 8 月 1 日 農林水産省消費・安全局長,生産局長,林野庁長官,水産庁長官 通知)

<http://www.maff.go.jp/j/syouan/soumu/saigai/shizai.html>

(注：このリンクは24年2月3日改定分の情報も含む→1.6項)

食品・農産物の放射性セシウムの暫定規制値を勘案して、以下の許容値を設定通達した。また、飼料等への利用に配慮して、米、小麦についての加工係数等については以下の情報を提供している。

#### ➤ 米の加工係数指標等

- 2) 平成23年産稲から生じるもみがら及び稲わらの取扱いについて（平成23年9月30日）

<http://www.maff.go.jp/j/press/seisan/kokumotu/pdf/110930-01.pdf>

玄米中の放射性セシウム濃度に対するもみがら中の放射性セシウム濃度の比率は「3」として、飼料に用いるもみがらの放射性セシウム濃度を玄米濃度の測定値から推定して取り扱うこと。

- 3) 平成23年産米穀の飼料利用について（平成23年10月6日）

[http://www.maff.go.jp/j/press/seisan/c\\_sinko/pdf/111006-01.pdf](http://www.maff.go.jp/j/press/seisan/c_sinko/pdf/111006-01.pdf)

玄米に対する粳米の放射性セシウムの濃度比は1.5として、飼料として用いる粳米の濃度が、飼料の暫定許容値を超過することの無いよう留意して取り扱うこと。

- 4) 平成23年産米から生じる米ぬかの取扱いについて（平成23年12月19日）

[http://www.maff.go.jp/j/press/seisan/b\\_taisaku/pdf/111219-01.pdf](http://www.maff.go.jp/j/press/seisan/b_taisaku/pdf/111219-01.pdf)

米ぬかの加工係数（玄米中の放射性セシウム濃度に対する精米後の米ぬか中の放射性セシウム濃度の比率）は「8」と設定。米ぬかを飼料として利用する際は、玄米の放射性セシウム濃度に8を乗じて、飼料の暫定許容値を超過しないように取り扱うこと。

#### ➤ 麦の加工係数指標

- 5) 平成23年産麦に由来するふすま及び麦ぬかの取扱いについて（平成23年12月16日）

[http://www.maff.go.jp/j/seisan/kokumotu/pdf/111216\\_husuma.pdf](http://www.maff.go.jp/j/seisan/kokumotu/pdf/111216_husuma.pdf)

飼料等に利用する大麦（二条大麦、六条大麦及びはだか麦）、小麦に関し、製麦によって生ずるふすま・麦糠の放射能濃度玄麦の3倍（加工係数3）として取り扱う。玄麦から飼料を調製する際は、この比率を考慮して玄麦濃度に3を乗じて飼料濃度を推定し飼料の暫定許容値を超過しないように留意すること。（実際に麦ぬか、ふすまの濃度測定が可能な場合はこの限りではない）尚、試験の結果小麦粉の加工係数は0.5以下、精麦の加工係数は0.7以下であった。

（平成23年9月13日の<http://www.maff.go.jp/j/press/seisan/kokumotu/110913.htm> の改定文書）

#### ➤ その他

- 6) 汚泥肥料中に含まれる放射性セシウムの取扱いについて（平成23年6月24日消費安全局長通知）

[http://www.maff.go.jp/j/syouan/nouan/kome/k\\_hiryo/caesium/index.html](http://www.maff.go.jp/j/syouan/nouan/kome/k_hiryo/caesium/index.html)

下水汚泥の放射性セシウム汚染が問題となった6月、一部の汚泥は肥料の原料として利用されることから、放射性物質を含む汚泥の肥料利用に関する基準・ルールを策定された。

（原則）：原料汚泥中の放射性セシウム濃度が200 Bq/kg以下の場合については、汚泥肥料の原料として使用できる。

（特例措置）：原料汚泥の放射性セシウム濃度が施用する農地土壌以下であり、かつ、1,000 Bq/kg以下であれば、汚泥肥料の原料として使用できる。

## 1.4 農林水産省関連：肥料等に関する検査計画と検査方法（暫定規制値対応分）

- 1) 放射性セシウムを含む汚泥のサンプリング等に係る技術的事項」について(平成23年6月27日 消費安全局農産安全管理課 通知)

[http://www.maff.go.jp/j/syouan/nouan/kome/k\\_hiryo/caesium/pdf/20110715\\_mod\\_23shouan\\_1939.pdf](http://www.maff.go.jp/j/syouan/nouan/kome/k_hiryo/caesium/pdf/20110715_mod_23shouan_1939.pdf)

1-1)別紙：汚泥のサンプリング方法

[http://www.maff.go.jp/j/syouan/nouan/kome/k\\_hiryo/caesium/pdf/20110715\\_sampling\\_method.pdf](http://www.maff.go.jp/j/syouan/nouan/kome/k_hiryo/caesium/pdf/20110715_sampling_method.pdf)

- 2) 「肥料中の放射性セシウム測定のための検査計画及び検査方法の制定について」（平成23年8月5日 消費安全局農産安全管理課）

<http://www.maff.go.jp/j/syouan/nouan/hiryou/kennsa.html>

8月1日付けで、肥料中の放射性セシウムの暫定許容値への適合性を判断するための検査が的確かつ適正に進められるよう下記の検査計画及び検査方法を設定した。(対象：牛ふん堆肥、雑草堆肥・稲わら堆肥等、バーク堆肥)

2-1) (別添) 「肥料中の放射性セシウム測定のための検査計画及び検査方法」

[http://www.maff.go.jp/j/syouan/nouan/hiryou/pdf/230810\\_betten.pdf](http://www.maff.go.jp/j/syouan/nouan/hiryou/pdf/230810_betten.pdf)

測定方法はGe半導体検出器、または NaI(Tl)シンチレーション検出器等を用いたガンマ線スペクトロメトリー(検出下限50Bq/kg以下)。

- 3) 「『培土中の放射性セシウム測定のための検査方法』の制定及び土壤改良資材中の放射性セシウム測定の扱いについて」（平成23年8月31日 生産局農業生産支援課）

[http://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/hozen\\_type/h\\_dozyo/dokai\\_kennsa.html](http://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/hozen_type/h_dozyo/dokai_kennsa.html)

8月1日付けで、土壤改良資材・培土等に関する放射性セシウムの暫定許容値への適合性を判断するための検査が的確かつ適正に進められるよう、落ち葉、雑草、樹皮(バーク)、剪定枝、木材チップ・パウダー等(以下「有機質資材」という)を土壤改良資材として出荷・施用する際の検査計画及び検査方法を設定した。

3-1) (別添) 「培土中の放射性セシウム測定のための検査方法」

[http://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/hozen\\_type/h\\_dozyo/pdf/hpkouhyo\\_baido\\_kennsa\\_houhou.pdf](http://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/hozen_type/h_dozyo/pdf/hpkouhyo_baido_kennsa_houhou.pdf)

サンプリング方法の記載。測定方法はGe半導体検出器または NaI(Tl)シンチレーション検出器等を用いたガンマ線スペクトロメトリー(検出下限50Bq/kg以下)。

- 4) 「土壤改良資材として利用される木炭・木酢液中の放射性セシウム測定の扱いについて」（平成 23 年 10 月 7 日 生産局農業部農業環境対策課）

[http://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/hozen\\_type/h\\_dozyo/mokutan\\_kensa.html](http://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/hozen_type/h_dozyo/mokutan_kensa.html)

土壤改良資材として利用される木炭・木酢液(竹炭・竹酢液を含む)の検査法。上記の培土の対象外のもの。

4-1) (別添) 「土壤改良資材として利用される木炭・木酢液中の放射性セシウム測定のための検査方法」

[http://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/hozen\\_type/h\\_dozyo/pdf/mokutan.pdf](http://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/hozen_type/h_dozyo/pdf/mokutan.pdf)

測定方法はゲルマニウム半導体検出器又は簡易型検出器(NaI(Tl)シンチレーションスペクトロメータ等)を用いたガンマ線スペクトロメトリー(検出下限 50Bq/kg 以下)。

## 1.5 農林水産省関連その他 作付け制限や耕作環境 栽培に関する情報

本項ではその他、農業生産上で参考となる情報で23年内の情報を参考として集めた。

- 1) 「放射性物質が検出された野菜等の廃棄方法」(平成23年3月25日)  
<http://www.maff.go.jp/j/press/kanbo/kankyo/110325.html>
- 2) 「稲の作付け制限地域の設定について」(平成23年4月22日)  
<http://www.maff.go.jp/j/press/seisan/sien/110422.html>
- 3) 「農地土壌中の放射性セシウムの野菜類と果実類への移行について」(平成23年5月27日)  
<http://www.maff.go.jp/j/press/syouan/nouan/110527.html>  
  
3-1) 農地土壌中の放射性セシウムの野菜類及び果実類への移行の程度  
<http://www.maff.go.jp/j/press/syouan/nouan/pdf/110527-01.pdf>
- 4) 「農地土壌の放射性物質濃度分布図の作成について」(平成23年8月30日)  
<http://www.s.affrc.go.jp/docs/press/110830.htm>
- 5) 「農地土壌の放射性物質除去技術(除染技術)について」(平成23年9月14日)  
<http://www.s.affrc.go.jp/docs/press/110914.htm>

## 1.6 新基準値(案)と対応するスクリーニング法(案) 飼料暫定許容値

厚生労働省は、食品から許容することのできる放射性セシウムの線量を、現在の年間5ミリシーベルトから年間1ミリシーベルトに引き下げることを基本として、薬事・食品衛生審議会において新たな基準値設定のための検討を進め、平成23年12月22日に行われた同審議会の放射性物質対策部会において、食品中の放射性物質に係る基準値案が了承された。厚生労働省はこれについて、放射線審議会(文部科学省)への諮問を行い、平成24年2月現在、審議中である。また、平成24年1月6日～2月4日の期間でパブリックコメントを実施中である。新基準値(案)では、放射性セシウムの濃度を従来の暫定規制値の1/5～1/20に設定し、食品のカテゴリーも4区分(飲料水、乳児用食品、乳、一般食品)とするもので、平成24年4月1日施行を目指した案である。

改正案は、食品中の放射性セシウムの濃度について、食品衛生法第11条第1項に基づく規格基準の設定するため、食品衛生法及び関係省令に所要の改正を伴うものである。

### 1) 新基準値(案)について

- 1-1) 「乳及び乳製品の成分規格等に関する省令の一部を改正する省令及び食品、添加物等の規格基準の一部を改正する件(食品中の放射性物質に係る基準値の設定)(概要)」  
[http://www.mhlw.go.jp/shinsai\\_jouhou/dl/housyaseibussitu\\_gaiyou.pdf](http://www.mhlw.go.jp/shinsai_jouhou/dl/housyaseibussitu_gaiyou.pdf)
- 1-2) (参考) 食品中の放射性物質の新たな基準値について (食品安全部基準審査課)  
<http://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/iyaku/syoku-anzen/iken/dl/120117-1-03-01.pdf>  
(食品に関するリスクコミュニケーション～食品中の放射性物質対策に関する説明会資料2と同じ)

尚、「基準値への適合の確認のための放射性物質の試験方法については、施行通知で示す」と説明されており、暫定規制値に対応した「緊急時マニュアル」による試験方法の扱いについては、新基準値の施行時には留意が必要である。



## 食品中の放射性セシウムの新基準値(案)

カテゴリー	範囲	基準値
飲料水	ミネラルウォーター類(水のみを原料とする清涼飲料水) 飲用茶(茶を原料とする清涼飲料水及び飲用に供する茶※1)	10Bq/kg
牛乳	乳及び乳製品の成分規格等に関する省令(昭和26年厚生省令第52号)第2条第1項に規定する乳及び同条第40項に規定する乳飲料	50Bq/kg
乳児用食品	乳児の飲食に供することを目的として販売する食品	50Bq/kg
一般食品	上記以外の食品 ※2	100Bq/kg

※1 飲用に供する茶については、原材料の茶葉から浸出した状態に基準値を適用。  
 ※2 乾しいたけ、乾燥わかめなど原材料を乾燥し、通常水戻しをして摂取する乾燥きのこ類、乾燥海藻類、乾燥魚介類、乾燥野菜については、原材料の状態と水戻しを行った状態に基準値を適用。また、食用こめ油の原材料となる米ぬか及び食用植物油の原材料となる種子については、原材料から抽出した油脂に基準値を適用。

## 2) 新基準値案に対応した食品中の放射性セシウムスクリーニング法(案)

厚生労働省は食品中の放射性物質に関する新たな基準値が本年4月1日より施行されることに伴い、先行して3月より地方自治体で新たな基準値に対応した検査が実施されることが考えられるとして、1月27日、『「食品中の放射性セシウムスクリーニング法について」(平成23年10月4日付け事務連絡(最終改正平成23年11月10日))』の改正案を示し、パブリックコメントの募集を開始した。電子政府の総合窓口 e-Gov の該当ページは以下のとおり：

<http://search.e-gov.go.jp/servlet/Public?CLASSNAME=PCMMSTDETAIL&id=495110356&Mode=0>

- 2-1) 「食品中の放射性セシウムスクリーニング法の一部改正」に関する意見の募集について (平成24年1月27日 『品安全部監視安全課』)

<http://search.e-gov.go.jp/servlet/PcmFileDownload?seqNo=0000083474>

- 2-2) (別添) 食品中の放射性セシウムスクリーニング法を改正する件 (概要)

<http://search.e-gov.go.jp/servlet/PcmFileDownload?seqNo=0000083475>

- 2-3) 「食品中の放射性セシウムスクリーニング法(改正案)」(平成24年1月27日改正案)

<http://search.e-gov.go.jp/servlet/PcmFileDownload?seqNo=0000083476>

### 「食品中の放射性セシウムスクリーニング法の一部改正」に関する 意見の募集について(1月27日)

#### 改正内容

- (1)放射性セシウムスクリーニング法の対象となる食品の範囲:「**一般食品**」

- (2)分析方法

バックグラウンド値: 下記の測定下限値を担保できる値であること。

バックグラウンド値は試料と同じ容器に同量の水をいれたもの、ただし、遮蔽が十分な場合はブランク状態の測定値をバックグラウンドとしてもよい。

**測定下限値 25 Bq/kg**(基準値の1/4) 以下であること。

真度(校正) 適切な標準線源を用いて校正されていること。 校正は1年に1回以上

スクリーニングレベル: 基準値の1/2以上

スクリーニングレベルにおける測定値の99%区間上限が基準値レベルで得られる測定値以下であること。

新スクリーニング法は、基本的な考え方は改定されていない。ただし、一般食品の新基準値が 100Bq/kg であることから、それに対応した測定下限値として、基準値の 1/4 である 25Bq/kg を満足することを性能要件とするように変更が加えられている。新基準値のレベルに合わせた 25Bq/kg の測定下限値を満足していることを確認することは、検査精度を保証する測定条件下のバックグラウンドの評価につながる最も重要なポイントである。

尚、新スクリーニング法に関して、日本アイソトープ協会によるセミナーが開催され、その資料については、日本アイソトープ協会の HP にてダウンロード閲覧可能である。

- 2-4) 新基準値に対応した「食品中の放射性セシウムスクリーニング法」説明会・資料ダウンロード  
<https://jrias.smktg.jp/public/seminar/view/32>

3) 水道水中の放射性物質に係る指標の見直しについて(案)

<http://www.mhlw.go.jp/stf/shingi/2r9852000001zamk-att/2r9852000001zark.pdf>

(第 5 回水道水における放射性物質対策検討会(平成 23 年 12 月 26 日 資料 2))

食品衛生法における(新たな)飲料水の基準に整合をとるため、水道水中の放射性セシウムの新たな管理目標値を 10 Bq/L とし、測定法については、「水道水等の放射能測定マニュアル」により原則 Ge 半導体検出器を用い、セシウム 134 及びセシウム 137 それぞれの核種について検出限界値 1 Bq/kg (= Bq/L) を確保することを目標とする、見直し案を検討中である。

3) 「放射性セシウムを含む肥料・土壌改良資材・培土及び飼料の暫定許容値の設定について」(平成 24 年 2 月 6 日 消費・安全局)

<http://www.maff.go.jp/j/syouan/soumu/saigai/supply.html>

放射性セシウムを含む飼料の暫定許容値が改定され、2 月 3 日施行された。この URL に肥料・飼料関係の暫定許容値に関する総合リンクが設けられており、今後、新基準値に対応した情報追加が想定される。

- 4-1) 「放射性セシウムを含む飼料の暫定許容値の見直しについて」(平成 24 年 2 月 3 日 消費安全局ほか) <http://www.maff.go.jp/j/syouan/soumu/saigai/pdf/120203.pdf>

- 4-2) (別添) 放射性セシウムを含む肥料・土壌改良資材・培土及び飼料の暫定許容値の設定についての一部を改正する通知新旧対照表  
[http://www.maff.go.jp/j/syouan/soumu/saigai/pdf/120203\\_shinkyu.pdf](http://www.maff.go.jp/j/syouan/soumu/saigai/pdf/120203_shinkyu.pdf)

- 4-3) 「飼料の暫定許容値見直しを踏まえた今後の対応について」(平成 24 年 2 月 3 日 生産局畜産部畜産振興課) [http://www.maff.go.jp/j/syouan/soumu/saigai/pdf/120203\\_kongo.pdf](http://www.maff.go.jp/j/syouan/soumu/saigai/pdf/120203_kongo.pdf)

農林水産省は、平成 24 年 4 月 1 日施行見通しのある、食品の放射性セシウムの新基準値に対応するため、平成 23 年 8 月 1 日発出の「放射性セシウムを含む肥料・土壌改良資材・培土及び飼料の暫定許容値の設定について」の通知を 2 月 3 日より改定することとした。この時点での変更点は、牛用飼料中に含まれることが許容される最大値を 100Bq/kg とした。なお、豚、家きん、養殖魚等用飼料の暫定許容値については、早急に国内で飼料から畜水産物への放射性セシウムの移行に関する試験などの知見を収集し、食品の新たな基準値の施行前に設定することとしている。

暫定許容値(平成 24 年 2 月 3 日時点)

暫定許容値		
肥料		400 Bq/kg (製品重量)
土壌改良資材		400 Bq/kg (製品重量)
培土		400 Bq/kg (製品重量)
家畜用敷料		400 Bq/kg (製品重量)
飼料	牛	<b>100 Bq/kg</b> (粗飼料は水分含量 8 割ベース、その他飼料は製品重量)
	馬	300 Bq/kg (粗飼料は水分含量 8 割ベース、その他飼料は製品重量)
	豚	300 Bq/kg (製品重量)
	家さん	300 Bq/kg (製品重量)
	養殖魚	100 Bq/kg (製品重量)

## 2. 文部科学省放射能測定マニュアル(放射能測定シリーズ)

環境中に存在する放射性核種を効率よく、そして正確に分離・定量するための方法として、環境試料等の放射能分析・測定方法の基準となる「放射能測定法シリーズ」が、今回の事故以前に国（文部科学省）により制定されている。平成 20 年 3 月現在、34 種におよぶマニュアルが整備されている。また、環境放射線モニタリング技術に関する情報を記載した「技術参考資料」が作成されている。

各マニュアルについては（財）日本分析センター (<http://www.jcac.or.jp/index2.html>) の HP よりダウンロード可能である。<http://www.jcac.or.jp/series.html>

このうち、特に厚生労働省の示す食品の分析法にかかわりの深いものには以下がある：

### ➤ No7 ゲルマニウム半導体検出器によるガンマ線スペクトロメトリー（平成 4 年改訂）

[http://www.kankyo-hoshano.go.jp/series/main\\_pdf\\_series\\_7.html](http://www.kankyo-hoshano.go.jp/series/main_pdf_series_7.html)

ゲルマニウム半導体検出器は、NaI(Tl)シンチレーション検出器と比較してエネルギー分解能が優れており、 $\gamma$ 線を放出する多種類の核種を同時に測定できる。測定装置や測定法、スペクトルの解析方法などについて示されている。（厚労省緊急時マニュアルの「2. 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法」の原典となる方法。）

現在、日本で販売されている Ge 半導体検出器システムのほとんどには、このマニュアルに準拠した  $\gamma$ 線スペクトルの解析ソフトが搭載されている。しかしながら、特に重要となる日常管理や測定結果を理解するための検出下限値の考え方は以下の箇所に述べられているので測定者や測定依頼者は、目を通すことをお奨めする。

- ・ (p. 33) 3.8 「測定室」

装置導入に当たり必要な湿度環境、汚染防止対策、バックグラウンド、建物構造への配慮などが述べられている。

- ・ (p.41~) 第 5 章 機器の設置と点検・調整



(p.44) 5.2.1 検出器 検出器の冷却に関する注意 検出器の保護

(p.56) 5.3 標準線源スペクトルの解析 ピーク分解能 25 cm相対効率など

(p.60-63) 5.5 液体窒素補給の注意 液体窒素の消費率の変化のチェック

・ (P 179-182) 解説Ⅱ「検出下限値について」

このマニュアルでの検出下限値の考え方は Cooper の方法を採用している。測定で得られたスペクトル中の、ピーク領域の計数値を別の数値に置き換えてみて、「 $n\sigma$  以下で検出されず」が「 $n\sigma$  以上で検出された」に変わる値を調べ、放射能（計数値を測定時間と計数効率と  $\gamma$  線放出比で除す）に換算して検出下限値とするものである。検出を判定する方法として「 $3\sigma$  以上」がよく用いられ、その場合、検出下限値の定義として「 $3\sigma$  以上を検出された」と注釈することとする。

➤ No.24 緊急時におけるガンマ線スペクトロメトリーのための試料前処理法(平成 4 年制定)

[http://www.kankyo-hoshano.go.jp/series/main\\_pdf\\_series\\_24.html](http://www.kankyo-hoshano.go.jp/series/main_pdf_series_24.html)

原子力事故などの緊急時において、環境試料中の放射能をゲルマニウム半導体検出器を用いて迅速に測定するための試料前処理法である。主として I-131 及び放射性セシウムの測定を目的としている。飲食物摂取制限に関する指標値、試料前処理の迅速性及び簡易性、試料相互間の汚染防止などが考慮されている。

➤ No.15 緊急時における放射性ヨウ素測定法（平成 14 年改訂）

[http://www.kankyo-hoshano.go.jp/series/main\\_pdf\\_series\\_15.html](http://www.kankyo-hoshano.go.jp/series/main_pdf_series_15.html)

NaI シンチレーションサーベイメータを用い、飲料水、牛乳、葉菜等の環境試料の放射性ヨウ素濃度を、迅速簡便、かつ必要な精度で測定ができる方法の解説。厚生労働省の緊急時マニュアル「1. NaI (Tl) シンチレーションサーベイメータによる放射性ヨウ素の測定法」の参考解説として利用可能である。(放射性セシウムのスクリーニング法とは無関係である)

➤ No6 NaI (Tl) シンチレーションスペクトロメータ機器分析法（昭和 49 年制定）

<http://www.kankyo-hoshano.go.jp/series/lib/No6.pdf>

NaI(Tl)シンチレーション検出器は、ゲルマニウム半導体検出器と比較してエネルギー分解能は劣りますが、計数効率が高く、また、検出器部分を液体窒素で冷却する必要がなく維持管理が容易である。このマニュアルは、NaI (Tl) シンチレーションスペクトロメータによるガンマ線放出核種の定量法の原理について述べたものである。厚生労働省の放射性セシウムスクリーニング法の参考資料として掲げられている。

### 3. 食品中の放射能測定に関連する参考資料・技術情報（日本アイソトープ協会）

今回の緊急事態において、特にこれまで放射能測定器等にかかわりがなかった食品事業者に利用可能な解説や技術資料を以下に集めた。

1) 緊急時における食品の放射能測定マニュアルに基づく食品中の放射能の簡易分析について（情報提供続報）（平成 23 年 6 月 20 日）

<http://www.jrias.or.jp/index.cfm/6,15496,110,html>

<http://www.jrias.or.jp/index.cfm/6,15496,c.html/15496/20110620-095125.pdf>

一般的に用いられている NaI(Tl)シンチレーションサーベイメータの  $^{137}\text{Cs}$  に対する機器効率に関して、製造販売者の協力を得て、日本アイソトープ協会において機器校正を実施し、参考資料として掲載している。この効率は、代表的な試料容器に対する、セシウム濃度の換算係数を示したもので、

厚生労働省の「食品中の放射性セシウムスクリーニング法」において NaI(Tl)シンチレーションサーベイメータを利用する際にも、同一機種でジオメトリを再現出来れば計数率等の測定値を  $^{137}\text{Cs}$  濃度として換算評価に用いることが出来る。

- 2) 食品中の放射性セシウムスクリーニング法に対応可能な機種 (NaI(Tl)シンチレーション検出器) の情報について (2012 年 1 月 23 日更新) <http://www.jrias.or.jp/index.cfm/6.16065.110.html>  
<http://www.jrias.or.jp/index.cfm/6.16065.c.html/16065/20120120-192957.pdf>

日本アイソトープ協会では、厚生労働省の事務連絡 食品中の放射性セシウムスクリーニング法に対応可能な測定器の情報を提供している。以下具体的装置名 販売先等の情報。

- 3) やさしい放射線測定—誰もが正しく測定するために— (学習資料)  
<https://jrias.smktg.jp/public/seminar/view/19>

これまで放射能・放射線測定の経験の無い人が、測定に当たって学ぶべき基礎事項、測定器の特徴と扱い方等について解説したもので、執筆者は大学・研究機関の専門家。日本アイソトープ協会の上記ページに公開されており、使用者等を登録申請すれば、無料ダウンロード可能である。

#### 《目次》

- |                                |                   |
|--------------------------------|-------------------|
| はじめに 放射線は本当に怖いものでしょうか？         | 5. 5 スペクトロメータ     |
| 1. 放射線とは何ですか？<br>放射能との違いは何ですか？ | 6. どの測定器で何を測定するのか |
| 2. 放射線の種類と特徴                   | 6. 1 空間線量         |
| 3. 放射線はどこにでもあります               | 6. 2 表面汚染の測定方法    |
| 4. 放射線の単位“ベクレル”と“シーベルト”        | 6. 3 放射能の濃度を測る    |
| 4. 1 ベクレル                      | 6. 4 個人被ばくを測る     |
| 4. 2 シーベルト                     | 7. 機器の管理と精度       |
| 4. 3 ベクレルとシーベルトの関係             | 7. 1 校正とトレーサビリティ  |
| 5. 測定器の原理と種類                   | 7. 2 校正の方法        |
| 5. 1 測定の原理                     | 7. 3 測定された値の不確かさ  |
| 5. 2 測定器の種類と特徴                 | 8. 放射線の利用と規制の関係   |
| 5. 3 サーベイメータ                   |                   |
| 5. 4 個人線量計                     |                   |

#### 4. 食品関連の放射能・放射線測定受託検査機関に関する情報

- 1) 食品中の放射性物質に関する検査を実施することが可能である登録検査機関 (厚生労働省)  
[http://www.mhlw.go.jp/shinsai\\_jouhou/dl/shokuhin\\_kensa.pdf](http://www.mhlw.go.jp/shinsai_jouhou/dl/shokuhin_kensa.pdf) (2月13日)

- 2) 輸出品等に対する放射性物質に関する検査の実施機関について(農林水産省)  
<http://www.maff.go.jp/e/export/houshanou.html>

- 3) ISO/IEC 17025 規格に適合した放射能測定の試験所認定  
(公益財団法人 日本適合性認定協会 <http://www.jab.or.jp/>)

##### 3-1) 放射能測定に関する認定機関 (試験所)

[http://www.jab.or.jp/cgi-bin/jab\\_exam\\_proof\\_j.cgi?page=4&authorization\\_field\\_1=M24&authorization\\_field\\_2=01](http://www.jab.or.jp/cgi-bin/jab_exam_proof_j.cgi?page=4&authorization_field_1=M24&authorization_field_2=01)

TOP > 認定された機関・試験所等・試験所・校正機関・臨床検査室 > 試験所 > 索引：認定分野別検索 > 検索結果 (索引 認定分野別検索 放射能測定)

##### 3-2) JAB RL364:2012 「放射能・放射線測定を行う試験所・検査機関についての認定指針—ガンマ

線スペクトロメトリーによる食品等の放射能濃度測定ー」(案)

[http://www.jab.or.jp/feedback/20111219\\_0.html](http://www.jab.or.jp/feedback/20111219_0.html)

<http://www.jab.or.jp/feedback/att/RL3642011V1D1.pdf>

ガンマ線スペクトロメトリーによる食品等の放射性核種の放射能濃度測定に関し、認定上の補足要求事項等を定めた。関係する項目は、要員、施設及び環境条件、試験方法の妥当性確認、設備、測定のトレーサビリティ、試験品の取扱い、試験結果の品質の保証、結果の報告など。測定依頼者としても、内容に目を通しておくと報告書内容の妥当性等の判断の参考になる。

4) 日本貿易振興機構(ジェトロ) 東日本大震災国際ビジネスへの影響

<http://www.jetro.go.jp/world/shinsai/>

工業製品や農産物等の輸出に関し、相手国が求める放射能検査の条件や、対応可能な検査機関に関する情報を提供している。

4-1) 国内の放射線検査機関（全国対応）について

[http://www.jetro.go.jp/world/shinsai/20110318\\_11.html](http://www.jetro.go.jp/world/shinsai/20110318_11.html)

4-2) 国内の放射線検査機関（地方自治体等による対応）について

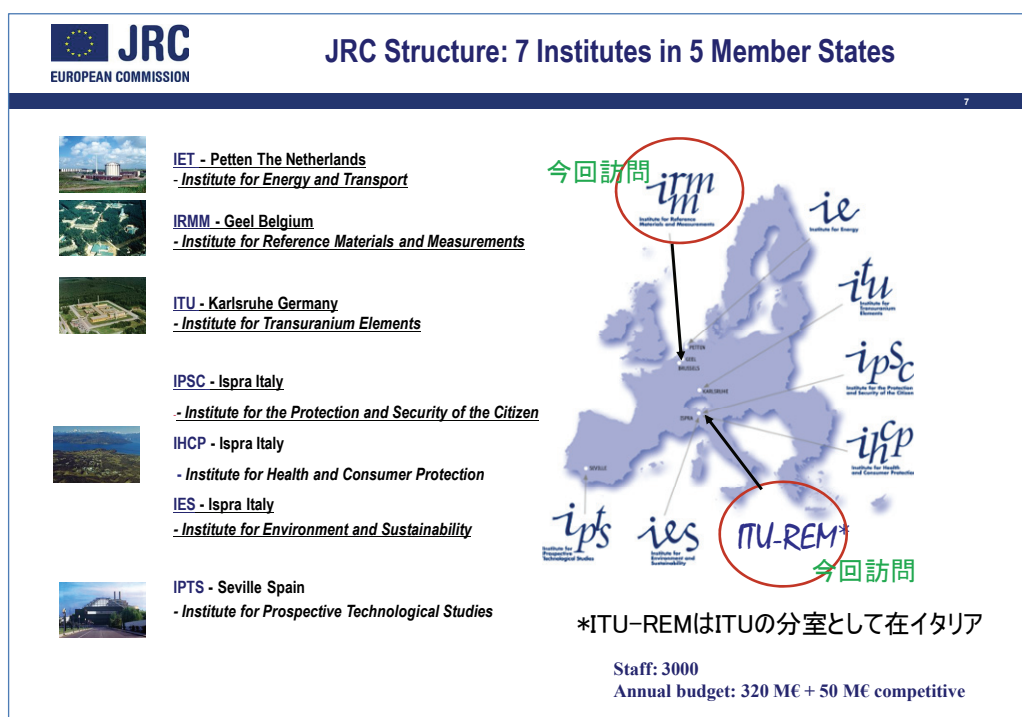
[http://www.jetro.go.jp/world/shinsai/20110427\\_02.html](http://www.jetro.go.jp/world/shinsai/20110427_02.html)

## V. 欧州連合（EU）におけるモニタリング態勢

～モニタリング態勢、モニタリング結果のDB化と公表、分析法の標準化への動き等について～

福島原発事故から一定期間が経過し、緊急対応時期に発生した茶、牛肉、コメなどの暫定規制値オーバー問題も除染対策の実行で落ち着きを見せている。今後は、生産者のさらなる努力と消費者の理解のもと、放射性物質汚染の観点からより安全性が確保された食品の定常的な供給体制確立が急がれ、そこにおいては、放射線測定検査の質を高めることによって検査結果に対する信頼性を高めていくことが極めて重要となる。食品産業界のポリシーは、「行政による継続的なモニタリング」と「規制値を超えた食品を流通させない取組」によって食品の安全を確保していくことにあり、規制値を越える食品の市場への紛れ込みを阻止していくために、生産・加工・流通を軸とする全国的な食品検査体制確立が求められ、そこでは合理的なサンプリングとスクリーニング、測定法、データの取扱・解釈などに統一性を持たせていくことが重要となろう。

しかしながら、現実的に放射性物質汚染検査の質はどこまで高められるか？ 食品産業を構成する1次、2次、それに3次産業において、また、地方公共団体において、現実的には、測定器台数、測定要員に制約があり、今後の補強を考慮しても、高い質を伴う検査処理能力には限界がある。最大限努力して達成される検査レベルをもとに国民の納得性を高めていくために、ここでは外国事例、特にチェルノブイリ原発事故経験を踏まえた欧州連合（EU）の対応を参考にすることとした。駐日 EU 代表部をとおして紹介頂いた European Commission・Joint Research Centre（EC・JRC：欧州委員会共同研究センター）、ならびに一国対応としての The Belgian Nuclear Research Centre（SCK・CEN：ベルギー原子力研究センター）を訪問し、欧州におけるモニタリング態勢について調査し、参考情報入手に努めた。EC・JRCはEU政府である欧州委員会（European Commission）の政策決定、政策実行を研究面から支える内部機関であり、7つの研究所が域内5カ国にまたがって設置され、3,000人のスタッフを擁する一大組織である（①IRMM-Institute for Reference Materials and Measurements：標準物質・計測研究所、②ITU-Institute for Transuranium Elements：超ウラン元素研究所、③IEU-Institute for Energy and Transport：エネルギー・輸送研究所、④IPSC-Institute for the Protection and Security of the Citizen：市民保護・保安研究所、⑤IES-Institute for Environment and Sustainability：環境・持続可能性研究所、⑥IHCP-Institute for Health and Consumer Protection：健康・消費者保護研究所、⑦IPTS-Institute for Prospective Technological Studies：将来技術研究所、詳しくは <http://ec.europa.eu/dgs/jrc/index.cfm> を参照）。



今回の訪欧では、EU が EURATOM(The European Atomic Energy Community：欧州原子力共同体)条約とチェルノブイリ原発事故を踏まえた上で、放射性物質汚染の問題に対して、どのように取り組み(モニタリング態勢、公開の仕組みなど)、それぞれの対応の中で何を課題とし、それらをどのように解決しているか、さらには、これらをもとに、将来に対してどのような準備をしているか、等々を理解して、我が国の食品産業ニーズに応える形で情報整理することを狙いとした。チェルノブイリ原発事故から 25 年が経過し、放射性物質汚染が残る一部地域を除いて、新たに問題化する要因がない中ではあるが、各国レベルでのモニタリング態勢が高度にシステム化されており、精度管理の徹底や測定教育を施しながら EU 全体として統合的なデータベースを構築し、緊急時に備えている姿が浮き彫りになった。

#### ■ 出張者（敬称略）

北村清司：(財)日本分析センター精度管理室長（6 次産業化促進技術検討委員会委員）

柚木 彰：(独)産業技術総合研究所計測標準研究部門量子放射科放射能中性子標準研究室長（専門部会委員）

根井大介：(独)農業・食品産業技術総合研究機構食品総合研究所食品安全研究領域（専門部会委員）

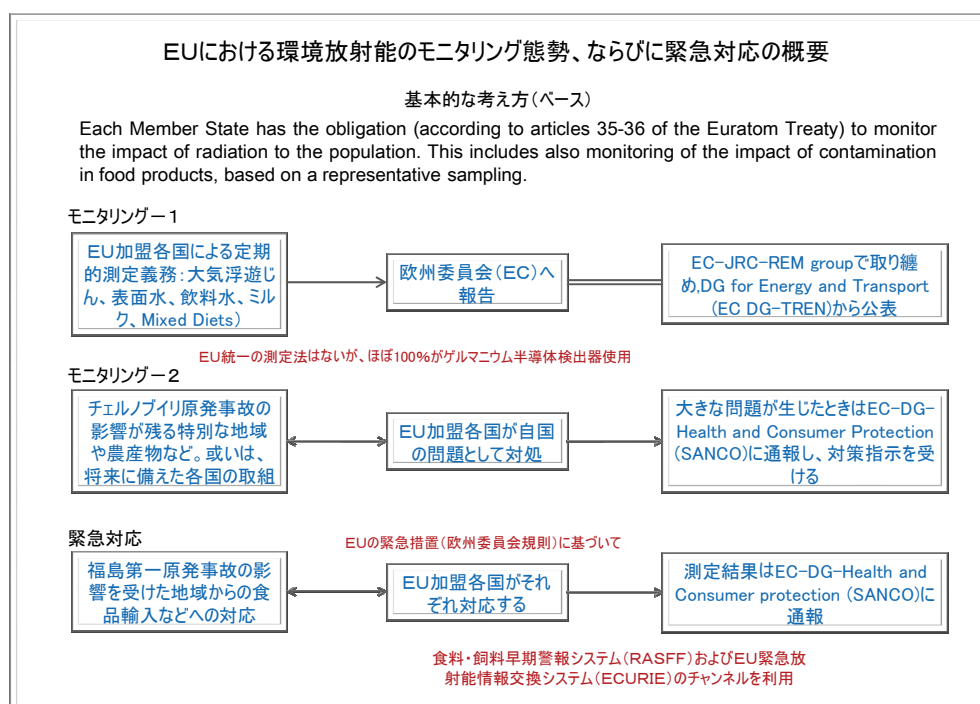
古川忠康：(社)農林水産・食品産業技術振興協会イノベーション事業部（事業コーディネーター）

#### ■ 訪問先、訪問日程（平成 24 年 1 月 24 日出発～29 日帰国）

- EC-JRC-Institute for Transuranium Elements-REM (ITU：超ウラン元素研究所)－Radioactivity Environmental Monitoring Group, Ispra, Italy
- EC-JRC-Institute for Reference Materials and Measurements (IRMM：標準物質・測定研究所), Geel, Belgium
- The Belgian Nuclear Research Centre( SCK-CEN：ベルギー原子力研究センター), Mol, Belgium

### 1. EU における環境放射能のモニタリング態勢、ならびに緊急対応の概要

下図に、EU における環境放射能のモニタリング態勢、ならびに緊急対応の概要を整理した。モニタリング-1 は欧州原子力共同体（EURATOM）としてのモニタリング義務に相当し、モニタリング-2 はチェルノブイリ原発事故の影響が今なお残る特別な地域やそこで収穫された農産物などに関するもの、或いは、将来に備えた各国独自の取組である。緊急対応としては、今回の福島原発事故の影響を受けた地域からの





食品輸入などへの対策があげられる。今回の訪欧調査においてはモニタリング-1、-2 に関して、①ベルギーを例に放射性物質汚染の検査・測定実態を調査し、②EC-JRC における各国データの取り纏め（データ解析、公表など）のシステムを視察し、③さらには EU 内の分析技術の標準化、精度管理、教育・指導などへの取組み状況把握に努めた。

## 2. EU における規制値の変遷と、規制値に対する考え方

以下に EU における食品の放射性物質汚染への規制値の変遷の要点をセシウム-134、-137 を例に整理した。EU ではストロンチウムについては別途、規制値があり、我が国のようにセシウムとストロンチウムの放射能比を 0.1 とする前提はない。また、年間の食品個人消費の 10% がこれらの汚染レベルにある場合を想定しており、日欧とも放射線への曝露が年間で 1mSv を超えないように設定しても、前提条件が異なると、制定される規制値に大きな違いが出る。今回の訪欧時に多く耳にしたことは、規制値そのものへの考え方である。EU では第一優先は消費者メリットであるとした上で、無用の混乱を避けながら、汚染された食品が市場に出回らなくする策に重点が置かれており、モニタリング網を張り巡らせながら万一に備えているように思われた。

### 1) チェルノブイリ原発事故以前（1980～1986 年）

1980 年の EURATOM836/80 指令で、原発事故発生時の上限被曝量を 5mSv として、各加盟国で介入レベルを設定するよう求めた。当時、介入レベル数値は固定されず、これを域内で統一する必要性もなかった。また、これはいわゆる、Minimum requirement（必要最小限）であり、国によっては上限被曝量を 5mSv 以下とすることを容認していたとされる。チェルノブイリ原発事故直後は各国がそれぞれの対応をとることとなり、国内対応や食品の輸出入を巡って混乱が生じることとなった。

### 2) チェルノブイリ原発事故を受けて（1986 年～現在）

1986 年 5 月 12 日の理事会規則（1388/86）で域外放射性物質汚染国からの指定農産物の輸入を禁止する一方で、同年 5 月 30 日付の理事会規則（1707/86）では、域外の汚染国からの輸入に際して、セシウム-134、-137 に関して、ミルク・乳製品を 370Bq/kg、その他の食品を 600Bq/kg とする規制値を公布し、内容的に何回かの手直しはあったものの、基本的に当該規制値で今日に至っている。この規制値は全加盟国に強制力があり、各国は原則として、これより厳しい、或いは緩い規制値を定めることは出来ない。

### 3) ポスト・チェルノブイリ対応

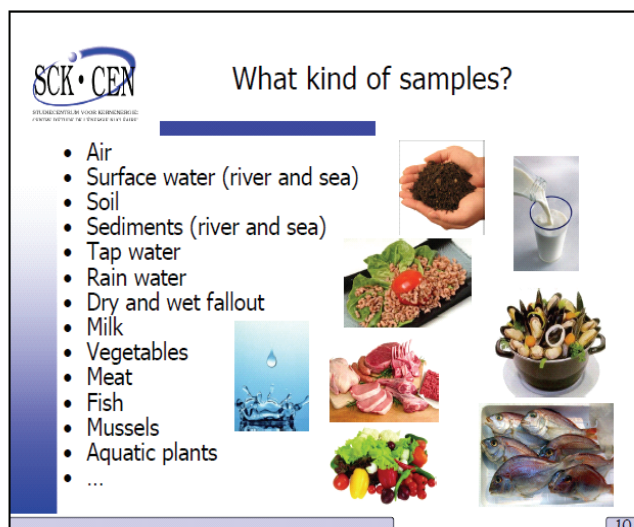
1987 年 12 月 22 日の理事会規則（EURATOM3954/87）により、将来起こるかも知れない事故等への緊急時に適用される規制として、セシウム-134、-137 に関して、ミルク・乳製品 1,000Bq/kg、その他の食品 1,250Bq/kg と制定された（その後、COM(2007) 302 で、乳幼児食 (Infant foods) 400Bq/kg、液体食品 1,000Bq/kg、マイナー食品 12,500Bq/kg が追加制定）。これはあくまでも緊急時対応であるが、年間の食品個人消費の 10% がこれらの汚染レベルにある場合を想定しており、放射線への曝露が年間で 1mSv を超えないように設定されている。また、基準値は国際機関（WHO、FAO など）のガイドラインに沿って作られている。この緊急時対応規制は全加盟国に強制力があり、各国は原則として、これより厳しい、或いは緩い規制値を定めることは出来ない。

### 4) 福島原発事故対応

当初（3 月 25 日）、欧州委員会規則（297/2011）によってポスト・チェルノブイリに基づいた緊急時対応を行ったが、日本の暫定規制値（3 月 17 日設定）との間でギャップが生じたことから、新たに欧州委員会規則（351/2011）を発効し、日本からの輸入品に関しては日本の暫定規制値と合わせることとした。

3. 各論-1-EU 内国別対応の一例：ベルギーにおける The Radiological Surveillance Program  
Belgian Nuclear Research Center (SCK・CEN：ベルギー原子力研究センター)  
<http://www.sckcen.be/>

- 1) 現 EU 創立時からの加盟国であるベルギーでは EURATOM (1957) とそれに基づくベルギー法(1963) によって本プログラム（モニタリング）を継続（実際には 1960 年よりモニタリング開始）している。分析機関は今回訪問した The Belgian Nuclear Research Centre SCK・CEN を中心に、あと一ヶ所（The National Institute of Radioelements）あり、データの国内取り纏めは FANC（The Federal Agency for Nuclear Control）が担当し、年報化して公開している。サンプリングの箇所や項目対象は TELERAD と呼ばれるルーチン分析ネットワークによって定められており、原発事故等の場合も早期警報システムと直結して対応する仕組みになっている。
- 2) サンプリングは全国均一的に、或いは、原発近辺などで 大気浮遊じん、表面水（河川、海洋）、土壌、堆積物（河川、海洋）、水道水、雨水、フォールアウト、牛乳、野菜、肉、魚、貝、海藻、また、Mixed diets としてレストランや学校などから一食分の食べ物全体を分析することもある。サンプリングと分析の頻度は対象により異なり、例えば、ミルクは異なる 3 箇所から 1 回/週のペースであり、そこではセシウムの他ストロンチウム-90 も検査される。また、一般的な食品の分析は 1 週間当たり、肉 2、魚 2、野菜果物 2 サンプルとし、年間 312 サンプルを測定。この肉・魚・野菜はスーパーマーケットから 4 種類を選択して購入し、測定サンプルとしている。サンプルは混合したのちに凍結乾燥し、測定に供される。



SCK・CEN で稼働中のゲルマニウム半導体検出器

- 3) 分析はグロス  $\alpha$ 、 $\beta$ （比例計数管でアルファ線放出核種とベータ線放出核種を測定）の他天然由来の K-40、Be-7、さらにサンプルによっては U、Pu、Am、Ra-226、Sr-90、Tc-99、H-3 なども測定。食品の分析に関しては、ゲルマニウム半導体検出器を使用（16 台保有）し、規制値 600Bq/kg に対して、測定下限 20Bq/kg 達成が義務。この SCK・CEN では 2010 年に 2,500 サンプル、4,000 回分析を行ったが、放射性物質汚染は実質的にゼロレベルにあった（福島原発事故による I-131 も実測した）。
- 4) ベルギーでは、チェルノブイリ事故直後の緊急時に置いて、 $\gamma$  線放出核種の測定にはゲルマニウム半導体検出器を用い、NaI (Tl) シンチレーション検出器をスクリーニング目的で使用したことはない。
- 5) 担当者のコメントとして、どこの国も、最新技術課題に多く予算投入している実態から、原発事故に備えた態勢を常に高くキープしている訳ではないが、現行のモニタリングを継続することによってサンプリングや精度管理を含めた分析技術が高いレベルに保たれ、緊急時にも即対応が可能となろうとのことであった。欧州では現状、一部の汚染地域を除いて食品メーカーによる原料や製品のモニタリ

ングは行われていないが、いざ原発事故などが発生したとき、分析ニーズの高まりから多少の混乱が生じる可能性は否定出来ない。そこにおいては、上述の規制値に対する考え方や、事故対応として規制値そのものを引き上げる措置などが事態の沈静化に有効に作用するとの見方が有力であった。

#### 4.各論・2・EU におけるモニタリングデータの取り纏め：JRC-ITU (Institute for Transuranium Elements：超ウラン元素研究所) における Radioactivity Environmental Monitoring (REM) Program <http://rem.jrc.ec.europa.eu/RemWeb/Index.aspx>

本プログラムは、EU 加盟各国が放射性物質汚染に関してデータを共有し、それを透明度高く公表しながら互いの利害関係を克服していくために、チェルノブイリ原発事故直後に開始された。現時点では EU 加盟 27 カ国から欧州委員会に提出される環境放射線モニタリング結果をデータベース化し、結果を図表化してオンラインでアクセスできるツールを提供している（次頁図参照）。モニタリング結果の解析は以下の 2 通りの方法 (Dense network、Sparse network) で行われ、サンプリング (大気浮遊じん=Airborne particles、表面水=Surface water、飲料水=Drinking water、牛乳=Milk、混合食=Mixed diets：レストランや学校給食などから一食分を全量サンプルとする) とそれに対応した核種の組合せで図表化して表示される。尚、土壌の放射性物質汚染については、それが牛乳や食品の汚染として反映されるとの見解からこの REM プログラムに含まれていない：

##### ① Dense network

全ての測定地点について、地域ごとに平均のデータを時間毎 (四半期や年) に収集する。測定値が Reporting Level\* (RL) 以下であった場合、<RL と表記する仕組み

##### ② Sparse network

同一箇所の測定地点について、時間毎の変動を観測する。RL 以下であっても、測定値を表記する

##### \* Reporting Level (RL) について

各分析機関が報告する測定値をまとめる際に、相互比較を容易にすること等を目的として導入される値で サンプル及び核種ごとに一定の値 が与えられる。個々の分析機関が 出す検出下限とは異なる。

$$RL = DL / (RF \times EDC \times CF)$$

DL= 年間被曝上限値 (1mSv)

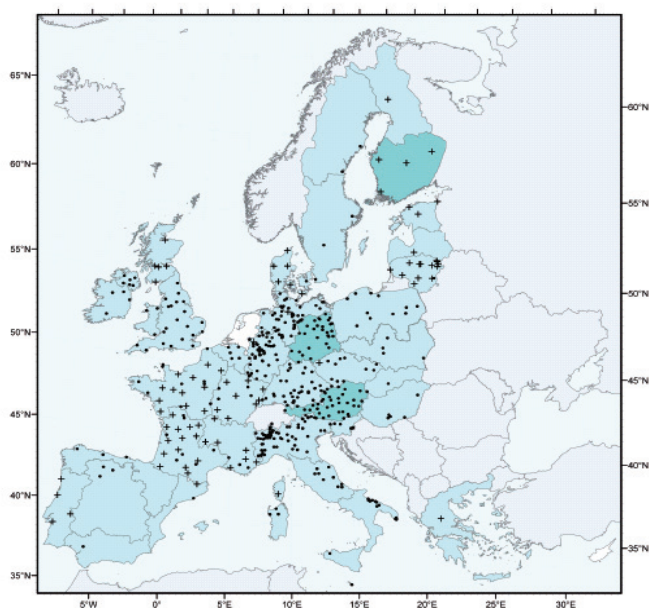
RF= Reduction factor (1000)

EDC = 実効線量係数 (Sv/Bq)

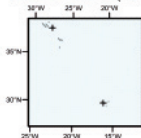
CF = 年間消費量

結果の一例を Dense network から示すなら、次頁右図は 2006 年度の牛乳セシウム-137 汚染のモニタリング結果であり、ドイツ東部、フィンランド南部、それにオーストリアで 0.5~1.6Bq/L を記録した他は RL (0.5Bq/L) 以下であったことを示している。これは EU の規制レベルである 600 Bq/kg に対し十分小さく、測定にバラツキがあっても規制値を超えることはない。従って、RL を超えても何か対策がとられる訳ではない。同時期の牛乳のストロンチウム-90 汚染は RL である 0.2Bq/L 以下であった。このような形で食品関連の分析結果を追うと、同時期の水道水のセシウム-137、ストロンチウム-90 汚染はそれぞれの RL である 0.1、0.06 Bq/L 以下であった。混合食 (Mixed diets) については汚染が検出されたケースもあったが、それでもセシウム-137、ストロンチウム-90 でそれぞれ 0.2~0.6、0.1~0.3Bq/日人程度であり、多くはそれ以下の値を示した。一方、同一箇所の測定地点について、時間をおいながら変動を観測し、測定値を表記する Sparse network の結果からは、例えば、牛乳のセシウム-137 はチェルノブイリ原発事故後、一時的に急上昇したものの、2006 年時点では 1/10 程度に低下している様子が明瞭に把握されており、実質的には RL 以下である。これらの結果から、現状、EU 域内ではチェルノブイリ原発事故による放射性物質汚染は限りなくゼロに近いレベルに制御されていることが伺える。

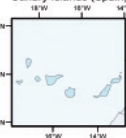




Azores and Madeira (Portugal)



Canary Islands (Spain)



Malta



牛乳セシウム-137 モニタリング結果 (黒点はサンプリング箇所、2006 年)

我が国においてはこれから、定常的な除染対策あるいは汚染回避対策が継続的に実施されていくことになり、生産者の努力と消費者の理解のもと、より安全性が確保された食品の供給が求められる。食品産業界としては、「行政による継続的なモニタリング」を強く求める立場にあり、ここで述べた JRC-ITU における

Radioactivity Environmental Monitoring(REM) は参考にすべきプログラムの一つと考えられた。

[http://rem.jrc.ec.europa.eu/RemWeb/MR/fileadmin Documents Monitoring Reports MR\\_2004-2006.pdf](http://rem.jrc.ec.europa.eu/RemWeb/MR/fileadmin/Documents/Monitoring/Reports/MR_2004-2006.pdf)

#### 4. 各論・3・EU における分析の精度管理、分析機関間・国際間のハーモナイゼーション: JRC-IRMM (Institute for Reference Materials and Measurements: 標準物質・計測研究所)

EU では域内の政策支援のため常に、共通で、信頼性の高い測定・分析基盤の構築を目指している。JRC-IRMM の主たる役割はその実現と普及のために、validated methods (有効な分析法) を示しながら、reference materials (標準物質) を提供し、また、reference measurements (校正) を行いながら、Interlaboratory comparisons (試験所間比較) や分析要員の教育訓練なども担っている。そのカバーする分野は環境測定、食品・飼料添加物、臨床検査、物性検査などに及び、世界でも有数の標準物質提供機関となっている。

JRC-IRMM は MRA (国際相互承認協定) 体制の下で国際的に認め合える放射能標準を有し、国際比較に用いる試料の放射能はその放射能標準にトレーサブルである。欧州各国も MRA に参加しているので、各国の国家標準にトレーサブルな測定機器による測定と、IRMM が作製する試料の放射能測定結果は矛盾しない。各国の検査機関は ISO17025 で認証を受けており、技能試験 (Proficiency test) にも参加している。技能試験用の標準物質として、ミルクパウダー (<sup>40</sup>K、<sup>137</sup>Cs、<sup>90</sup>Sr) が提供されており、その基準値は <sup>137</sup>Cs (1480 ± 110 Bq/kg)、<sup>40</sup>K (540 ± 40 Bq/kg)、<sup>90</sup>Sr (4.9 ± 0.4 Bq/kg) である。また、均質性試験

の結果では、 $^{40}\text{K}$ 、 $^{137}\text{Cs}$  の変動係数は 1 %未満、 $^{90}\text{Sr}$  では 2 %未満であった。技能試験の結果では、 $^{40}\text{K}$ 、 $^{137}\text{Cs}$  については、おおむね基準値と一致していたが、一部の機関で大きく外れることもあった。また、 $^{90}\text{Sr}$  については、基準値から大きく外れた値を提出した機関が 3 分の 1 ぐらいあったとのことである。また、チェルノブイリに近い地域で採取したビルベリーを乾燥処理後に粉末化し、相互比較分析を実施し、標準物質として供給することを予定している。水についての標準物質は  $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{228}\text{Ra}$ 、 $^{234}\text{U}$ 、 $^{238}\text{U}$  を含み、技能試験の結果、おおむね基準値と一致していたが、一部機関で外れた。

さらに、JRC-IRMM ではモニタリング方法に EU 加盟各国間ハーモナイゼーション (Harmonization) を持たせるために傾注しているが、放射線測定そのものにはそれぞれの国で長い歴史があるために統一的な方法は採用されていないのが現状である。JRC-IRMM では上述のように、標準物質をもとに各国間の相互比較 (Intercomparison) を行う他、新規加盟国への教育訓練を実施するなど側面的な支援が中心のように見受けられた。各国に示唆を与えることはできるが、そこに強制力はない。彼らが各国間の比較データを使った際の調査では食品のモニタリングを担当している EU 加盟 27 カ国の 87 カ所の検査機関のうち 86 カ所がゲルマニウム半導体検出器を用いており、シンチレーションスペクトロメータを使用したのは 2 機関であった。後者でシンチレーションスペクトロメータが用いられたのは経済上の理由と考えられ、ゲルマニウム半導体検出器を整備できなかったためである。上述の JRC-ITU-REM プログラムのデータを見る限り、各国とも Reporting level (RL) を下回る測定が出来ていることから、0.1 Bq/L または kg を測定できる装置を備えているものと考えられる。尚、EU よりもはるかに厳しい規制値を持つベラルーシやウクライナにおける分析に関してはノーコメントであった。また、EU においては食品の放射性物質汚染が極めて低いレベルにコントロールされている実態から、日本で実施しているスクリーニング測定のよう、迅速測定で明らかに汚染がなかったものを選別する検査は実施していないことも確認した。

JRC-IRMM は測定精度の高さとともに、彼らが作製する試料が欧州各国の国家標準と等価 (equivalent) であることが特色であり、これが EU 全体の分析の質を高く維持する上での基盤になっているものと考えられた。この分析基盤を我が国のそれに置き換えると、IRMM の役割は(財)日本分析センターが担っており、国家標準は(独)産業技術総合研究所が維持している。日本分析センターは計量法に基づくトレーサビリティ制度による校正によって国家標準にトレーサブルとなっており、その分析技術は世界的にも認められている。さらに、標準物質を用いた都道府県の分析所との比較試験をとおして、国内分析レベルを向上させて来た実績も大きい。日本として、今後取り組むべき課題の一つは、震災による原発事故後に一気に増えた"測定"の管理ではなかろうか。測定機器の管理、測定事業者の管理、測定依頼者の解釈力等々、EU ではこれらが高いレベルで総合的にシステム化されているとの印象を強く受けた。我が国においても、規格、認証、教育、規制等々官民一体となった取り組みが急がれよう。

#### <謝辞>

今回の欧州におけるモニタリング態勢視察に際し、European Commission-Joint Research Centre (EC-JRC) をご紹介頂くなど多大のご支援を頂きました駐日欧州連合 (EU) 代表部通商部 Gijs Berends 一等書記官、同通商部調査役 小林恵氏、同科学技術部 Barbara Rhode 公使参事官に感謝申し上げます。また、事前の情報交換と現地視察の案内、それにフォローアップをお願いした EC-JRC-IRMM Safety, Health, Environment and Security Sector Head の Pierre Kockerols 氏、また、現地訪問先でお世話になった EC-JRC-ITU REM の Marc De Cort 氏、EC-JRC-IRMM の Uwe Watjen 博士、The Belgian Nuclear Research Centre SCK-CEN の Liesel Sneyers 氏らの丁重なるご対応に厚くお礼申し上げます。

## VI. チェルノブイリ事故を教訓にした欧州グローバル企業の対応（ネスレ社を例にして）

本項の意図するところは、1986 年に発生したチェルノブイリ原発事故直後、欧州の食品産業を襲った緊急事態に対して、当時の食品企業がどのように向かい合いながら問題を解決し、その教訓を事後の品質保証体制整備に生かしたか等々の経過を振り返り、今日の我が国の対応の中に生かしていくことである。しかしながら、なにぶん 25 年以上前の事故対応であり、当時との情報環境の違いなどから、調査は困難を極める状況となった。そこで、本事業においては、欧州のグローバル企業の代表例としてスイスに本社を置くネスレ社に的を絞り、ネスレ日本株式会社生産本部食品法規部部長渡辺 寛氏に可能な限りの情報追跡をお願いすることとした。以下は、渡辺氏によって得られた情報に、氏自身が当事者として対応してこられたこと、見てこられたこと、感じてこられたことなどをプラスしながら情報整理して頂いたものである。これは必ずしも、当時のネスレ社全体の方針や対応を示すものではなかろうが、チェルノブイリ原発事故対応を起点に、危機から何を学ぶかを考え、それをグローバル企業として世界的な品質保証体制整備に生かしてこられたことは明瞭であり、我々として参考になる部分が多い。社内情報を快く開示して頂くなど、本事業にご支援・ご協力を賜ったネスレ社に厚くお礼を申し上げたい（事務局）。

### 1. 福島原発事故発生時のネスレ日本の対応

2011 年（平成 23 年）3 月 12 日午後 3 時 36 分、福島第 1 原子力発電所の 1 号機で水素爆発が発生したが、その時の映像は 1986 年（昭和 61 年）に発生したチェルノブイリ原子力発電所の事故を思い起こさせるもので、世界中に衝撃を与えた。

弊社では東日本大震災の発生直後に本社（神戸市）及びネスレ社本社（スイス）によるクライシス委員会を発足させて地震による被害への対応及び余震に備えての対応に取り組んでいたが、水素爆発が発生した 3 月 12 日に開催されたクライシス委員会において、シンガポールのネスレ分析センターにあったゲルマニウム半導体検出器の予備を早急に整備し、ネスレ日本に輸送することが決められた。製品の安全性を確認する方法は放射能の分析データで判断するしかなく、社内の分析体制を整えることが最優先されたと言える。

東日本大震災の発生以降の弊社の対応を時系列で示すと以下ようになる。

3 月 11 日 震災発生直後にネスレ日本及びネスレ社（スイス）にクライシス委員会が発足。

3 月 12 日 ネスレ社（スイス）主導で、直ちに放射能測定機器を日本に送る手配を開始。

- ・シンガポールのネスレ分析センターにあったゲルマニウム半導体検出器の予備機を整備の上、ネスレ日本に送ることを決定。
- ・NaI(Tl)シンチレーションサーベイメータを購入の上、日本に送ることを決定。
- ・NaI(Tl)シンチレーションサーベイメータについては、メーカー在庫 2 台を確保し、同時に 3 台を追加発注。

3 月 14 日 全従業員とその家族の人的被害が無いことを確認。

3 月 30 日 ヨーロッパのメーカーより NaI(Tl)シンチレーションサーベイメータ 2 台が日本に到着。

- ・兵庫県・姫路工場、茨城県・霞ヶ浦工場にそれぞれ配備。
- ・代理店の協力を得て機器を校正。

3 月 31 日 ゲルマニウム半導体検出器が日本に到着。

- ・兵庫県・姫路工場に配備。
- ・日本の代理店で再整備。

4 月 1 日 NaI(Tl)シンチレーションサーベイメータによる測定開始。

- ・測定方法や測定結果の妥当性等については、スイス中央研究所の専門家による助言を継続して受けた。

4月11日 プレスリリースで国内工場に放射能測定機器を導入し放射能検査を開始したことを公表。

5月20日 NaI(Tl)シンチレーションサーベイメータ3台が日本に到着  
・静岡県・島田工場に1台、茨城県・霞ヶ浦工場に2台を配備

震災発生から約1ヶ月後の4月11日に弊社はプレスリリースにて国内工場に放射能測定機器を導入し放射能検査を開始した旨を公表したが、当時、弊社の迅速な放射能自主検査の実施に対しては多くの消費者、取引先から好意的な声を頂くところとなった。

今振り返ってみると、弊社の迅速な対応の裏には、1986年に起こったチェルノブイリ原子力発電所の爆発事故の経験があったが故と思われる。当時、私は品質管理部の所属であったが、厚生労働省により輸入食品の放射能暫定限度が370Bq/kg以下（セシウム134及びセシウム137の合計）と規定されたことから、外部検査機関に分析を依頼するのに追われていた記憶が蘇る。

その一方で、今回の原発事故の影響で東京都の水道水から放射性物質が検出された時に、多くの人がスーパーでペットボトル入りのミネラルウォーターを買い求め、一種のパニックになった状況を見ると、チェルノブイリ原子力発電所の爆発事故の経験を危機管理の観点からうまく活かすことができていなかったように思われる。

我々はチェルノブイリ原子力発電所の爆発事故の経験を危機管理の観点から活かせたのか、それとも活かせなかったのか。これを何らかの形で検証することは、今後にとって重要なことではなかろうか。

そこで、チェルノブイリ原子力発電所の爆発事故当時、ヨーロッパの各国では何が起こったのかを知ることが重要と考え、ネスレ社の広報部門、品質マネジメント部門に、当時のプレスリリース等の資料を調べてもらうこととした。しかしながら、残念なことに25年前のことで、書類の保管期限が切れて廃棄されており、参考になる資料は入手できなかった。

資料が残っていないとなると、当時のことを知る人物に話を聞くしかなく、スイス本社スタッフに、当時、チェルノブイリ周辺国で危機管理の対応にあたった人物を探してもらったところ、ネスレドイツ社の本社品質マネジメント部のマネジャーが、当時の品質保証部門に配属されて2年目だったことが判り、そのマネジャーから当時の様子をきくことができた。

## 2. チェルノブイリ原子力発電所発生当時の西ドイツの状況

1986年（昭和61年）4月26日に発生したチェルノブイリ原子力発電所の爆発事故は、当時、ソビエトの事故隠しの対応により、西ヨーロッパ諸国がその事実を知るのは4月29日以降のことであった。

当時はまだ東西冷戦状態であり、ネスレドイツ社は当時の西ドイツで事業を展開しており、西ドイツ国内に3工場（カッペルン工場、ビーセンホーフエン工場、ヴェイディング工場）を有していた。この3工場とチェルノブイリとの位置関係は図1のとおりで、西ドイツ南部に2工場、西ドイツ北部に1工場があった。

以下はネスレドイツ社の本社品質マネジメント部のマネジャーに当時の西ドイツ当局の対応、市民の様子、ネスレドイツ社の対応等についての聞き取り調査をまとめたものであるが、あくまで彼の個人的な見解であり、ネスレ社の公式見解ではないことをご承知おきたい。

質問 1) 当時、行政当局はどのように対応したのか？

「当時、残留放射能の国の基準値はなく、国の基準値が設けられるまで各州政府が独自の基準値を設定しました。」

「西ドイツの食品行政当局は放射能について医学的、物理学的分野から判りえる限りの情報を国民に向けて発信しましたが、国レベルでの危機管理委員会は存在していませんでした。」

「西ドイツ国内の状況は混沌として、毎日状況は変化しました。」

質問 2) ネスレドイツ社はどのように対応したのか？

「ネスレドイツでは直ちにキャンベラ製ガンマ線スペクトロメーターを購入しました。測定装置はドイツ国内の工場（カッペルン工場、ビーセンホーフエン工場、ヴェイディング工場）に設置され、工場で使用する原材料や最終製品の検査が実施されました。」

「ヴェイディング工場及びビーセンホーフエン工場で製造する育児用粉ミルクに使用する乳製品はドイツ北部から調達することができました。」

「ガラス容器入りベビーフードに使用するフレッシュフルーツは南アフリカやアジアから調達しました。」

「ネスレドイツは“ゼロ”を保証するために、欧州圏外から原材料を調達することに全力を注ぎました。」

質問 3) 西ドイツの人々はどのような対応だったのか？

「メディアでチェルノブイリ原子力発電所の事故が報道された後、連日、食品製造業者は自社製品の放射能分析結果を新聞に掲載しました。」

「食品会社の消費者コミュニケーションは、常に製品の安全性が確保されていることを伝えるためのものでしたが、当時は食品行政当局でさえも、どのレベルの放射能であれば“安全”なのか判らなかったのもので、消費者は“ゼロ”を期待し、新聞に掲載される食品（製品）の放射能検査の結果から“ゼロ”若しくは低汚染の食品（製品）を購入しようとしていました。」

「当時の西ドイツの消費者の反応は、文化や国民性によるものなのか、他のヨーロッパの国々の消費者とは異なっていたように思います。」

質問 4) チェルノブイリ原子力発電所の爆発事故から何か学んだと思うか？

「個人的には、ネスレが品質マネジメント体制に取り組むきっかけになったと思います。」

「チェルノブイリ原発の事故から学んだこととして、現在ではより以上の科学的分野でのデータが利用可能ですが、もし、消費者が放射能の危機に直面した場合は、相手が味や臭いというような特徴が無く、目に見えないが故に、科学的な説明で食品の安全を消費者に納得させるのは非常に困難なことだと思います。」

「消費者とのコミュニケーションは、常に我々が行っていることの透明性を通じて信頼を築きあげることが基礎とし、消費者が我々に期待するものを提供することにあると思います。」

以上が彼からのコメントであるが、ここで私が思ったことは、西ドイツの人々が放射能“ゼロ”の製品



を買い求めた心理と、東京の店頭からミネラルウォーターが消えた時の人々の心理は同じではないかということである。心理学の専門家ではないので、学術的な判断ではないが、そのような感想を持ったことは事実だ。また、「科学的な説明で食品（製品）の安全性を人々に納得させるのは非常に困難だ」という彼のコメントを重く受け止める必要があるのではないかと思われた。



### 3. 『危機』から何を学ぶか

彼のコメントのなかに、「チェルノブイリの原発事故が、ネスレが品質マネジメント体制に取り組むきっかけになった」とあったが、私もこの原発事故が一つのきっかけとなって、ネスレは「品質保証体制」から「品質マネジメント体制」へ移行したと感じている。また、その後、いくつもの『危機』を経験して、「危機管理の強化」に取り組んだものと感じている。

たとえば、1986 年のチェルノブイリ原発事故以降に私が経験した食品会社にとっての大きな『危機』には以下のようなものがある。

- ◆ 1995 年 阪神・淡路大震災
- ◆ 1999 年 ベルギーダイオキシン汚染
- ◆ 2002 年 SARS（重症急性呼吸器症候群）
- ◆ 2009 年 新型インフルエンザ

これらの『危機』に直面したときに、会社にとっての財産である社員の安全をどう確保するのか、どうやって工場を稼働し製品を製造し続けるのか、そしてその製品をどうやってお客様にお届けするのかを考えて行動したが、全てがうまく機能したわけではなかった。しかしながら、うまく機能しなかった点を常に反省し、それを改善し続けたからこそ、福島原発事故に対して迅速に対応できたと言えよう。

2009 年に新型インフルエンザの世界的流行が懸念されたとき、多くの企業で「事業継続計画 (Business continuity planning : BCP)」に取り組んだと思われるが、東日本大震災の発生時や福島原発事故の発生時にその「事業継続計画」がうまく機能したかを検証することも今後の危機管理にとって重要ではないかと思われる。

「事業継続計画」の詳しい内容についてはここでは述べないが、①社員の安否確認手段の確立、②工場毎の重要生産製品の絞り込み、③原材料・包装資材等の確保、④最低操業可能社員数の把握、⑤限られた人数で操業するための社員の多能化・人材育成、⑥災害発生を想定した最低人数による工場稼働シミュレーションの実施、⑦輸送手段の確保等を、東日本大震災や福島原発事故の際の状況を踏まえて検証することが必要ではないかと思う。

福島原発の事故は電気系統の全停電という想定外の事態が原因と言われているが、今後も、私たちは想定外の大きな『危機』に直面することがあるであろう。その『危機』に備えるためにも、過去に学んで得られたことを未来に活かすことが大切ではないかと思われる。

## VII. チェルノブイリ原発事故以降に実施された各種研究・調査報告の文献情報整理

以下の研究論文リストは、今回の東京電力福島第一原子力発電所の事故を受け、(独)農研機構 食品総合研究所が日本の現状と今後の対策に参考となる判断した国内外の研究論文約 150 編（ホームページに公開及び平成 23 年 10 月発行の食糧-その科学と技術-50 号に掲載）に今回の事業で追加収集した研究論文約 40 編を加えた計 188 編の要約を記載したものである。研究論文は新たに「消費者行動」の項目を加えた 20 項目に分類して整理した。また、必要な文献の検索用に、それぞれの項目に含まれる論文の種類、核種、研究対象のインデックスを付記した。

### 1. 文献情報インデックス

#### ① 分析・測定法及び生物モニターについて

No.	種別	核種	対象	キーワード
1	原著	セシウム-137	農産物	チェルノブイリ、放射能、ダイズ、タンパク質、2 次元電気泳動
2	原著	セシウム-134、セシウム-137	分析技術	セシウム-134、セシウム-137、食品中、試験室間共同試験
3	原著	セシウム-137、ストロンチウム-90	植物	チェルノブイリ、生態系、プロテオミクス解析
4	原著	ストロンチウム-89、ストロンチウム-90	分析技術	液体シンチレーションカウンタ、迅速分析、排水
5	原著	イットリウム-90、セシウム-137、カリウム-40、ルビジウム-87、トリウム-234、プロトアクチニウム-234、鉛-214、ビスマス-214、鉛-210、ビスマス-210、ラジウム-228、アクチニウム-228、鉛-212、ビスマス-212、タリウム-208、トリウム-231、アクチニウム-227、鉛-211、タリウム-207、ウラン-238、ウラン-235、ウラン-234、プルトニウム-239、トリウム-232、アメリシウム-241、ラジウム-226、ポロニウム-210、トリウム-230	分析技術	環境大気、放射能、モニタリング、サンプリング
6	総説	特定なし	防護技術	放射線生物学、放射線防護、放射線被曝
7	原著	ラジウム-226、ウラン、プルトニウム-239	防護技術	内部被曝、線量係数、摂取保持率
8	原著	マンガン-54、コバルト-57、コバルト-60、亜鉛-65、ストロンチウム-85、イットリウム-88、カドミウム-109、スズ-113、セシウム-137、セリウム-139、水銀-203、ポロニウム-209、ラジウム-226、ラジウム-228、トリウム-230、アメリシウム-241、天然ウラン	分析技術	放射化学分析法、ガンマ線分光法、アルファ線分光法
9	総説	特定なし	分析技術	放射線検出器、ガイガーミュラー計数管、シンチレーションカウンタ
10	原著	アメリシウム-241、バリウム-133、セシウム-137、コバルト-60	分析技術	高純度ゲルマニウムスペクトル分析システム、ドリフト、エネルギー値校正
11	原著	ヨウ素-131、ベリリウム-7	分析技術	放射性降下物、捕集効率、粘着紙、降雨
12	原著	セシウム-137	環境	放射性核種、リモートセンシング、河口、濃度
13	原著	ストロンチウム-90	畜産物	生物的モニター、鹿、角



## ② 放射線被曝事故例について

No.	種別	核種	対象	キーワード
14	総説	コバルト-60、セシウム-137、イリジウム-192、ヨウ素-131、ストロンチウム-90、ポロニウム-210、リン-32、ラジウム-226、金-198	放射線防護	放射線事故、急性被曝、事故原因

## ③ 日本からの報告

No.	種別	核種	対象	キーワード
15	原著	セシウム-134、セシウム-137、ヨウ素-131、ルビジウム-103	農産物、水産物	ヨウ素-131、チェルノブイリ事故
16	原著	セシウム-137	農産物	水田、土壌、吸着
17	原著	セシウム-137	水産物	伊方原子力発電所、サメ、モニタリング
18	原著	セシウム-137	水産物	伊方原子力発電所、魚類、海水
19	原著	セシウム-137、ストロンチウム-90	大気、土壌	大気降下物濃度、再浮遊過程、黄砂
20	原著	セシウム-137、ストロンチウム-90、トリチウム、ヨウ素-131、プルトニウム-239、プルトニウム-240	食品、農産物、畜産物、環境(土壌・水等)	文部科学省、分析法、サーベイランス
21	解説	セシウム-137、ストロンチウム-90、トリチウム、プルトニウム-239、プルトニウム-240	水産物	原子力発電所等周辺海域、核燃料サイクル施設沖合海域、海洋放射能調査、海水試料、海底土試料、海産生物試料
22	報告書	セシウム-137、ヨウ素-131、ストロンチウム-90	環境(土壌・水等)、畜産物	環境放射能、空間放射線量率、放射線核種分析
23	原著	セシウム-137、カリウム-40	農産物	キノコ、放射線量、摂取量
24	原著	セシウム-134、セシウム-137	環境(土壌・水等)	動燃事故、東海村、チェルノブイリ、放射性セシウム、大気、排出量
25	総説	セシウム-137	水産物	海産生物、原子力発電所等周辺海域、人工放射性核種、放射性セシウム濃度
26	原著	ヨウ素-131	畜産物、環境(土壌・水等)	名古屋、日本、牛乳、雨水、実効半減期
27	原著	セシウム-137	農産物	セシウム-137、松の木、チェルノブイリ事故、アルカリ土類金属
28	原著	セシウム-137	農産物	米、水田、放射性核種の移行係数、安定同位体元素、穀物、TRS-364

## ④ 核種の移動及び環境影響等について

No.	種別	核種	対象	キーワード
29	総説	ヨウ素-131、セシウム-137	農産物、畜産物、環境(土壌・水等)	ヨウ素-131、セシウム-137、EURAD (EUROPEAN Acid Deposition)モデル、線量予測
30	原著	セシウム-137	農産物	食品汚染、チェルノブイリ、セシウム-137
31	原著	セシウム、ヨウ素	環境(土壌・水等)、畜産物	チェルノブイリ、放射性セシウム、イライト(鉱物)、泥炭、移行因子、植物、英国高地生態系、ヒツジ、放射能汚染
32	原著	セシウム-137、ヨウ素-131	畜産物	産卵、シジュウカラ、チェルノブイリ、孵化
33	原著	セシウム-137、ストロンチウム-90	食品、飼料、環境試料	ハンガリー、サーベイランス、預託実効線量
34	原著	セシウム-137	環境(土壌・水等)	チェルノブイリ、放射線基準、食物連鎖
35	原著	セシウム-137	環境(土壌・水等)	チェルノブイリ、トウヒ、樹皮

36	原著	セシウム-137、ストロンチウム-90、プルトニウム-238 等	環境(土壌・水等)	チェルノブイリ、分布、移動
37	原著	セシウム-137	環境(土壌・水等)	放射性降下物、土壌、平均残留半減期、核実験、チェルノブイリ
38	原著	セシウム-137	環境	年間預託実効線量、海水表層、ギリシャ、チェルノブイリ、海洋魚
39	原著	セシウム-137、コバルト-60	環境	核廃棄物処理場、実効拡散係数、実効吸収係数
40	原著	セシウム-137	森林生態系	森林、土壌、植物、キノコ、安定同位体セシウム、移行係数
41	原著	セシウム-137、ストロンチウム-90	生態系（森林）	セシウム-137、移行係数、アルカリ金属類
42	総説	セシウム-137、ストロンチウム-90	生態系（森林）	キノコ、ベリー、狩猟動物、トナカイ、樹木、放射性核種、移行
43	総説	セシウム-137、ストロンチウム-90	農産物	根吸引、土壌・植物移行係数、セシウム-137、ストロンチウム-90、重金属

#### ⑤ モデル・シナリオ・提言等について

No.	種別	核種	対象	キーワード
44	原著	セシウム-137、ストロンチウム-90、プルトニウム-239/240、アメリシウム-241	食品、農産物、畜産物、環境(土壌・水等)	意志決定、利益－コスト最適化、実行モデル
45	原著	セシウム-137、ヨウ素-131	食品、畜産物	サプライチェーン、ネットワーク構築、専門家グループ
46	原著	特定なし	食品	ケータリング、家庭、小冊子
47	原著	セシウム、ヨウ素、ストロンチウム	畜産物	汚染、コスト、対策、酪農、助言サービス、飼料、放射性核種
48	原著	セシウム-137、ヨウ素-131	防護技術	汚染防護対策、最大許容濃度設定、食品、年間摂取量、費用対効果
49	原著	特定なし	環境	放射性降下物、土壌、動態、分布、シミュレーション
50	原著	セシウム-137	環境	土壌、移動、動態解析
51	原著	セシウム-137	環境	チェルノブイリ、土壌、移動、植物、吸収

#### ⑥ 植物（農作物を除く）への移行及び影響等について

No.	種別	核種	対象	キーワード
52	原著	セシウム	農産物、環境(土壌・水等)	チェルノブイリ、放射性セシウム、洪水、土壌溶液、根吸収
53	原著	ヨウ素、セシウム	農産物	捕捉、植生、エアロゾル
54	原著	セシウム-134、セシウム-137、カリウム	環境(土壌・水等)	チェルノブイリ、季節変動、泥炭地
55	原著	セシウム	農産物、環境(土壌・水等)	土壌、植物移行、縮小モデル
56	原著	ヨウ素	畜産物、環境(土壌・水等)	Julich 原子力研究所、生物学的半減期、植生、沈着
57	原著	セシウム-134	環境(土壌・水等)	ストローブマツ、アカガシワ、残留、実効半減期
58	原著	ヨウ素 - 131	農産物	次亜ヨウ素酸、植物への移行、大気中粒子、有機ヨウ化物
59	原著	セシウム-137、ストロンチウム-90	農産物	植物、吸収、水耕栽培、ヒマワリ
60	原著	セシウム-137	農産物、環境	灰、肥料、植物、チェルノブイリ

61	総説	セシウム-134、セシウム-137	農産物、環境	放射性セシウム、植物、吸収、カリウム、ファイトレメディエーション
62	原著	セシウム-137、ストロンチウム-90	環境	チェルノブイリ、ヨーロッパアカマツ植林、移行、循環、蓄積
63	原著	セシウム-134	農産物、環境	移行係数、吸収量、フラックス、ヒマワリ、大豆
64	原著	セシウム-137	農産物	ヒマワリ、ヨシ、ポプラ、セシウム吸収
65	原著	セシウム-137	農産物	セシウム-137、汚染、環境、フォードチェーン、放射線降下物

### ⑦ 地衣類・コケ類について

No.	種別	核種	対象	キーワード
66	原著	セシウム-137、ヨウ素-129	農産物、環境(土壌・水等)	地衣類、経時変化、チェルノブイリ、地上核兵器実験
67	原著	ヨウ素 - 131	農産物、環境(土壌・水等)	サスケハナ原子力発電所、チェルノブイリ、スリーマイル
68	原著	セシウム-137、ベリリウム-7、放射性ウラン核種、トリウム崩壊系列	農産物	地衣類、蓄積、生物学的半減期、チェルノブイリ
69	原著	ウラン-238、ラジウム-226、トリウム-232、カリウム-40、セシウム-137	環境	放射性核種、コケ類、移行、濃縮比
70	原著	セシウム-134、セシウム-137	農産物	放射性セシウム、カリウム、アーバスキュラー菌根菌、in vitro、植生安定化
71	総説	セシウム-137	環境（森林）	菌類、キノコ、菌根、放射性物質、循環、移行係数、モデリング、森林放射線生態学

### ⑧ 食物連鎖・生体濃縮等について

No.	種別	核種	対象	キーワード
72	原著	セシウム-137	セシウム-137	土壌汚染、農産物
73	原著	セシウム-134	畜産物	放射性セシウム、吸収、生体利用効率、保持率、トナカイ
74	原著	セシウム-137	農産物、畜産物	チェルノブイリ、セシウム-137、食物連鎖、SPADE、摂取評価
75	原著	セシウム-137	畜産物	イノシシ、ノロジカ、キノコ
76	原著	セシウム-137	畜産物	トナカイ、チェルノブイリ、スウェーデン
77	原著	セシウム-133（安定同位体）	水産物	食物連鎖、蓄積、生物濃縮、魚
78	総説	セシウム-137、セシウム-134、ヨウ素-131、ストロンチウム-90	農産物、畜産物、水産物	チェルノブイリ、食品、汚染、内部被曝
79	原著	ストロンチウム-90、セシウム-137、プルトニウム-239/240、アメリカシウム-241	農産物、畜産物、環境	土壌、植物、動物、移行
80	原著	プルトニウム、セシウム-137、ストロンチウム-90	環境	チェルノブイリ、無脊椎動物、放射性核種、移行
81	原著	セシウム-137	農産物	チェルノブイリ、放射性降下物、セシウム、フードチェーン

### ⑨ 野菜・果実について

No.	種別	核種	対象	キーワード
82	原著	セシウム、ストロンチウム、ルテニウム	農産物	食物連鎖、放射性核種、事故分析、汚染、環境

83	原著	セシウム-137	農産物	セシウム-137、放射性同位体、農産物、作物、土壌、野菜、動的食物連鎖モデル
84	原著	ヨウ素-131、セシウム-134	農産物	ヨウ素-131、セシウム-134、葉物野菜、乾燥沈着
85	原著	ヨウ素-131、ヨウ素-129	農産物、環境(土壌・水等)	移行係数、放射性ヨウ素、野菜、小麦、黒ボク土
86	原著	セシウム-137	農産物	放射性降下物、ギョリュウモドキ、ベリー、移行係数
87	原著	ヨウ素	農産物	チェルノブイリ、甲状腺腫誘発地域、野菜、ヨウ素、植物
88	原著	セシウム-137、ストロンチウム-85	生態系(森林)	放射性セシウム、放射性ストロンチウム、土壌、中国産キャベツ、移行、カリウム、カルシウム
89	総説	セシウム-137、ストロンチウム-90、プルトニウム、アメリカシウム	農産物	放射性核種、果実、土壌、土壌 - 果実移行、移行係数
90	原著	セシウム-134、ストロンチウム-85	農産物	ワイン、セシウム-134、ストロンチウム-85、放射性汚染、転移、葉面吸収、土壌接種
91	原著	セシウム-134、ストロンチウム-85、亜鉛-65	農産物	トマト、湿性沈着、放射性核種、葉面吸収、根吸収、セシウム、ストロンチウム、亜鉛
92	原著	セシウム-134、ストロンチウム-85	農産物	セシウム、果樹、葉面吸収、葉齢、ストロンチウム、転移
93	原著	セシウム-137	農産物	セシウム-137、チェルノブイリ、汚染、事故、原子力
94	原著	セシウム-137	農産物	セシウム、果樹、動態

#### ⑩ 穀物について

No.	種別	核種	対象	キーワード
95	原著	セシウム-137、ストロンチウム-90	農産物	小麦、品種内変動、野外実験
96	原著	セシウム-137、ストロンチウム-90	農産物	穀類
97	原著	セシウム-137、ストロンチウム-91	農産物	小麦、品種間差、チェルノブイリ、土壌改良

#### ⑪ キノコについて

No.	種別	核種	対象	キーワード
98	原著	セシウム-137、カリウム-40	農産物	キノコ、濃度比
99	原著	セシウム-137	環境(土壌・水等)	セシウム、蓄積、カリウム、糸状土壌細菌、ポリリン酸、細胞質
100	原著	セシウム-137	農産物	キノコ、核爆発
101	原著	セシウム-137、カリウム-40	農産物、環境	キノコ、土壌中の蓄積量、生育深度、蓄積
102	総説	セシウム-137、セシウム-134	農産物	濃度、移行係数、生物学的モニター、チェルノブイリ

#### ⑫ ミルク・乳製品について

No.	種別	核種	対象	キーワード
103	原著	セシウム-137、ストロンチウム-90	畜産物	放射性セシウム、放射性ストロンチウム、生物学的半減期、2-コンパートメントモデル、半自然環境

104	原著	ヨウ素-131、セシウム-137	畜産物、環境(土壌・水等)	移行、ミルク、牧草、ヨウ素、セシウム、チェルノブイリ
105	原著	ストロンチウム-90、ウラン-238、ウラン-234、セシウム-137、カリウム-40、プルトニウム-239/240	畜産物、食品	ストロンチウム-90、チーズ、ウラン、ミルク、移行、欧州
106	原著	ヨウ素-131、セシウム-137	畜産物、環境(土壌、水等)	チェルノブイリ、牧草、乳牛、牛乳、移行
107	原著	セシウム-137	食品、畜産物	チェルノブイリ、ミルク、牧草
108	原著	セシウム-137	食品	チェルノブイリ、内部被曝、ミルク
109	原著	ヨウ素-131	畜産物	移行係数、ミルク
110	原著	セシウム	食品	移行予測、食品、土壌、チェルノブイリ
111	原著	ヨウ素-131、セシウム-134、セシウム-137	食品、畜産物	チーズ、ミルク、クリーム、移行、チェルノブイリ
112	原著	セシウム-137、ストロンチウム-90	畜産物	セシウム-137、ストロンチウム-90、チーズ、牛乳
113	原著	ストロンチウム-90、セシウム-137	畜産物	移行、牧場、放射性降下物、ストロンチウム-90、セシウム-137
114	原著	セシウム-137、ストロンチウム-90	畜産物	土壌、草、牛乳、セシウム-137、ストロンチウム-90
115	原著	セシウム-137	食品	セシウム-137、フードチェーン、チェルノブイリ、全身の測定値

### ⑬ 畜産物・食肉等について

No.	種別	核種	対象	キーワード
116	原著	ヨウ素、ストロンチウム、セシウム、プルトニウムなど多数	畜産物	移行係数、畜産物、ミルク、肉、卵、放射性核種
117	原著	コバルト-60、ニオブ-95、ルビジウム-106、セシウム-134、セシウム-137、プルトニウム-238、プルトニウム-239/240、アメリシウム-241	畜産物	羊、組織、ミルク、塩性湿地植物、移行、牧草
118	原著	セシウム-137	畜産物	チェルノブイリ、セラフィールド、乳、羊、移行係数
119	原著	プルトニウム-239/240、セシウム-137	畜産物	動物、肝臓、放射性降下物
120	原著	セシウム、ヨウ素、ストロンチウム等対象核種	畜産物	畜産物、移行係数、消化管、吸収係数
121	原著	ヨウ素-129	畜産物、食品	安定同位体、放射性核種、家畜製品、移行
122	原著	プルトニウム-239/240、セシウム-137、ストロンチウム-90、カリウム-40	農産物、食品	放射性核種、ハチミツ、バイオインジケーター
123	総説	セシウム-137	畜産物	反芻動物、放射性セシウム、移行
124	原著	セシウム-134	畜産物	トナカイ、セシウム、組織分布
125	総説	セシウム-137、ストロンチウム-90他多数	畜産物	放射性核種、家畜動物、挙動

### ⑭ 淡水・海水生物について

No.	種別	核種	対象	キーワード
-----	----	----	----	-------

127	原著	コバルト-60、ストロンチウム-90、セシウム-137、トリチウム	水産物、環境(土壌・水等)	淡水生物相、予測モデル、放射性核種移行
128	原著	コバルト-60、ユーロピウム-52、ストロンチウム-90、テクネチウム-99、ヨウ素-129、セシウム-137、アメリシウム-241、プルトニウム-238、プルトニウム-239/240、ウラン-234、ウラン-235、ウラン-236、ウラン-238	水産物、環境(土壌・水等)	アムチトカ島、地下核実験、海水魚、海鳥
128	原著	アメリシウム-241、コバルト-60、ストロンチウム-90、セシウム-137	水産物	淡水生物、魚類、移行、濃縮係数
129	原著	セシウム-137	水産物	魚類、移行、濃縮係数
130	原著	セシウム-137	水産物	海洋生物、生物濃縮、放射性核種濃度

⑮ 基準値・規制等について

No.	種別	核種	対象	キーワード
131	原著	セシウム-134、セシウム-137、ストロンチウム-90	畜産物	食物連鎖、原子力事故、家畜飼料、汚染、基準値
132	原著	ヨウ素、セシウム、ストロンチウム等	防護技術	国際放射線医学会議、国際放射線防護委員会
133	総説	特定なし	放射線防護	放射線防護、ICRP、低線量被曝、確率の影響、DNA 損傷

⑯ 実効半減期について

No.	種別	核種	対象	キーワード
134	原著	セシウム-137、セシウム-134、銀-110m	セシウム-137、セシウム-134、銀-110m	チェルノブイリ、牧草、子羊
135	原著	ストロンチウム-90、セシウム-137	農産物、畜産物、水産物、環境(土壌・水等)	生態学的半減期、食品
136	原著	ストロンチウム-85、セシウム-134	畜産物、環境(土壌・水等)	牧草、除去、減衰
137	原著	ヨウ素-131、セシウム-141、セシウム-134、セリウム-144、ストロンチウム-90、ストロンチウム-89、ルテニウム-106、マンガン-54	農作物、環境(土壌・水等)	$T_w$ 、環境的半減期、堆積方法、文献値
138	原著	テクネチウム-99	農産物、環境(土壌・水等)	取り込み、土壌、土壌植物間濃縮比
139	総説	セシウム-137	環境(土壌・水等)	崩壊定数、実効半減期、珊瑚礁、温帯
140	総説	セシウム-137	農産物、畜産物	チェルノブイリ、野菜、果物、牛乳、半減期

⑰ 防護措置等について

No.	種別	核種	対象	キーワード
141	原著	セシウム-137、ストロンチウム-90	食品、農産物、畜産物	セシウム-137、ストロンチウム-90、防護措置、土壌浄化、食品加工
142	総説	セシウム-131、セシウム-137、ヨウ素-131	食品、農産物	チェルノブイリ、農業防護対策
143	総説	セシウム、ヨウ素	放射線防護	急性障害、晩発障害、防護剤
144	原著	セシウム-137	農産物、畜産物、環境(土壌・水等)	チェルノブイリ、ロシア、農村集落、環境浄化、セシウム-137、内部被曝線量



145	総説	特定なし	防護技術	野菜、果物、栄養補助食品
146	原著	ヨウ素-131	畜産物	安定ヨウ素摂取量、牛乳、移行係数、摂取基準
147	原著	セシウム-137	農産物、環境	土壌、汚染、浄化、ナタネ
148	原著	セシウム-134	農産物、環境	土壌、野菜、吸収、消石灰
149	総説	特定なし	防護技術	放射線防護、環境防護、放射線生物学、放射線生態学
150	総説	特定なし	放射線防護	総説、規定、勧告、規範、歴史
151	総説	セシウム、ストロンチウム、ヨウ素	防護技術	放射線防除、放射線防護剤、米国食品医薬品局

⑱ 低減措置等について

No.	種別	核種	対象	キーワード
152	原著	ウラン-238	環境（土壌・水等）	ウラン、環境浄化、クエン酸、ライグラス、カラシナ
153	総説	セシウム、ヨウ素	農産物、畜産物	チェルノブイリ、農業分野、帰結、対策、修復
154	原著	セシウム-137	水産物、畜産物	チェルノブイリ、湖水魚、キノコ、内部被曝
155	原著	ヨウ素-131	ヨウ素-131	チェルノブイリ、ヨウ素カリウム、過塩素酸塩、甲状腺、ヨウ素-131 曝露
156	原著	セシウム-137	農産物、環境(土壌・水等)	放射性セシウム、カリウム、菌類、植物、ギョリユウモドキ、コケモモ
157	原著	ストロンチウム-85、セシウム-137、ヨウ素-131、セリウム-141	防護技術	経口摂取、放射性元素、体内残留、治療、減少
158	原著	ヨウ素	食品、畜産物	ミルク、餌、過塩素酸塩、チオシアネート
159	原著	セシウム-134	セシウム-134	ブルシアンプルー、フェリシアン化鉄、市販医薬品、セシウム結合能
160	原著	セシウム-137、ヨウ素-131	畜産物、環境（土壌・水等）	陰イオン交換樹脂、フェロシアン化物、牛乳、チェルノブイリ
161	原著	セシウム-137	畜産物、放射線防護	畜産物、ヘキサシアノ鉄酸、牛乳、牛肉、フェロシン
162	総説	セシウム-137、ヨウ素-131、ストロンチウム-90	水産物、農産物	地表水、飲料水、淡水魚
163	原著	セシウム-137	防護技術	チェルノブイリ、放射性核種、食品、内部被曝、ベクチン
164	原著	セシウム-137	水産物	淡水魚、養殖、移行
165	総説	セシウム-137、ストロンチウム-90	環境	チェルノブイリ、土壌改良、牧草、ナタネ、ブルシアンプルー
166	原著	セシウム-137	農産物、防護技術	チェルノブイリ、リンゴベクチン、プラセボ、除染
167	原著	セシウム-137	農産物、防護技術	チェルノブイリ、ベラルーシ、汚染牛乳、循環器症状、リンゴベクチン
168	原著	セシウム-137	農産物、防護技術	チェルノブイリ、ベラルーシ、ベクチン、子供、除染
169	原著	セシウム-137	農産物、防護技術	ブルシアンプルー、リンゴベクチン、チェルノブイリ、ウクライナ、除染

⑲ 調理・加工について

No.	種別	核種	対象	キーワード
170	原著	ラドン-226、ポロニウム-210、鉛-210、セシウム-137、ストロンチウム-90	食品	加工処理、調理過程、残存率

171	原著	ルテニウム-103、セシウム-134、セシウム-137	農産物	除去率、葉物野菜、調理、チェルノブイリ
172	原著	ヨウ素-131	農産物、水産物	除去率、ヨウ素-131、葉物野菜、海藻、調理
173	原著	セシウム-137	水産物、食品	セシウム-137、調理、下ごしらえ、魚
174	原著	セシウム-137	食品	食物連鎖、セシウム-137、チェルノブイリ、汚染、環境
175	原著	ヨウ素-131	食品、農産物	野菜、調理、ガイドライン
176	原著	セシウム-134、ストロンチウム-89	農産物	イチゴ、トマト、保存前処理、スプレー洗浄、放射性核種除去
177	原著	セシウム-137、ストロンチウム-90	農産物	酢漬け、缶詰、ブランピング、冷凍、洗浄
178	総説	ヨウ素-131、セシウム-137、ストロンチウム-90、ストロンチウム-89	食品、畜産物	乳製品、放射能除去、保存、イオン交換

## ⑩ 消費者行動について

No.	種別	核種	対象	キーワード
179	原著	特定なし	放射線汚染対策、社会的反応	放射性汚染、消費者行動、対応策、パブリック・アクセプタンス
180	原著	特定なし	放射性汚染対策、当事者による評価、政治的構造	放射性汚染、対応策、ステークホルダー
181	原著	特定なし	安全性、品質、消費者の認識	消費者認識、食品安全、リスクコミュニケーション
182	原著	特定なし	チェルノブイリ事故、心理的反応、心理的要因	リスク認知、態度、癌のリスク、チェルノブイリ事故
183	原著	特定なし	放射性汚染下での実生活体験	原発事故、リスクソサエティ、病気のリスク
184	原著	特定なし	ベラルーシ、チェルノブイリ事故、心理的影響	ベラルーシ、チェルノブイリ、原発事故、クロスセクション研究、心理ストレス
185	原著	特定なし	放射性リスク、情報源、信用度	被ばくリスク、情報源、信用
186	原著	特定なし	リスク認知、チェルノブイリ原子力発電所事故	リスク認知
187	原著	特定なし	汚染地域、長期的マネジメント	対策、倫理、正当化、バリューマトリックス
188	原著	特定なし	放射性汚染対策、当事者、評価	対策、ステークホルダー

## 2. 研究論文邦文要旨

### ① 分析・測定法及び生物モニターについて 【1】～【13】

#### 【1】チェルノブイリ区域由来の完熟ダイズ種子のプロテオーム解析は汚染環境への植物の順応を示唆している

➤ 英語タイトル：Proteomic Analysis of Mature Soybean Seeds from the Chernobyl Area Suggests Plant

#### Adaptation to the Contaminated Environment

- 著者名：Maksym Danchenko, Ludovit Skultety, Namik M. Rashydov, Valentyna V. Berezhna, L'ubomir Matel, Terezia Salaj, Anna Pret'ova, and Martin Hajduch.
- 雑誌名：Journal of Proteome Research, 8, 2915-2922(2009)
- 論文種別：原著論文
- 核種：セシウム-137
- 研究対象：農産物
- キーワード：チェルノブイリ、放射能、ダイズ、2次元電気泳動
- 索引用キーワード：チェルノブイリ、放射能、ダイズ、タンパク質、2次元電気泳動
- 引用の図表点数：図6点、表2点

#### 【要約】

チェルノブイリ事故の影響を大豆種子のタンパク質の変化を指標に解析した原著論文である。チェルノブイリ原子力発電所から100km離れた対照地域由来の完熟ダイズ種子と比較して約163倍のセシウム-137で汚染されている地域で収穫された種子は小さくまた吸水も遅かった。対照地域由来・汚染地域由来それぞれの完熟ダイズ種子からタンパク質を抽出し、3連で2次元電気泳動の解析を行った結果、分離可能な698の異なるタンパク質のうち、大豆の由来によって発現量が異なる9.2% (64種)のタンパク質が見つかった。これらを液体クロマトグラフ-タンデム質量分析 (LC-MS/MS) を用いて解析し、26種のタンパク質を同定でき、それらを解析した結果、グリシニン、ベーターコングリシニンなど種子貯蔵タンパク質の量的変化、デハイドリンのような重金属や凍結ストレスに対する抵抗性に関わるタンパク質の増加、パーオキシゾームベタインアルデヒドデヒドロゲナーゼの増加などが汚染環境順応に関係すると示唆される、とされている。

## 【2】食品中の長寿命放射性セシウム、セシウム-134 及び セシウム-137、のガンマ線スペクトロメトリによる検出：試験室間共同試験の要約

- 英語タイトル：Determination of long-life radiocesiums Cs-134 and Cs-137 in food by gamma-ray spectrometry: summary of collaborative study
- 著者名：Beljaars PR, Van Dijk R., Geertsen JA, Nootenboom H.
- 雑誌名：Journal of AOAC International, 80(3), 545-548(1997)
- 論文種別：原著論文
- 核種：セシウム-134、セシウム-137
- 研究対象：分析技術
- キーワード： $^{134}\text{Cs}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ 、食品中、試験室間共同試験
- 索引用キーワード：セシウム-134、セシウム-137、食品中、試験室間共同試験
- 引用の図表点数：表1点

#### 【要約】

本論文では、食品中のセシウム-134 とセシウム-137 のガンマ線スペクトロメトリによる測定法の妥当性確認のための試験室間共同試験の取りまとめ結果を報告している。方法は、低分解能のNaI (TI) シンチレーション検出器と波高分析器 (マルチチャンネルアナライザ) で構成されるガンマ線スペクトロメータシステム。試験室数：13、食品カテゴリー：3種の食品 (ハチミツ、ミルク、ミックスハーブ)、配付資料数 4種類×2併行 合計8個。高分解能GeLi検出器を用いた基準測定と比較した両核種の分析精度は98~103%の範囲。併行相対標準偏差 (RSDr) は、セシウム-134の2濃度121または337 Bq/kgに対して11.7または4.3% セシウム-137濃度、210~1,130 Bq/kgの4試料に対しては2.0~7.3%の範囲。室間再現相対標準偏差 (RSDR) はセシウム-134で4.3~7.4%、セシウム-137で10.7~14.9%であった。この方法は「新鮮な」核分裂生成物 (訳注：I-131やBa-140, La-140等の短寿命核種) の減衰後に利用可能である。ただし、900秒間の計測で放射能が<100 Bq/kgとなる試料やセシウム-137/セシウム-134の放射能比が10を超える試料に対しては適さない。食品中のセシウム-134及びセシウム-137を検出するガンマ線分析法としてAOAC InternationalのFirst Action Methodに採択されたことが報告されている。 訳注：(AOAC Official Method 996.05 Cesium-134 and Cesium-137 in Foods  $\gamma$ -Ray Spectrometric Method, に Final Action 1998 として収載)

### 【3】チェルノブイリ地域で生育したアマ（flax）のプロテオミクス解析は、種子プロテオームへの汚染環境の影響は限定的であることを示唆している

- 英語タイトル：Proteomics analysis of flax grown in Chernobyl area suggests limited effect of contaminated environment on seed proteome
- 著者名：Klubicova K., Danchenko M., Skultety L., Miernyk JA, Rashydov NM, Berezhna VV, Pret'ova A., Hajduch M..
- 雑誌名：Environmental Science & Technology, 44, 6940-6946(2010)
- 論文種別：原著論文
- 核種：セシウム-137、ストロンチウム-90
- 研究対象：植物
- キーワード：flax plants, proteomic analysis, radioactivity uptake
- 索引用キーワード：チェルノブイリ、生態系、プロテオミクス解析
- 引用の図表点数：図 6 点、表 2 点

#### 【要約】

1986 年 4 月 26 日のチェルノブイリ原子力発電所(CNPP)の事故は人類史上で最も重大な原子力災害である。チェルノブイリ原子力発電所に隣接した地域はストロンチウム-90 及びセシウム-137 を含む半減期の長い放射性同位体を実質的に汚染されたままであるが、驚くことに、現地の生態系はこの状況に適応してきている。本論文では、植物の適応性を評価するため、アマのプロテオミクス解析の結果を報告している。原子力発電所に隣接した地域に生育するアマ(*Linum usitatissimum*) Kyivskyi 品種の種子をチェルノブイリ地域の放射性物質で汚染された土壌及びその対照区に播種した。成熟種子より総タンパク画分を分離し、タンデム質量分析を組み合わせた二次元電気泳動を用いて分析した結果、興味深いことに、放射性物質汚染環境での植物の成長は、ほとんど種子プロテオーム解析結果に影響を与えず、しかも両方の圃場（放射性同位体汚染地区及び対照区）で収穫された種子で定量化可能な 720 個のタンパク質スポットの内、量的に異なるスポットはわずか 35 個 ( $p < 0.05$ ) であった。量的差異が認められた 35 個のタンパク質スポットの内の 28 個のタンパク質を、最先端の質量分析イオン化法を用いて同定した。本論文によれば「放射性物質汚染土壌で育った植物に由来する種子のプロテオーム解析により、認められたタンパク質の変化は、複数のシグナル伝達系に僅かな調整が起きたことを示す程度のものであった」とされる。

### 【4】液体シンチレーションカウンタを用いた排水中ストロンチウム-89 及びストロンチウム-90 の迅速分析法

- 英語タイトル：Rapid Analysis Method of  $^{89}\text{Sr}$  and  $^{90}\text{Sr}$  in Effluent with a Liquid Scintillation Counter
- 著者名：中野 政尚, 檜山 佳典, 渡辺 均, 住谷 秀一
- 雑誌名：Radioisotopes, 59(5), 319-328(2010)
- 論文種別：原著論文
- 核種：ストロンチウム-89、ストロンチウム-90
- 研究対象：分析技術
- キーワード：liquid scintillation counter, rapid analysis, spectrum analysis
- 索引用キーワード：液体シンチレーションカウンタ、迅速分析、排水
- 引用の図表点数：図 7 点、表 2 点

#### 【要約】

液体シンチレーションカウンタを用いた排水中のストロンチウム-89 及びストロンチウム-90 の迅速分析法に関する論文である。本論文によれば、妨害核種（マンガン-54、コバルト-60、ルテニウム-106 及びセシウム-137）を含む模擬排水試料の分析においても LSC-カクテル法は十分に適用可能であり、また分析に要する期間も従来法が 2～3 週間であるのに対して、本法では 3～4 日間と大幅に短縮できた。

### 【5】環境大気中の放射能モニタリングをするための最適試料容量

- 英語タイトル：Determining the Optimum Sample Volume for Environmental Airborne Radioactivity Monitoring
- 著者名：Boothe G F, Priddy G R, Ruben R H, McBaugh D.
- 雑誌名：The Radiation Safety Journal, 94(Supplement1), S21-S26(2008)

- 論文種別：原著論文
- 核種：イットリウム-90、セシウム-137、カリウム-40、ルビジウム-87、トリウム-234、プロトアクチニウム-234、鉛-214、ビスマス-214、鉛-210、ビスマス-210、ラジウム-228、アクチニウム-228、鉛-212、ビスマス-212、タリウム-208、トリウム-231、アクチニウム-227、鉛-211、タリウム-207、ウラン-238、ウラン-235、ウラン-234、プルトニウム-239、トリウム-232、アメリシウム-241、ラジウム-226、ポロニウム-210、トリウム-230
- 研究対象：分析技術
- キーワード：operational topics, air sampling, environmental assessment, radioactivity, airborne
- 索引用キーワード：環境大気、放射能、モニタリング、サンプリング
- 引用の図表点数：図4点、表2点

#### 【要約】

本論文では、環境大気中の放射能モニタリングをするための最適空気試料容量を求める方法について記載されている。ハンフォードでの環境大気中の放射能測定における最適試料容量は約1,000立方メートルであった。この容量で、流速を増加させサンプリング時間を長くすると計測精度が上がる。しかし、この容量以上では精度の上昇はわずかであり、また、フィルターからの粒子の脱落、アルファ線測定効率の低下及びサンプリングポンプの負荷が問題となる、としている。

### 【6】放射線生物学：放射線防護の概念

- 英語タイトル：Radiation biology: Concepts for radiation protection
- 著者名：Preston R J
- 雑誌名：Health Physics, 88(6), 545-556(2005)
- 論文種別：総説
- 核種：なし
- 研究対象：防護技術
- キーワード：reviews, biokinetics, radiobiology, health physics society
- 索引用キーワード：放射線生物学、放射線防護、放射線被曝
- 引用の図表点数：なし

#### 【要約】

この総説では、これまでの放射線生物学の進展について紹介している。放射線の作用機構が長年に渡り研究され、遺伝子変異や染色体変化が放射線によるDNA損傷やDNA修復エラーにより引き起こされることが明らかとなっている。放射線量とDNA損傷の関係についての研究は今後も重要性が高く、このメカニズムを基礎とした発癌の危険性の指標となる放射線量反応モデルが検討されている。放射線生物学の研究は、放射線被曝から人間の健康を守るための最善の方法に常に着目している。

### 【7】内部被曝量測定に関する総説

- 英語タイトル：Internal dosimetry: A review
- 著者名：Potter CA
- 雑誌名：Health Physics, 88(6), 565-578(2005)
- 論文種別：原著論文
- 核種：ラジウム-226、ウラン、プルトニウム-239
- 研究対象：防護技術
- キーワード：reviews, dose assessment, dosimetry, internal
- 索引用キーワード：内部被曝、線量係数、摂取保持率
- 引用の図表点数：表2点(数式31点)

#### 【要約】

本稿では、内部被曝量測定の研究史と現状について概説する。具体的には、測定基準と測定モデル、線量係数(dose coefficients)と摂取保持率(intake retention fractions)の導出、バイオアッセイ測定、摂取量と線量の算出、について触れる。さらに、特別の設備あるいは作業のための内部被曝量測定や、計画を実行するための方法論の必要性についてのガイダンスを作成し、提供する。また、内部被曝量測定の目的についての議論のみならず将来的な展開と方向性への提言も盛り込んでいる。

## 【8】 アルファ線やガンマ線を放出する放射性核種を含む液体試料の一段階前処理法による迅速スクリーニングと分析

- 英語タイトル：Rapid screening and analysis of alpha- and gamma-emitting radionuclides in liquids using a single sample preparation procedure
- 著者名：Parsa B, Henitz JB, Carter JA
- 雑誌名：Health Physics, 100 (2), 152-159(2011)
- 論文種別：原著論文
- 核種：マンガン-54、コバルト-57、コバルト-60、亜鉛-65、ストロンチウム-85、イットリウム-88、カドミウム-109、スズ-113、セシウム-137、セリウム-139、水銀-203、ポロニウム-209、ラジウム-226、ラジウム-228、トリウム-230、アメリシウム-241、天然ウラン
- 研究対象：分析技術
- キーワード：emergencies radiological, proportional counters, spectroscopy alpha, spectroscopy gamma
- 索引用キーワード：放射化学分析法、ガンマ線分光法、アルファ線分光法
- 引用の図表点数：図 5 点、表 8 点

### 【要約】

短期間に多数の液体試料を分析でき、幅広い放射性核種を測定できる多面的放射化学分析法の開発について書かれている。本法によれば、一段階のみで特異的、迅速な前処理が可能で、連続的・並列的に正確に高い精度で分析対象を定量できる。また、この前処理法で調製した同じ試料を、総アルファ線量計測、ガンマ線分光法、アルファ線分光法のそれぞれで測定することができる。放射線による非常事態が起きて、防護活動の根拠となる分析データが緊急に必要となるような場合には、特に魅力的な方法といえる。簡便で迅速であるため、現場に移動可能な実験室においても実施できることから、実験施設に試料を持ち込む時間と費用を節約できる。この前処理方法は、試料の 100 ml にバリウム-133 と鉄-59 をトレーサーとして添加し、硫酸バリウムや水酸化鉄を用いて化学的に共沈分離するものである。調製試料中の総アルファ粒子活性を、バックグラウンドの低いガス比例計数管で測定し、続いて高純度内蔵ゲルマニウム検知器付きのガンマ線分光システムにより、光子放出体

(photon-emitters) を分析した。トレーサーとして用いたバリウム-133 と鉄-59 のガンマ線を定量することにより、硫酸バリウムと水酸化鉄画分の回収率をそれぞれ評価した。放射核種の硫酸バリウムもしくは水酸化鉄との共沈について選択性を調べた結果、セリウム-139、トリウム-230、アメリシウム-241 以外は、どちらか一方に優先性を示した。トリウム-230 とアメリシウム-241 の標準物質を用いて、沈殿量に対するアルファ線量の検出率の検量線(Alpha-mass-efficiency curve)を作成した。この研究では、マンガン-54、コバルト-57、コバルト-60、亜鉛-65、ストロンチウム-85、イットリウム-88、カドミウム-109、スズ-113、セシウム-137、セリウム-139、水銀-203、ポロニウム-209、ラジウム-226、ラジウム-228、トリウム-230、アメリシウム-241、天然ウランを含む放射性核種の混合物を用いた。このうち、ガンマ線に関しては、セシウムと水銀以外は 71~103%の回収率であり、定量的に分析できた。調製試料中のアルファ線を放出する同位体の同定と定量は、半導体検出器の一種である PIPS (passivated implanted planar silicon) を用いたアルファ線分光により行った。この方法で核分裂産物を捕獲して分析できることが明らかになった、としている。

## 【9】 放射線検出器の歴史

- 英語タイトル：A History of Radiation Detection Instrumentation
- 著者名：Frame PW
- 雑誌名：Health Physics, 88(6), 613-637(2005)
- 論文種別：総説
- 核種：特定無し
- 研究対象：分析技術
- キーワード：reviews, instrumentation, detectors, radiation, health physics society
- 索引用キーワード：放射線検出器、ガイガーミュラー計数管、シンチレーションカウンタ
- 引用の図表点数：図 18 点

### 【要約】

本総説には放射線検出器の発展の歴史が紹介されている。その中では人間の感覚による放射線の知覚を初めとして、写真、熱量計、色素線量計、イオンチャンバー、電位計、検電器、比例計数管、ガイガーミュラー計数管、



スケーラー・レートメーター (scaler and rate meter)、シアン化白金バリウム蛍光板、シンチレーションカウンタ、セミコンダクター検出器、蛍光線量計、熱蛍光線量計、光刺激蛍光線量計、DIS (Direct Ion Storage)、エレクトレット、クラウドチャンバー、バブルチャンバー、泡線量計といった機器及びその技術に関する情報を納めている。

## 【10】 実験室用高純度ゲルマニウム検出器スペクトル分析システムの校正ドリフト

- 英語タイトル: Calibration drift in a laboratory high purity germanium detector spectrometry system
- 著者名: Dewey SC, Kearfott KJ
- 雑誌名: Health Physics, 94(Supplement 1), S27-33(2008)
- 論文種別: 原著論文
- 核種: アメリシウム-241、バリウム-133、セシウム-137、コバルト-60
- 研究対象: 分析技術
- キーワード: operational topics, radionuclides, radiation protection, calibration
- 索引用キーワード: 高純度ゲルマニウムスペクトル分析システム、ドリフト、エネルギー値校正
- 引用の図表点数: 図 2 点、表 6 点

### 【要約】

高純度ゲルマニウム (HPGe) スペクトル分析システムにより未知の放射性核種を同定するためには、エネルギー値の正確な校正が重要である。HPGe スペクトル分析システムにおいて、エネルギー値の校正がドリフトする原因としては、室内の温度、システムに負荷した電圧、電子機器の個体差及びその他の様々な影響がある。このエネルギー校正におけるドリフトの性質解明のために、実験室用 HPGe 検出器スペクトル分析システムを用いて、検出器電圧、アンプの増幅率及びプリアンプの増幅率を含むシステムパラメーターに変更を加えず、校正スペクトルを数ヶ月間収集した結果を本論文では報告している。一定の方法により 90 日以上校正を行い、検出器のエネルギー値校正の経時的なドリフトを評価するために校正結果を比較した。36% HPGe システムの分析結果では、ドリフトの平均値は校正するエネルギー値によって異なり、一日当たり 0.014 keV から 0.041 keV の間にあたる、と報告している。

## 【11】 シミュレーション降雨での放射性汚染物質の堆積に関する粘着紙による捕集効率の測定

- 英語タイトル: Determining the Collection Efficiency of Gummed Paper For the Deposition of Radioactive Contaminants in Simulated Rain
- 著者名: Hoffman FO, Thiessen KM, Frank ML, Blaylock BG
- 雑誌名: Health Physics, 62(5), 439-442(1992)
- 論文種別: 原著論文
- 核種: ヨウ素-131、ベリリウム-7
- 研究対象: 分析技術
- キーワード: fallout, radioactivity, airborne, contamination, environmental, monitoring, air.
- 索引用キーワード: 放射性降下物、捕集効率、粘着紙、降雨
- 引用の図表点数: 図 3 点、表 3 点

### 【要約】

核兵器開発での放射性降下物の日常的な監視のために、粘着紙による捕集測定が 1950 年代に使用された。本論文では、シミュレーション降雨条件での数種類の可溶性及び不溶性の放射性汚染物質の湿性沈着測定のための粘着紙による捕集効率を測定している。粘着紙の捕集効率は、大きい不溶性粒子で最も高く、水溶性のイオン性物質で最低であった。ベリリウム-7 とヨウ素-131 の値は、降雨量が 2.5 mm で約 0.30 (30%)、20 mm で約 0.04-0.06 (4%-6%) であった。捕集効率値と降雨量とは負の相関があり、降雨強度には影響を受けなかった。降雨量や降雨強度どちらも、大きな不溶性粒子の捕集効率に大きな影響を与えない、としている。本論文は、比較的簡易な粘着紙を利用した捕捉分析の可能性を示唆している。

## 【12】 時系列的な空中リモートセンシングによるリブル川河口におけるセシウム-137 の移動及び堆積の予測

- 英語タイトル: Estimating sediment and caesium-137 fluxes in the Ribble Estuary through time-series airborne remote sensing

- 著者名：R. Wakefield, A.N. Tyler, P. McDonald, P.A. Atkin, P. Gleizon, D. Gilvear.
- 雑誌名：Journal of Environmental Radioactivity, 102, 252-261(2011)
- 論文種別：原著論文
- 核種：セシウム-137
- 研究対象：環境
- キーワード：Cesium, Water column, Plankton, Periphyton, Invertebrates, Fish
- 索引用キーワード：放射性核種、リモートセンシング、河口、濃度
- 引用を図表点数：図4点、表4点

#### 【要約】

本論文では、イングランド北西部リブル川河口（ラムサール条約に登録された湿地）において、潮の満ち干の繰り返しによってもたらされる懸濁沈殿物（浮遊土砂）総量及び放射性核種の濃度測定に、時系列的な空中リモートセンシング技術が適用可能か否かを検討することを目的として、1997年及び2003年に時空間的高解像度空中撮影を行っている。2003年7月17日、河口は鉛直方向によく混合されているという仮定を確かめるために、潮の満ち干の時系列的な画像を収集することにより浮遊粒子状物質（SPM）と様々な深度における濁度の測定を同時に行い、それによって表層SPMの空間推定値から鉛直方向の分布を予測することの正当性を示した。リブル川河口のセシウム-137の放射能濃度は、比較的変動の少ないSPMとセシウム-137の相関に基づき計算した。画像から得られた表層のSPM及びセシウム-137の推定値とリブル川河口の二次元流体力学モデル（VERSE）による水量の推定値を合わせて、河口全体における沈殿物とセシウム-137の総量を得た。これは、約1万トンの沈殿物と2.72 GBqのセシウム-137が2003年7月にモニターされた潮の干満により堆積されたことを示す。この結果は、実地調査から得られた堆積層の高さの変化とほぼ一致した。不確かさ解析（uncertainty analysis）による沈殿物総量及びセシウム-137濃度は最終推定値で、総量の約40%程度であった、と報告している。本論文は、潮の満ち干を繰り返す潮間帯環境における沈殿物総量と放射性核種濃度を時空間的に推定するための新しいアプローチを提示している。

### 【13】環境中のストロンチウム-90の生物学的モニターとしての鹿の角

- 英語タイトル：Antlers of Cervus elaphus as biomonitors of <sup>90</sup>Sr in the environment
- 著者名：Baeza A., Vallejo I., Guillen J., Salas A., Corbacho JA
- 雑誌名：Journal of Environmental Radioactivity, 102, 311-315(2011)
- 論文種別：原著論文
- 核種：ストロンチウム-90
- 研究対象：畜産物
- キーワード：<sup>90</sup>Sr, Antlers, Biomonitor, Radioactivity, Deer, Radium
- 索引用キーワード：生物学的モニター、鹿、角
- 引用を図表点数：図2点、表3点

#### 【要約】

適切な放射線防護のためには、放射性核種含有量の変化に敏感な生物学的モニターを特定しておく必要がある。カルシウムとストロンチウムの化学的な類似により、哺乳類の石灰化組織はストロンチウム-90の良い生物学的モニターになると考えられる。本論文では、毎年抜け落ちる鹿の角がその伸長期間における生態系への放射性ストロンチウムの汚染度推定に利用可能か検討している。サンプルは、スペイン西部、南西部のさまざまな地点で採取されている。ストロンチウム-90の平均値は（70±43（S.D.））Bq/kg乾燥重量、変動幅は（16-218）Bq/kg乾燥重量であり、放射性核種は角の各部位に均等に分布していた。角のストロンチウム-90含有量と土壌のストロンチウム-90の蓄積量はよい相関を示した。角に含まれるラジウム-226（天然ウラン由来）と安定元素（カルシウム、マグネシウム、ストロンチウム及びカリウム）を測定したところ、安定元素の値は分析したサンプルのなかで実質的に一定であり、その濃度はカルシウム>> マグネシウム > カリウム >> ストロンチウム-90> ラジウム-226の順で減少した、と述べている。

②

放射線被曝事故例について

【14】

### 【14】過去60年間の放射線事故

- 英語タイトル：Radiation accidents over the last 60 years
- 著者名：Nénot JC
- 雑誌名：Journal of Radiation Protection, 29, 301-320(2009)
- 論文種別：総説
- 核種：コバルト-60、セシウム-137、イリジウム-192、ヨウ素-131、ストロンチウム-90、ポロニウム-210、リン-32、ラジウム-226、金-198
- 研究対象：放射線防護
- キーワード：Radiation accidents, Radiation-induced health damage,
- 索引用キーワード：放射線事故、急性被曝、事故原因
- 引用の図表点数：表 1 点

#### 【要約】

第2次世界大戦以後の主な放射線被曝事故例を紹介した総説であり、国連「放射線の影響に関する科学委員会」報告（2007年）及びその他の信頼できる文献から、少なくとも600の事象と約70の深刻な事故による200の致死的な急性被曝例について検証し、その中から、分野毎に代表的なもの44件について、詳述している。医療分野での誤投与、誤飲による内部被曝の事例を除いて、事故の50%は産業分野で発生し、20%は研究分野、12.5%は原子力発電分野、10%は医療分野、5%は軍事分野で発生した。事故例は、発生から公知までの期間（直後、遅滞、公開されず）及び事故の重篤度（簡単に管理可能、管理困難、破局的）に基づき、9グループに分類している。本総説では、訓練不足などヒューマンエラーが主要な事故原因であることを指摘している。

### ③ 日本からの報告 【15】 ～ 【28】

#### 【15】 チェルノブイリ事故後の茨城から採集した試料のヨウ素-131 及び他の放射性核種

- 英語タイトル：Iodine-131 and other radionuclides in environmental samples collected from Ibaraki / Japan after the Chernobyl accident
- 著者名：Muramatsu, Y., Sumiya, M. and Ohmomo, Y.
- 雑誌名：The Science of Total Environment, 67, 149-158(1987)
- 論文種別：原著論文
- 核種：セシウム-134、セシウム-137、ヨウ素-131、ルビジウム-103
- 研究対象：農産物、水産物
- キーワード： $^{131}\text{I}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{134}\text{Cs}$ 、 $^{103}\text{Ru}$ 、チェルノブイリ事故
- 索引用キーワード：ヨウ素-131、チェルノブイリ事故
- 引用の図表点数：図 2 点、表 7 点

#### 【要約】

チェルノブイリ事故後の茨城から採集した試料を用いてヨウ素-131、セシウム-134、セシウム-137 及びルビジウム-103 の核種について測定を行った論文である。1986年5月で最も高いヨウ素-131の濃度は、降り始めの雨水中で98 Bq/L、松菜（生重量あたり）では400 Bq/kg、野菜（生重量あたり）で160 Bq/kg、海藻（生重量あたり）で52 Bq/kgであった。雨水中の放射性核種のほとんどがヨウ素酸イオン( $\text{IO}_3^-$ )あるいはヨウ素イオン ( $\text{I}^-$ )であった。また採取直後の雨水中の比率としては、 $\text{IO}_3^-$ が $\text{I}^-$ より高かったが、保存中にヨウ素酸イオンがヨウ素イオンに変換されていた。葉物野菜に含まれていたヨウ素-131の約10%が洗浄で除かれ、茹で処理で70%が除去された、としている。

#### 【16】 放射性セシウムの水田土壌への収着挙動における粘土鉱物の影響

➤

- 英語タイトル：Effects of Clay Minerals on Radiocesium Sorption Behavior onto Paddy Field Soils
- 著者名：石川 奈緒, 内田 滋夫, 田上 恵子.
- 雑誌名：Radioisotopes, 56(9), 519-528(2007)
- 論文種別：原著論文
- 核種：セシウム-137
- 研究対象：農産物

- キーワード：paddy field, soil adsorption, illite
- 索引用キーワード：水田、土壌、吸着
- 引用の図表点数：図 6 点、表 2 点

#### 【要約】

放射性セシウム（セシウム-137、半減期 30 年）は放射性廃棄処分や原子力事故の際の環境影響評価において重要な放射性核種である。本論文では、日本各地から採取した 30 試料の水田土壌を用いて、セシウム-137 の収着挙動に対する土壌特性の影響を検討し、各土壌試料の土壌・土壌溶液分配係数（Kd）をバッチ収着実験によって求めている。本論文によると、分析を行った土壌の、セシウム-137 の Kd 値は 269～16,637 L/kg（幾何平均 2,286 L/kg）であり、Kd 値と相関を示したものは粘土含量のみ（Spearman 順位相関係数  $R_c=0.55$ ,  $p<0.005$ ）であった。一方、土壌へのセシウム-137 固定率は粘土含量より相対イライト含量と高い相関があり（ $R_c=0.68$ ,  $p<0.001$ ）、土壌へのセシウム-137 固定率の推定にはイライト含量が非常に重要であることが示唆されている。

### 【17】サメに着目した放射能レベルの調査研究について

- 英語タイトル：Radioactivity level investigation of shark
- 著者名：松本純子，宇高真行，滝山広志，篠崎由紀，楠 憲一，吉野内茂．
- 雑誌名：平成 17 年度愛媛衛環研年報, 8, 49-52(2005)
- 論文種別：原著論文
- 核種：セシウム-137
- 研究対象：水産物
- キーワード：shark, Ikata sea area
- 索引用キーワード：伊方原子力発電所、サメ、モニタリング
- 引用の図表点数：図 9 点、表 1 点

#### 【要約】

愛媛県では、伊方原子力発電所周辺環境監視のため、1975 年から環境試料中の放射能調査を実施しているが、伊方海域における魚類の平均セシウム-137 濃度は、カサゴ 0.14Bq/kg 生、メバル 0.13Bq/kg 生、ベラ 0.15Bq/kg 生、カワハギ 0.067Bq/kg 生と低い値であり、多くの魚類中の人工放射性核種はほとんど検出限界以下の濃度となっている。サメは食物連鎖の上位にあり、軟骨魚類であるために魚類よりも放射性核種を濃縮しやすいと考えられたことから、本論文では、放射性物質の蓄積状況を長期間モニタリングすることが可能な指標生物としてサメを選定している。伊予灘沿岸の浅海に生息し、遊泳能力が弱く食用にもされるドチザメ科のサメ（シロザメ・ホシザメ・ドチザメ）を用いて筋肉中のセシウム-137 の測定、脊椎の椎体による輪紋調査及び食餌調査を行ったところ、全長が長いほど平均セシウム-137 濃度が高いことが判明し、その値は魚類よりも高いことが判明した。以上の結果より、本論文はモニタリング対象としてサメを用いることで、原子力発電所の周辺環境監視をきめ細かく行うことが可能であると論じている。

### 【18】伊方沖の魚類中セシウム-137 濃度の変動要因について

- 英語タイトル：Factors on Variation of  $^{137}\text{Cs}$  Concentration in Fishes of offshore Ikata
- 著者名：篠崎由紀，武田尚彦，善家久隆，武田伸也，楠 憲一，園田浩二．
- 雑誌名：平成 15 年度愛媛衛環研年報, 6, 69-75(2003)
- 論文種別：原著論文
- 核種：セシウム-137
- 研究対象：水産物
- キーワード：fish, sea water, Ikata sea
- 索引用キーワード：伊方原子力発電所、魚類、海水
- 引用の図表点数：図 21 点、表 4 点

#### 【要約】

愛媛県では、伊方原子力発電所周辺環境監視のため、1975 年から環境試料中の放射能調査を実施している。本論文では、降下物、海水、海底土及び魚類について、これまでの調査結果を取りまとめ、セシウム-137 の伊方における環境中での挙動、特に人に対する内部被ばくの原因となる魚類中のセシウム-137 に関し、汚染変動及びその要因について解析している。本論文によれば、海水中のセシウム-137 濃度については、チェルノブイリ原発事故以降緩やかな減少傾向がみられており、降下物中のセシウム-137 濃度と有意な相関がみられた。海底土中のセ

シウム-137 濃度についても、チェルノブイリ原発事故以降緩やかな減少傾向がみられ、海水中のセシウム-137 濃度と有意な相関があった。調査した魚 4 種類（カサゴ、メバル、カワハギ、ベラ）ともにセシウム-137 が検出されたが、チェルノブイリ原発事故後、その濃度は減少傾向がみられた。また、海水中のセシウム-137 の濃縮係数は魚種によって違いがみられている。

## 【19】再懸濁(resuspension)：日本における人工放射能堆積に関する 10 年間スケールのモニタリング

- 英語タイトル：Resuspension: Decadal Monitoring Time Series of the Anthropogenic Radioactivity Deposition in Japan
- 著者名：Igarashi Y., Aoyama M., Hirose K., Miyao T., Nemoto K., Tomita M., Fujikawa T..
- 雑誌名：Journal of Radiation Research, 44(4), 319-328(2003)
- 論文種別：原著論文
- 核種：セシウム-137、ストロンチウム-90
- 研究対象：大気、土壌
- キーワード：total deposition, half-resident time, soil
- 索引用キーワード：大気降下物濃度、再浮遊過程、黄砂
- 引用の図表点数：図 5 点、表 2 点

### 【要約】

つくば市の国立気象研究所（MRI）で毎月、ストロンチウム-90 とセシウム-137 の大気降下物濃度を監視している。本論文は、1990 年代におけるストロンチウム-90 とセシウム-137 の堆積レベルと一時的な傾向について報告している。現在のストロンチウム-90 とセシウム-137 は大幅に減少したものの、これら核種は 1990 年代を通じて降下物試料で連続的に検出されている。この期間中に MRI で観測された年間降下量はストロンチウム-90（セシウム-137）で 70～180（140～350）mBq/m<sup>2</sup>/年であった。十分に長い時間スケールでは、堆積の減少傾向は明らかに過去の成層圏放射性降下物と異なっており、成層圏以外の貯留場所が少量のストロンチウム-90 とセシウム-137 を提供している。単純な計算によると、大気中の人工放射能の潜在的な供給源としての海洋の重要性は否定される。この研究は、堆積物の放射性核種が再浮遊過程（resuspension processes）あるいは土壌・塵懸濁過程（soil dust suspension processes）に由来することを実証している。再懸濁を無視したモデルで予測された UNSCEAR 報告書 2000 の記載と、時系列監視の結果の間には相違がある。年間降下物中のストロンチウム-90（セシウム-137）の半減期は 10 年（20 年）であり、これらの値は文献で報告されている日本の表層土壌における両核種の滞留半減期（half-residence time: HRT）の値とほぼ一致しており、また表層土壌（0～10 cm）についての文部科学省科学技術環境放射線データベース(the MEXT Database)から得られたストロンチウム-90 とセシウム-137 濃度の全国的なデータから計算されたものに匹敵するものであった。セシウム-137/ストロンチウム-90 の放射能比に関して、1990 年代に MEXT データベースで収集された日本全国表層土壌データ（中央値:5.3, n=584）と MRI での降下物試料データ（平均 2.1, n=82）とは一致しなかった。これは、黄砂が人工放射能の大部分を日本の大気に運搬してきているのではないかと我々の以前の仮説を指示するものである。以上の結果より本論文は「環境中に分散した長寿命の人工放射能の消長に関する研究は、より大きな時空間スケールで行う必要がある」と結論している。

## 【20】環境放射能調査研究成果論文抄録集(平成 21 年度)

- 英語タイトル：
- 著者名：.文部科学省 科学技術・学術政策局 原子力安全課防災環境対策室
- 雑誌名：第 52 回抄録集(平成 21 年度), 1-262(2009)
- 論文種別：原著論文
- 核種：セシウム-137、ストロンチウム-90、トリチウム、ヨウ素-131、プルトニウム-239、プルトニウム-240
- 研究対象：食品、農産物、畜産物、環境(土壌・水等)
- キーワード：annual report, environmental severance
- 索引用キーワード：文部科学省、分析法、サーベイランス
- 引用の図表点数：なし

### 【要約】

文部科学省主催の環境放射能調査研究成果発表会において、関係省庁の試験研究機関、都道府県等が実施した

環境放射能調査研究等の成果を発表している。最新の平成 22 年 12 月に開催された発表会の成果論文抄録集である。

- I. 環境に関する調査研究（大気、陸）に 15 報、
  - II. 環境に関する調査研究（海洋）に 18 報、
  - III. 食品及び人に関する調査研究に 3 報、
  - IV. 分析法、測定法等に関する調査研究に 1 報、
  - V. 都道府県における放射能調査に 47 報
- の計 74 報の原著論文が収載されている。

## 【21】漁場を見守る

- 英語タイトル：
- 著者名：財団法人 海洋生物環境研究所
- 雑誌名：海洋環境放射能総合評価事業海洋放射能調査(平成 20 年度), 1-32(2008)
- 論文種別：解説
- 核種：セシウム-137、ストロンチウム-90、トリチウム、プルトニウム-239、プルトニウム-240
- 研究対象：水産物
- キーワード：原子力発電所等周辺海域、核燃料サイクル施設沖合海域、海洋放射能調査、海水試料、海底土試料、海産生物試料
- 索引用キーワード：原子力発電所等周辺海域、核燃料サイクル施設沖合海域、海洋放射能調査、海水試料、海底土試料、海産生物試料
- 引用の図表点数：図 20 点

### 【要約】

文部科学省の委託を受けて、（財）海洋生物環境研究所は、全国にある原子力発電所等の周辺 15 海域、及び青森県六ヶ所村にある核燃料サイクル施設の沖合領域の主要漁場における海水、海産生物及び海底土の調査を行った結果、並びに他の機関で調査された海洋環境の放射能データなどを収集・整理し、海洋環境放射能総合評価のための基礎資料として文部科学省に報告している。本解説は、調査開始から平成 20 年度までにおける報告内容を、図を多く用いわかりやすく解説したものである。

## 【22】平成 20 年度環境放射能水準調査結果

- 英語タイトル：
- 著者名：財団法人 日本分析センター
- 雑誌名：総括資料, 1-136(2008)
- 論文種別：報告書
- 核種：セシウム-137、ヨウ素-131、ストロンチウム-90
- 研究対象：環境(土壌・水等)、畜産物
- キーワード：環境放射能、空間放射線量率、放射線核種分析
- 索引用キーワード：環境放射能、空間放射線量率、放射線核種分析
- 引用の図表点数：図 2 点、表 12 点

### 【要約】

日本分析センターは、文部科学省の委託を受け、我が国における関係諸機関の環境放射線・放射能に関する各種の調査情報を収集・整理し、環境放射線データベースに登録している。この資料は、データベース活用の一環として、環境放射能水準調査に係わる当該年度及び過去 3 年間の結果を総括的に把握するために作成されたものである。

「2.環境放射能水準調査結果のまとめ」の章においては、「2.2 調査結果の集計表」に環境放射線レベルを総括的に把握するための集計結果を、また「2.3 調査結果の経年変化図等」に代表的な試料の放射能レベル及びその推移を視覚的に把握するための図等を、さらに「2.4 調査対象の試料数等」に調査の規模等を把握するための調査試料数等の一覧表が示されてある。

## 【23】日本で消費されるキノコ中のセシウム-137 とカリウム-40 の濃度及びそれらキノコの摂取による被曝量



- 英語タイトル：Concentrations of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{40}\text{K}$  in Mushrooms Consumed in Japan and Radiation Dose as a Result of Their Dietary Intake
- 著者名：Ban-Nai T., Muramatsu Y., Yoshida S.
- 雑誌名：Journal of Radiation Research, 45(2), 325-332(2004)
- 論文種別：原著論文
- 核種：セシウム-137、カリウム-40
- 研究対象：農産物
- キーワード：Cesium-137, mushroom, radiation dose, potassium
- 索引用キーワード：キノコ、放射線量、摂取量
- 引用の図表点数：図 2 点、表 3 点

#### 【要約】

キノコに放射性セシウムが蓄積することは知られていることから、日本で消費されるキノコについて調査した論文である。キノコの摂食による放射性セシウムの摂取量を推定するために、一般に消費されるキノコ 4 種（シイタケ、ブナシメジ、マイタケ、マツタケ）の約 30 試料についてセシウム-137 とカリウム-40 の濃度を測定した。検出された濃度範囲はセシウム-137 で 0.060-29 Bq/kg (湿重量)、またカリウム-40 で 38-300 Bq/kg (湿重量)であった。セシウム-137 の幾何平均濃度は 0.56 Bq/kg (湿重量)であり、カリウム-40 の平均濃度は 92 Bq/kg (湿重量)であった。シイタケのセシウム-137 濃度は、菌床（おがくず・米ぬか培地）栽培のものが、ほだ木栽培のものより低かった。今回の分析結果と現状の日本の食品消費量データを基に算出したキノコを介した一人あたりのセシウム-137 年間摂取量は 3.1 Bq で、この核種の総食物摂取量の約 28%に相当した。キノコを介したセシウム-137 の実効線量当量は、以前の研究で得られた値の約半分の  $4.0 \times 10^{-8}$  Sv と推定された。キノコを介したセシウム-137 摂取量の最近の減少は、おそらくキノコ栽培方法がほだ木から菌床に変わっていることと関連があると推察される、としている。

### 【24】東海村廃棄物処理プラント事故で放出された放射性セシウムの茨城県つくば市における大気濃度：予測と観測との比較

- 英語タイトル：Air concentration of radiocaesium in Tsukuba, Japan following the release from the Tokai waste treatment plant: comparisons of observations with predictions
- 著者名：Igarashi Y., Aoyama M., Miyao T., Hirose K., Komura K., Yamamoto M
- 雑誌名：Applied Radiation and Isotopes, 50, 1063-1073(1999)
- 論文種別：原著論文
- 核種：セシウム-134、セシウム-137
- 研究対象：環境(土壌・水等)
- キーワード：nuclear accident, radio-Cs, aerosol, baseline, emission, gaussian plume model
- 索引用キーワード：動燃事故、東海村、チェルノブイリ、放射性セシウム、大気、排出量
- 引用の図表点数：図 6 点、表 5 点

#### 【要約】

1997 年 3 月 11 日に、火災と爆発事故が、茨城県東海村の動力炉・核燃料開発事業団のアスファルト固化施設で発生した。この事故によって放出された放射性セシウムを茨城県つくば市の大気測定によって調査した論文である。放出されたセシウム-134/137 は、つくば市の国立気象研究所で 3 月 10 日～3 月 12 日にかけて収集されたエアフィルタのサンプルで検出された。セシウム-134 とセシウム-137 の大気濃度は、それぞれ 100 及び 10  $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$  で、この結果は、地域住民に放射線被曝がほとんどなかったことを示唆している。この期間のセシウム-137 大気濃度の平均は、高感度  $\gamma$  線検出器で測定した 1997 年の 2 月から 4 月にかけてのベースラインの大気濃度(sub- $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ ) に比べ約 100 倍高かった。測定データとガウスプルームモデル (Gaussian plume model) を用いた単純計算では、東海村事故による放射能の最小排出量は約 60 MBq～600 MBq の範囲内と推定される、としている。事故が起きた週の気象条件も記載されている。

### 【25】海産生物中の放射性セシウム濃度とその変動

- 英語タイトル：
- 著者名：財団法人 海洋生物環境研究所
- 雑誌名：海洋研リーフレット No. 11, 1-18(1999)

- 論文種別：総説（和文）
- 核種：セシウム-137
- 研究対象：水産物
- キーワード：海産生物、原子力発電所等周辺海域、人工放射性核種、放射性セシウム濃度
- 索引用キーワード：海産生物、原子力発電所等周辺海域、人工放射性核種、放射性セシウム濃度
- 引用図表点数：図 11 点、表 2 点

#### 【要約】

財団法人海洋生物環境研究所は科学技術庁（現文部科学省）の委託により海洋環境放射能総合評価事業の中で、原子力発電所等周辺海域放射能調査を 1983 年（昭和 58 年度）から開始した。15 年近くにわたって実施してきた放射能調査結果から、日本沿岸の海産生産物中の人工放射性核種、特にセシウム-137 濃度とその挙動について紹介している。

### 【26】チェルノブイリ原子炉事故後の日本での牛乳や雨水中のヨウ素-131 のモニタリングとヒト甲状腺線量当量の推定

- 英語タイトル：Monitoring of  $^{131}\text{I}$  in milk and rain water in Japan following the reactor accident at Chernobyl and estimates of human thyroidal dose equivalents
- 著者名：Nishizawa K., Takata K., Hamada N., Ogata Y., Kojima S., Takeshima K..
- 雑誌名：Health Physics, 55(5), 773-777(1988)
- 論文種別：原著論文
- 核種：ヨウ素-131
- 研究対象：畜産物、環境(土壌・水等)
- キーワード：Nagoya, Japan, Milk, Rain water, Effective half life
- 索引用キーワード：名古屋、日本、牛乳、雨水、実効半減期
- 引用図表点数：図 4 点、表 2 点

#### 【要約】

本論文では、名古屋での（チェルノブイリからの 8,000 キロの距離）の牛乳及び雨水中のヨウ素-131 含量を 1986 年の 5 月～7 月にかけてモニタリングした結果を報告している。雨水中の観察されたヨウ素-131 の濃度範囲は 5 月 4 日の 43.1 Bq/L から 7 月 12 日の 15 mBq/L であり、ミルクで観察された濃度範囲は 5 月 19 日の 21.8 Bq/L から 7 月 14 日の 11 mBq/L であった。事故後の最初の数週間は、牛乳中の  $^{131}\text{I}$  濃度が雨水に比べて 4～6 倍高いと推定された。両試料の濃度は、ほぼ同じ実効半減期で減少した。すなわち実効半減期は、雨水では、 $5.9 \pm 0.3$  日であり、牛乳では、 $5.0 \pm 0.2$  日であった。店頭販売の牛乳の  $^{131}\text{I}$  濃度は日々変動し、新鮮乳に比べて 0.07～0.2 倍の範囲であった。成人及び乳児に対する推定甲状腺線量当量は、自然放射線からの甲状腺への人口年間線量当量よりはるかに低い値であった、としている。

### 【27】松の木に含まれる放射性セシウムと安定同位体元素の分布

- 英語タイトル：Distribution of radiocesium and stable elements within a pine tree
- 著者名：Yoshida S., Watanabe M., Suzuki A.
- 雑誌名：Radiation Protection Dosimetry, 146(1-3), 326-329(2011)
- 論文種別：原著論文
- 核種：セシウム-137
- 研究対象：農産物
- キーワード： $^{137}\text{Cs}$ , pine tree, Chernobyl accident, alkaline metal
- 索引用キーワード：
- 引用文献の図表点数：図 2 点

#### 【要約】

本論文は、チェルノブイリ汚染地域であるベラルーシにおいて収集した松の木の異なる部位における  $^{137}\text{Cs}$  と安定同位体元素の分布を調べたものである。サンプルは異なる樹齢の木材の年輪、枝や針葉を含む。年輪における  $^{137}\text{Cs}$  と安定同位体 Cs の濃度はサンプル重量に関係なく、形成層において最も高く、内側に向けて急速に減少した。最も若い針葉と枝は古いものより  $^{137}\text{Cs}$  と安定同位体 Cs が高汚染していた。成長部位において  $^{137}\text{Cs}$  の濃度

が最も高いことは、木の放射線感受性部位が最も高い放射線量であることを示している。松の木における安定同位体元素の分布パターンは元素間で異なる。Cs と似た分布が K 及び Rb で観察され、これらはアルカリ金属が松の木の若い成長部位に移行する傾向があることを示している。また、似た傾向がリンにおいても観察された。アルカリ土類金属 (Ca、Sr、Ba) 及び Mg といくつかの重金属 (Mn、Zn) の分布はアルカリ金属の分布と異なった。松の木の異なる部位、特に若い成長部位の放射線量評価に平均濃度を用いるときにこれらの結果を考慮するべきである、としている。

## 【28】 水田土壌からコメへの放射性核種と安定同位体元素の取り込み

- 英語タイトル : Uptake of radionuclides and stable elements from paddy soil to rice: a review
- 著者名 : Uchida S., Tagami K., Shang ZR., Choi YH.
- 雑誌名 : Journal of Environmental Radioactivity, 100(9),739-745 (2009)
- 論文種別 : 原著論文
- 核種 : セシウム-137
- 研究対象 : 農産物
- キーワード : rice, paddy field, transfer factor radionuclides, stable elements, cereals, TRS-364
- 索引用キーワード :
- 引用文献の図表点数 : 図 4 点、表 2 点

### 【要約】

生産している農産物と食事習慣が異なるため、アジアの国々における放射性核種の移行経路と重要食品は西欧諸国と異なる。つまり、アジアの国々の放射性核種に対する安全評価は重要食品としてコメを考慮しなければならない。ほとんどのコメは灌水栽培で作られるので、他の穀類と違って、コメによる放射性核種の取り込みは土壌状態に影響を受ける。本論文では、コメにおける放射性核種と安定同位体元素の土壌から作物への移行係数 (TFs) を Technical Report Series No.364 (TRS-364, IAEA,1994) の追補としてまとめたものである。野外調査の結果から、フォールアウトによる  $^{137}\text{Cs}$  の移行係数が安定同位体セシウムの移行係数よりも数十年間に渡って高くなっていたが、移行係数の相乗平均 (GM) 値は  $^{137}\text{Cs}$  で  $3.6 \times 10^{-3}$ 、安定同位体セシウムで  $2.5 \times 10^{-3}$  と類似していることが明らかとなった。放射性核種の移行係数が安定同位体の移行係数よりも高い値を示したのは、水田土壌での放射性核種と安定同位体に対するエージング効果の違いによるものだと考えられる。特定の環境下では、安定同位体元素の移行係数の利用には限界があるが、これら GM 値は環境中の放射性核種の長期的な移行を評価するために用いることが可能である。実施済のデータは、玄米における移行係数が白米より高いことを示しており、これは、元素分布パターンが白米と米ぬかで異なるためである。今後は更なるコメの部位別、様々な土壌での移行係数のデータを得る必要があると、述べている。

## ④ 核種の移動及び環境影響等について 【29】 ～ 【43】

## 【29】 放射線核種の大量放出による健康への影響、農業システムにおける物理的移動と化学的・生物学的プロセス

- 英語タイトル : Health impacts of large releases of radionuclides. Physical transport and chemical and biological processes in agricultural systems
- 著者名 : Voigt G..
- 雑誌名 : Ciba Foundation Symposium., 203, 3-20(1997)
- 論文種別 : 総説
- 核種 : ヨウ素-131、セシウム-137
- 研究対象 : 農産物、畜産物、環境(土壌・水等)
- キーワード : EURAD (EUROpean Acid Deposition)モデル、線量予測
- 索引用キーワード : ヨウ素-131、セシウム-137、EURAD (EUROpean Acid Deposition)モデル
- 引用図表点数 図 5 点、表 2 点

### 【要約】

放射生態学的研究モデルの目的は、事故による環境への放射性核種の放出後に、現実的な線量予測を一般へ公表することである。本総説では、放射性物質の大気中への分散や食物連鎖を通じての移行に関与する重要な物理

的、化学的、生物学的プロセスを提示する。チェルノブイリの事故の後、ベラルーシ、ウクライナでのヨウ素-131とセシウム-137の堆積パターンを EURAD (EUROPEAN ACID DEPOSITION)モデルによって予測した結果について議論する。最も重要な生態学的プロセス、例えば、放射性物質の付着、遮断、移行、風化、土壌から植物への移行、植物から動物/畜産物への移行、農業環境での季節の影響などについての全般的な概要を提示する。これらの個々のプロセスに関する例をチェルノブイリの事故後の放射性セシウム、放射性ヨウ素に関する実験結果を示し、議論している。

### 【30】 オーストリアにおけるチェルノブイリ放射性降下物に由来する食物汚染調査

- 英語タイトル：Investigation of food contamination since the Chernobyl fallout in Austria
- 著者名：Schwaiger M., Mueck K., Benesch T., Feichtinger J., Hrncsek E., Lovranich E.
- 雑誌名：Applied Radiation and Isotopes., 61, 357-360(2004)
- 論文種別：原著論文
- 核種：セシウム-137
- 研究対象：農産物
- キーワード：食品汚染、チェルノブイリ、セシウム-137
- 索引用キーワード：食品汚染、チェルノブイリ、セシウム-137
- 引用の図表点数：図2点、表2点

#### 【要約】

チェルノブイリの放射性降下物が広範囲に生じた後、食料中のセシウム-137の放射能濃度減少量が大规模調査により評価された。本論文では、1986年に放射性降下物が堆積後、異なる時期にオーストリアにおける1,000サンプル以上の食料中のセシウム-137の放射能濃度についての調査が行われた結果を報告している。堆積後1年目における調査では、セシウム-137の放射能濃度は最大値と比較して、ミルク・果実においては6-10%に、また、穀物・ジャガイモ・野菜においては3-6%に減少した。実効半減期の計算結果は一連の核兵器実験後に観察されたものよりも著しく短く、長期被曝は従来見積もられていたよりも小さいと結論された。堆積の翌年から50年間の放射性降下物の摂取量は、初年度における摂取量のおよそ1.3倍であった。2002年におけるオーストリア人(成人)の放射性降下物摂取量は大人で2.24マイクロシーベルト、5歳児で0.88マイクロシーベルトであり、1986年の摂取量の0.5%以下、天然放射性核種に由来する摂取量の0.7%に等しい、と報告されている。

### 【31】 チェルノブイリ事故からの生態学的な教訓

- 英語タイトル：Ecological lessons from the Chernobyl accident
- 著者名：Bell, J. N. B., Shaw, G.
- 雑誌名：Environmental International, 31, 771-777(2005)
- 論文種別：原著論文
- 核種：セシウム、ヨウ素
- 研究対象：環境(土壌・水等)、畜産物
- キーワード：チェルノブイリ、放射性セシウム、イライト(鉱物)、泥炭、移行因子、植物、英国高地生態系、ヒツジ、放射能汚染
- 索引用キーワード：チェルノブイリ、放射性セシウム、泥炭、移行因子、英国高地生態系、放射能汚染
- 引用の図表点数：図3点、表6点

#### 【要約】

1986年に発生したチェルノブイリ原子力発電所事故は、ウクライナとベラルーシに今日まで継続する深刻な環境問題を引き起こしただけでなく、北半球の高緯度地方の大部分を汚染した。英国の高地では、初期の汚染から17年ほど経過した後にも生態学的な問題が未だ継続しており、本論文ではその概説を示す。1986年の5月に放射性セシウム及び放射性ヨウ素が堆積後の牧草ならびに土壌の放射能測定から、放射性ヨウ素の急速な崩壊と、放射性セシウムの粘土粒子への付着による固定化が示された。しかしながら、これらの研究はイギリス農漁食糧省の勧告と同様に、粘土含量が高く有機物の少ない低地の農業土壌に基づいている。英国高地における放射性セシウムの挙動については、高い流動性と生体利用性が維持されていることが明らかとなっている。このことは、放射性セシウムが食物連鎖を通じてヒツジへ移行することとなる。結果として省庁は禁止措置を定め、ヒツジの販売と移動を英国の高地の広大な地域に渡って禁止し、この禁令はいくつかの農場では今日まで適用されている。現在の予測では、このような禁令が状況によっては今後数年間にわたって継続することが示唆されている。高地

における放射性セシウムの流動性の原因究明研究は、植生及び特に土壌特性を中心として集中的に行われてきた。高いレベルの堆積が起り、羊の放牧を禁止すべき、特に脆弱な土壌型が特定された。先行研究の多くは、低い粘土質含量が流動性の主要因であることを示唆しているが、非常に高い有機質含量もまた重要な役割を果たしている信じられており、これは湿潤・酸性である英国高地の土壌特性である。この状況から言えることは、広域的な汚染の影響を予測するにあたり、異なる生態系の中で生物地球化学的な経路を基本的に理解することが重要であるということである。

### 【32】 チェルノブイリ地方のシジュウカラ (Parus) 卵中の抗酸化物質と孵化能

- 英語タイトル : Antioxidants in eggs of great tits Parus major from Chernobyl and hatching success
- 著者名 : Moller AP, Karadas F., Mousseau TA
- 雑誌名 : Journal of Comparative Physiology B, 178, 735-743(2008)
- 論文種別 : 原著論文
- 核種 : セシウム-137、ヨウ素-131
- 研究対象 : 畜産物
- キーワード : antioxidants, clutch size, hatching success, laying date
- 索引用キーワード : 産卵、シジュウカラ、チェルノブイリ、孵化
- 引用の図表点数 : 図 3 点、表 3 点

#### 【要約】

抗酸化物質は好氣的代謝で生じるフリーラジカルによる有害作用に対する強力な保護剤である。成長中の胚は、生成したフリーラジカルの有害作用を特に受けやすく、多くの生物種の母体は卵細胞に抗酸化物質を配分することによって、フリーラジカルの有害作用から守っている。放射能で汚染された地域に生息する鳥は、放射線による有害作用へ対処するため、食餌中の抗酸化物質を利用しているが、雌鶏は抗酸化物質を卵に割り当てる。それは、自己維持と繁殖の間で行なわれる生理的なトレードオフと言える。

本論文では、チェルノブイリ近郊の放射能汚染された地域で飼育された雌シジュウカラにおける食餌中の抗酸化物質の卵への配分とその結果を評価している。汚染程度の低いウクライナの研究地域及びフランスの対照試験地域における濃度と比較し、チェルノブイリ近郊では、卵黄全体におけるカロチノイド及びビタミン A、E の濃度は低下していた。そして、巣の放射能レベルの上昇に伴い、用量依存的に、3 種すべての食餌由来の抗酸化物質（カロチノイド及びビタミン A、E）量が減少した（潜在的交絡変数と抗酸化物質間の共変動を考慮した場合においても、これらの結果は変わらない）。ビタミン E 濃度の上昇と共に孵化率が高まった。高放射線量を受けた巣では産卵日が早まり、産卵数も増加したが、孵化率は減少した。これらの研究結果は、放射線照射による孵化及び繁殖能の低下と、卵黄中の抗酸化物質のレベルを減少の関係を示唆する。

### 【33】 ハンガリーのフードチェーンにおける放射性核種監視の戦略

- 英語タイトル : Radionuclide monitoring strategy for food-chain in Hungary
- 著者名 : Varga B., Tarjan S., Suth M., Sas B..
- 雑誌名 : Journal of Environmental Radioactivity, 86, 1-11(2006)
- 論文種別 : 原著論文
- 核種 : セシウム-137、ストロンチウム-90
- 研究対象 : 食品、飼料、環境試料
- キーワード : monitoring, data evaluation, foodstuff
- 索引用キーワード : ハンガリー、サーベイランス、預託実効線量
- 引用の図表点数 : 図 2 点、表 2 点

#### 【要約】

食料、飼料、環境試料及びそれらの中の生物指標を含む約 3,000 サンプルが、毎年、ハンガリー農務省の放射能監視ネットワーク (Radiological Monitoring Network) によって調査されている。本論文ではこのネットワークの環境監視戦略及び主要な特徴について説明されている。ハンガリーで生産された全種類の食料中のセシウム-137 の比放射能 (specific activity) の中央値は、定期的な全国的調査によれば、0.1 Bq/kg 生体重を下回っている。大人の食物摂取による預託実効線量は、控えめに評価し、2004 年におけるストロンチウム-90 は 0.6 マイクロシーベルト、セシウム-137 は 0.3 マイクロシーベルトと見積もられた。1998 年にスペインのアルヘシラスの製鋼所から偶発的に放出されたセシウム汚染について、ネットワークを構成する地域部局が、全ネットワークの

データベースを利用して、検出したかが示されている。

### 【34】チェルノブイリの放射性核種分布と移動、並びに、環境と農業への影響

- 英語タイトル：Chernobyl Radionuclide Distribution, Migration, and Environmental and Agricultural Impacts
- 著者名：Alexakhin RM, Sanzharova NI, Fesenko SV, Spiridnov SI, Panov AV
- 雑誌名：Health Physics, 93(5), 418-426(2007)
- 論文種別：原著論文
- 核種：セシウム-137
- 研究対象：環境(土壌・水等)
- キーワード：National Council on Radiation Protection and Measurements, Chernobyl, radionuclides, nuclear power plant
- 索引用キーワード：チェルノブイリ、放射線基準、食物連鎖
- 引用の図表点数：図 5 点、表 3 点

#### 【要約】

1986 年のチェルノブイリ事故により環境中に放出された放射線核種の分布と移動に関して記述されている。チェルノブイリ災害により、被災地域において放射線核種を含んだ農産物が消費され、住民が被曝した。本稿では、事故の影響を低減するための経済学と放射線学的重要性について記述され、放射線生態学の本質的な問題は、生物相の直接的な放射線汚染を受けた地域が、食物連鎖により許容基準濃度以上の放射線核種の濃縮があった地域に比べれば明らかに小さいという点にある、としている。本論文は、被災地域の放射線によって誘発される生物相への影響に関して、災害発生後、長期間(20 年近く)に渡り、ヒトを含む生態系への放射線核種の分布及び線量を通常の状況と比較して考察した。その分析結果から、放射線標準(radiation standard) がヒトに影響が無いレベルならば、生物相も電離放射線から適切に守られることを示していた、としている。

### 【35】チェルノブイリ事故 10 年後のチェコ共和国森林でのトウヒ樹皮におけるセシウム-137 放射能分布及び樹皮総合移行率 (bark aggregated transfer factor) に関する遡及的分析

- 英語タイトル：Retrospective determination of  $^{137}\text{Cs}$  specific activity distribution in spruce bark and bark aggregated transfer factor in forests on the scale of the Czech Republic ten years after the Chernobyl accident
- 著者名：Suchara I., Rulík P., Hůlka J., Pilátová H.
- 雑誌名：Science of the Total Environment, 409(10), 1927-1934(2011)
- 論文種別：原著論文
- 核種：セシウム-137
- 研究対象：環境(土壌・水等)
- キーワード：Chernobyl,  $^{137}\text{Cs}$  deposition, spruce bark contamination, effect of predictors, aggregated transfer factors, pre-Chernobyl bark contamination
- 索引用キーワード：チェルノブイリ、トウヒ、樹皮
- 引用の図表点数：図 5 点、表 3 点

#### 【要約】

1995 年にチェコ共和国で 192 のサンプリング地点で収集されていたトウヒ樹皮サンプルのセシウム-137 放射能(平均 32 Bq/kg) を分析した論文である。樹皮サンプルのセシウム-137 放射能は、1986 年のチェルノブイリ事故時に降水量の違いにより影響を受けた地域のセシウム-137 堆積量とかなりの相関があった。樹皮のセシウム-137 比放射能とセシウム-137 堆積レベルの比から、樹皮総合移行率 ( $T_{ag}$ ) は約  $10.5 \times 10^{-3}/\text{m}^2 \cdot \text{kg}$  と算出された。チェコ共和国のチェルノブイリ事故前の利用可能な土壌表面のセシウム-137 堆積量及び樹皮のセシウム-137 残存比放射能 (20 Bq/kg) を考慮すると、実質総合移行率はチェルノブイリ事故後で  $T^*_{ag}$  (事故後) =  $3.3 \times 10^{-3}/\text{m}^2 \cdot \text{kg}$  としてチェルノブイリ事故前で  $T^{**}_{ag}$  (事故前) =  $4.0 \times 10^{-3}/\text{m}^2 \cdot \text{kg}$  となった。トウヒ樹皮に関するセシウム-137 の  $T^*_{ag}$  (事故後) は、1986 年にチェコ共和国でセシウム-137 降下物により、異なる影響を受けた地域間でそれほどの違いは認められず、これら総合移行率は、チェルノブイリ近郊の甚大な影響を受けた地域で報告された樹皮の平均総合移行率の値と殆ど同じであった。チェコ共和国でのチェルノブイリ事故前後の期



間でのトウヒ樹皮に関するセシウム-137 の総合移行率の数値の大きさも酷似していた。

地域の人為的大気汚染源の対策によって生じるトウヒ樹皮の酸性化の変動は、トウヒ樹皮でのセシウム-137 の堆積と保持におおきな影響を与えなかった。樹皮のサンプリング地点の海拔が高くなると、事故時の降水で影響を受けた地域での樹皮におけるセシウム-137 の残存比放射能が上昇していた。これは海拔の上昇と共に降雨量が増加するためである、と報告されている。

### 【36】チェルノブイリ放射性核種の分布と移動

- 英語タイトル：Chernobyl Radionuclide Distribution and Migration
- 著者名：Izrael YA
- 雑誌名：Health Physics, 93(5), 410-417(2007)
- 論文種別：原著論文
- 核種：セシウム-137、ストロンチウム-90、プルトニウム-238 等
- 研究対象：環境(土壌・水等)
- キーワード：National council of radiation protection and measurements, Chernobyl
- 索引用キーワード：チェルノブイリ、分布、移動
- 引用の図表点数：図 4 点、表 2 点

#### 【要約】

1986 年 4 月 26 日のチェルノブイリ原子力発電所第 4 号機の事故は、放射線防護における厳しい課題を提示した。本論文は、チェルノブイリ放射性核種の環境汚染に関する予備的調査結果を報告している。事故の際、100 ミリシーベルト（10 レム）とする当時の暴露限界に基づいて人々が避難するために、早期の放射能測定によって汚染地域が決定された。特殊装備を備えた航空機による外部ガンマ線照射線量率及び放射線核種スペクトルの測定を行うことで、これらの地域を即時に決定した。その後、最も重要な長寿命放射性核種であるセシウム-137 の分布図はますます精緻になり、その後の事故の影響の管理状況の判定に用いられてきた。セシウム-137 の総放出量は 70% がベラルーシ、ロシア連邦及びウクライナに堆積したが、広く西ヨーロッパの国々にも堆積した。ヨーロッパ全域の汚染を示す二つの地図帳が作成され、ロシアの地図帳には他の放射線核種及び外部ガンマ線照射線量率のデータが含まれている。セシウムは揮発性であるため、放射性セシウムは揮発性放射線核種として挙動を示す。ストロンチウム-90 はその前駆物質である揮発性のクリプトンとルビジウムが反応炉の中で既に崩壊していることから、難揮発性元素としての挙動を示す。事故により放出されたほぼすべての難揮発性元素（ストロンチウム、プルトニウム等）は、反応炉から 30 km 圏内にとどまった。本論文では、事故によるセシウム 137 の堆積の北半球全域を含むより完全な地図帳の開発が提案されており、また、水は事故後のヒト曝露に関わる主要な媒介物ではなかった、としている。

### 【37】含水率、地球規模のセシウム-137 降下物の草地土壌での深度プロファイル及び外部ガンマ線線量率の変動

- 英語タイトル：Variability of water content and of depth profiles of global fallout <sup>137</sup>Cs in grassland soils and the resulting external gamma-dose rates
- 著者名：Schimmack W, Steindl H, Bunzl K
- 雑誌名：Radiation and Environmental Biophysics, 37, 27-33(1998)
- 論文種別：原著論文
- 核種：セシウム-137
- 研究対象：環境(土壌・水等)
- キーワード：fallout, soil, mean residence half-times, nuclear weapon testings, Chernobyl
- 索引用キーワード：放射性降下物、土壌、平均残留半減期、核実験、チェルノブイリ
- 引用の図表点数：図 4 点、表 2 点

#### 【要約】

本論文は、1950 年代から 1960 年代にかけて行われた核実験による地球規模的なセシウム-137 降下物濃度をバイエルン地方（ドイツ）の複数の草原地の土壌の 0～30 cm の連続層で測定した結果を報告している。表層から 4～15 cm の土壌層で最高活性濃度が検出された。地域ごとにかかなり大きく変動するが、セシウム濃度の垂直分布に基づき、それぞれの土壌層におけるセシウム-137 降下物の平均残留半減期を区画モデルによって推定したところ 1.0～6.3 年/cm の値を示した。全土壌層及び全地域を平均した平均残留半減期は 2.7±1.4 年/cm であり、チ

エルノブイリ事故に由来する同じ地域のセシウム-137 の平均残留半減期の約 2 倍に相当した。深度分布から決定した土壌中のセシウム-137 降下物から生ずる外部ガンマ線線量率は、0.34 ～0.57 (平均  $0.45 \pm 0.07$ ) nGy/h per kBq/m<sup>2</sup>であった。土壌の含水率と最も関連性の高い永久しおれ点(permanent wilting point)及び圃場容水量間の線量率の違いは、全ての地域の永久しおれ点線量率の 10 %に過ぎなかった、としている。

### 【38】ギリシャ周辺の海洋表層のセシウム-137 濃度

- 英語タイトル：The concentration of <sup>137</sup>Cs in the surface of the Greek marine environment
- 著者名：Florou H, Nicolaou G, Evangeliou N
- 雑誌名：Journal of Environmental Radioactivity, 101(8), 654-657(2010)
- 論文種別：原著論文
- 核種：セシウム-137
- 研究対象：環境
- キーワード：cesium, Chernobyl, surface seawaters, food dosimetry, Greece
- 索引用キーワード：年間預託実効線量、海水表層、ギリシャ、チェルノブイリ、海洋魚
- 引用の図表点数：図 1 点、表 1 点

#### 【要約】

本論文では、現在のギリシャ周辺海域の海水表層のセシウム-137 濃度の地理的分布を調べ、海洋資源の摂取を通じたヒトの年間預託実効線量（CED：Committed Effective Dose）を推定・評価している。チェルノブイリ事故直後はエーゲ海北部でセシウム-137 濃度が特に高く、さらに、セシウム-137 がドニエプル川へ流出した結果、黒海・ダーダネルス海峡を経由して北エーゲ海に到達し、この海域での濃度を上昇させている。セシウム-137 濃度は北エーゲ海で平均 11 Bq/m<sup>3</sup>、その他のギリシャ周辺の海域で平均 5.2 Bq/m<sup>3</sup>で事故前の平均値 1.5 Bq/m<sup>3</sup>と比較して高くなっている。しかしながら、推定された年間預託実効線量はヒトの年間許容放射線量の 1 mSv を下回っており、しかも海洋魚の DIL (Derived Intervention Level)値（1 mSv の年間放射線量の限界を超えないヒトの最大許容摂取量）はギリシャ海水中のセシウム-137 濃度より少なくとも 770 倍高い、と報告している。

### 【39】廃棄物処理場候補地の土壌からのセシウム-137 及びコバルト-60 の拡散移動に関する実験室における研究

- 英語タイトル：Laboratory studies of the diffusive transport of <sup>137</sup>Cs and <sup>60</sup>Co through potential waste repository soils
- 著者名：Itakura T, Airey DW, Leo CJ, Payne T., McOrist GD
- 雑誌名：Journal of Environmental Radioactivity, 101, 723-729(2010)
- 論文種別：原著論文
- 核種：セシウム-137、コバルト-60
- 研究対象：環境
- キーワード：Diffusion, Sorption, <sup>137</sup>Cs, <sup>60</sup>Co
- 索引用キーワード：核廃棄物処理場、実効拡散係数、実効吸収係数
- 引用の図表点数：図 2 点、表 3 点

#### 【要約】

本論文では、核廃棄物処理場における放射性物質の拡散及び吸収特性を明らかにすることを目的として、核廃棄物処理場設置が検討されている南オーストラリア州の土壌を再現した試験土壌の放射性物質の実効拡散係数及び吸収係数を数值的、実験的に算出している。対象核種には、セシウム-137 及びコバルト-60 が用いられた。実効拡散係数は、両方の核種で約  $10^{-6} \text{ cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ であり、過去の文献値より高い値であった。一方、実効吸収係数は、セシウム-137 については数値計算と同等であったが、コバルト-60 では、想定と大きく異なった。これは、コバルト-60 の実効吸収係数は、pH 上昇により大幅に上昇することに由来すると考えられる。本論文では、セシウム-137 及びコバルト-60 の実効拡散係数及び実効吸収係数を明らかにするとともに、それらの数値計算による予測が容易ではないことを示している。

### 【40】汚染された森林生態系の生物循環にでの安定同位体セシウムと放射性セシウムの平衡

- 英語タイトル：Equilibrium of radiocesium with stable cesium within the biological cycle of

contaminated forest ecosystems

- 著者名：Yoshida S., Muramatsu Y., Dvornik AM., Zhuchenko TA., Linkov I.
- 雑誌名：Journal of Environmental Radioactivity, **75**(3), 301-313 (2004)
- 論文種別：原著論文
- 核種：セシウム-137
- 研究対象：森林生態系
- キーワード：forest, soil, plant, mushroom, stable cesium, transfer factor
- 索引用キーワード：
- 引用文献の図表点数：図 2 点、表 1 点

#### 【要約】

本論文では、1998 年にベラルーシの異なる汚染レベルの 2 つの森林で集めた植物、キノコ類、コケ類と土壌サンプル中の  $^{137}\text{Cs}$  と安定同位体セシウム ( $^{133}\text{Cs}$ ) の濃度を測定し、その比率を算出することで森林生態系における  $^{137}\text{Cs}$  と安定同位体セシウムの平衡状態について調べている。土壌中の  $^{137}\text{Cs}$  濃度は、地表近くの複合有機物層 [Of (発酵土層) + Oh (腐植土層) horizons] で最も高く、鉱物層では深くなるにつれて減少した。安定同位体セシウム濃度は、鉱物層において深さに関係なく一定であったのに対して、有機物層で最も高く、落葉落枝層で最も低かった。植物を含む生物サンプルでの  $^{137}\text{Cs}$  と安定同位体セシウム濃度は種やサンプリングする部位によって異なるが、 $^{137}\text{Cs}$  と安定同位体セシウムの濃度比率はいずれのサンプル部位でもほとんど一定だった。生物サンプルでの  $^{137}\text{Cs}$  と安定同位体セシウムの比率は、採取した森での有機物層の比率と同じレベルであった。これは、主に 1986 年のチェルノブイリ事故で森林生態系に沈着した  $^{137}\text{Cs}$  は 1998 年までに森林生態系の生物循環により安定同位体セシウムと十分に混合されたことを示している。それぞれの生体サンプルにおいて、有機物層における濃度に基づいて算出した  $^{137}\text{Cs}$  の移行係数は安定同位体セシウムとほとんど同じであった。これらの結果は、森林における多種多様な生物サンプルでの  $^{137}\text{Cs}$  移行の長期予測のための平衡移行係数として、安定同位体セシウムに基づく移行係数が利用できることを示唆している、と述べている。

#### 【41】過湿潤低山帯の森林生態系におけるアルカリ金属に関連した $^{137}\text{Cs}$ の分布と取り込み

- 英語タイトル：Distribution and uptake of  $^{137}\text{Cs}$  in relation to alkali metals in a perhumid montane forest ecosystem.
- 著者名：Chao JH., Chiu CY., Lee HP.
- 雑誌名：Applied Radiation and Isotopes, **66**(10), 1287-1294 (2008)
- 論文種別：原著論文
- 核種：セシウム-137、ストロンチウム-90
- 研究対象：生態系（森林）
- キーワード： $^{137}\text{Cs}$ , stable Cs, transfer factor, alkali metals
- 索引用キーワード：
- 引用文献の図表点数：図 6 点、表 3 点

#### 【要約】

本研究では、 $^{137}\text{Cs}$  とアルカリ金属類 (K, Rb, Cs) の含量を調べることによって過湿潤低山帯の森林生態系で採集した土壌、植物及び雨水における  $^{137}\text{Cs}$  の分布を調査することを目的としている。森林生態系における試料の  $^{137}\text{Cs}$  とアルカリ金属類の分布と取り込みを解明するため、試料中の  $^{137}\text{Cs}$  活性及び  $^{137}\text{Cs}$  と安定同位体セシウムの比率 ( $^{137}\text{Cs}/\text{Cs}$  比) を用いた。土壌中の  $^{137}\text{Cs}$  活性は有機物層で高い値を示し、 $^{137}\text{Cs}/\text{Cs}$  比は土壌深度が深くなるにつれて減少した。 $^{137}\text{Cs}$  濃度は植物種間ではほとんど一定で、カリウムと一緒に取り込まれるようにみえたが、安定同位体セシウムの取り込みは  $^{137}\text{Cs}$  の取り込みには依存していなかった。アルカリ金属類の取り込みは 4 種の植物間で  $\text{K} > \text{Rb} > \text{Cs}$  の順であり、特に、ウラジロ (*Diplopterygium glaucum*) は植物種の中でアルカリ金属類の取り込み量が最も高かったが、 $^{137}\text{Cs}/\text{Cs}$  比は最も低かった。ウラジロは森林の端に分布している；通常浅めの有機物層の表層に生育し、根は鉱物層から安定同位体セシウムを取り込むため、低木層 (ウラジオキジノオとタイワンシャクナゲ) の比率より  $^{137}\text{Cs}/\text{Cs}$  比は低い値を示した。これはウラジロによる深層土壌からの安定同位体セシウムの断続的な取り込みが  $^{137}\text{Cs}$  濃度を次第に希釈し、他のシダ植物における  $^{137}\text{Cs}/\text{Cs}$  比より低くなることを示唆している。 $^{137}\text{Cs}/\text{Cs}$  比は森林生態系における  $^{137}\text{Cs}$  の分布と取り込みをモニタリングするための指標になりうる。植物中の  $^{137}\text{Cs}/\text{Cs}$  比は、 $^{137}\text{Cs}$  と安定同位体セシウムが生物学的循環での平衡に達するとすぐに一定の値をとると考えられる、と述べている。

## 【42】 温帯林生態系における移行パラメーター値：総説

- 英語タイトル：Transfer parameter values in temperate forest ecosystems: a review.
- 著者名：Calmon P., Thiry Y., Zibold G., Rantavaara A., Fesenko S.
- 雑誌名：Journal of Environmental Radioactivity, **100**(9), 757-766 (2009)
- 論文種別：総説
- 核種：セシウム-137、ストロンチウム-90
- 研究対象：生態系（森林）
- キーワード：mushrooms, berries, game animals, reindeer, trees, radionuclide, transfer
- 索引用キーワード：
- 引用文献の図表点数：表 15 点

### 【要約】

多様な植物群集、植物層（高木層、低木層、草本層や一年生植物層）及び土壌の特性（林床、半有機物層や鉱物層）から、農地と比較して森林は複雑な生態系を有している。長期にわたる植物や食品の放射性核種の汚染に影響を及ぼすことから、土壌は農地より森林生態系において断続的な放射性核種の移行の高い原因であることを示している。これまでに、土壌や植物を含む様々な環境要因における移行係数（Tag、 $\text{m}^2\text{kg}^{-1}$ ）を用いて様々な森林産物の放射性核種汚染を定量されている。本総説は、森林生物相（高木、下層植生、キノコ類、ベリー類と狩猟動物）への放射性核種移行の評価モデル構築のために、関連性のある定量値を示し、IAEA による提言を補足することを目的としている。高木層の放射性セシウムと放射性ストロンチウムで、Tag 値の平均は  $10^{-3} \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$  であり（乾燥重量）、木の葉では木の幹より 2 倍から 12 倍汚染されていた。農地で栽培した食品原料と比較して、野生のキノコ類やベリー類への放射性核種の移行は高い値を示した。キノコ類に取り込まれた放射性セシウムにおいて、移行は  $10^{-3}$  から  $10^1 \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$  といった非常に大きな Tag 値の変動がみられた（乾燥重量）。ベリー類での、典型的な値は  $0.01\text{-}0.1 \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$  であった。（乾燥重量）。狩猟動物やトナカイへの放射性セシウムの移行と生態学的半減期は、それぞれの地域における土壌と植物に影響される。温帯林と寒帯林は土壌と植生が異なるため、温帯でのシカ筋肉中で放射性セシウム濃度のより早い減少が見られた。しかし、野生のイノシシにおいて、特別な食性のためか放射性セシウム濃度は減少しなかった。短期間で餌となる植物の放射性核種の外部汚染は取り除かれるため、寒帯森林に生息する陸生鳥類ではマウスと同等の Tag 値、 $0.01 \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$  であり（生体重量）、北極野ウサギでは  $0.03 \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$  であった（生体重量）。冬期のトナカイ筋肉中の放射性セシウムの Tag 値は夏期の Tag 値を上回る可能性が示唆された（冬期； $0.02\text{-}0.8 \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$ 、夏期； $0.04\text{-}0.4 \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$ （生体重量））。水鳥では、 $^{137}\text{Cs}$  取り込みが比較的早く減少し、3 年で Tag 値が 0.01 から  $0.002 \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$  へ減少した（生体重量）。今後は放射性ストロンチウムやプルトニウムに関する移行プロセスの知見を集積すると共にし、森林土壌や生物圏における他の放射性核種（ラジウム、トリウム、ウラニウム）の移行についても検討を進めるべきである、と述べている。

## 【43】 放射性物質の根圏吸収と移行係数の変動に影響する環境プロセス：総説

- 英語タイトル：Environmental processes affecting plant root uptake of radioactive trace elements and variability of transfer factor data: a review.
- 著者名：Ehlke S., Kirchner G.
- 雑誌名：Journal of Environmental Radioactivity, **58**(2-3), 97-112 (2002)
- 論文種別：総説
- 核種：セシウム-137、ストロンチウム-90
- 研究対象：農産物
- キーワード：root uptake, soil-to-plant transfer factor,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ , heavy metals
- 索引用キーワード：
- 引用文献の図表点数：図 2 点

### 【要約】

食物連鎖における放射性核種の移行を評価するために、土壌から植物への移行係数はよく用いられる。移行係数は、は植物中の放射性核種濃度と土壌中の濃度に直線的な相関があることを前提に定義されている。しかし、既に報告されている移行係数のばらつきは、土壌中における放射性核種濃度が単に植物による取り込みに影響を及ぼす唯一の要因ではないことを示している。従来の移行係数では、植物の根、微生物叢、根圏を含む土壌の相互作用を定量的に算出できないと考えられる。本総説では放射性セシウム、ストロンチウムを対象として、土壌・植物系における主要なイオンの競合効果、根圏と土壌微生物の影響、根による移行と取り込みに及ぼす要因、そして長期的な取り込み率に及ぼすプロセスについてまとめている。アルカリ金属及びアルカリ土類金属の微量元素

及び重金属の土壌・植物系における挙動は、競合的かつ阻害的な相互作用により大きく影響を受ける。これらの過程は土壌中に存在する微量イオン濃度と微量元素の取り込みと移行に関与する細胞膜輸送によって制御されることが知られている。放射性セシウムとストロンチウムにおいて、土壌/溶媒間と細胞膜での挙動メカニズムはここ10年の間に解明されつつある。多くの最新の知見を取り入れ、従来の移行係数の手法を改良し、十分に評価することができた。この手法は、根から放射性核種を取り込む間の生理学的な競合イオンの情報を十分に考慮し、放射性核種の土壌・植物への移行における定量的な実験データを得るために従来の移行係数に置き換えることが可能となる、と述べている。

## ⑤ モデル・シナリオ・提言等について 【44】 ～ 【51】

### 【44】 戦略モデルを用いた仮想的汚染シナリオにおける最適な農業対策措置の特定

- 英語タイトル：Identifying optimal agricultural countermeasure strategies for a hypothetical contamination scenario using the strategy model
- 著者名：Cox G, Beresford NA, Alvarez-Frizzo B, Oughton D, Kis Z, Eged K, Thorring H, Hunt J, Wright S, Barnett CL, Gil JM, Howard BJ, Crout NMJ
- 雑誌名：Journal of Environmental Radioactivity, 83, 383-397(2005)
- 論文種別：原著論文
- 核種：セシウム-137、ストロンチウム-90、プルトニウム-239/240、アメリシウム-241
- 研究対象：食品、農産物、畜産物、環境(土壌・水等)
- キーワード：model restoration, optimization, countermeasures
- 索引用キーワード：意志決定、利益－コスト最適化、実行モデル
- 引用の図表点数：図6点、表3点

#### 【要約】

本論文では、放射能汚染地域へ最適な対策戦略を役立てるために考案された空間的実行モデル（spatially implemented model）を提案している。汚染地域内における集団及び個人の被曝線量は、取り込み－排出総計量（collective exported ingestion dose）と共に推定されている。様々な対策がモデルに組み込まれるとともに、環境規制も必要に応じて盛り込まれている。本モデルはコスト関数を用いることで、実施コストの削減による利益と損失のバランスを比較し、複数の対策の組み合わせの有効性を評価する。コスト関数で最低値を示す個々の対策（及びそれらが実行される時間と場所）を組み合わせることで、最適な対策戦略を特定しうる。このモデルは決定的な解決策を見出すためではなく、意志決定過程における双方向的な議論のために使用されるべきである。本研究ではカンブリア（イギリス）の仮定シナリオが実証モデルとして使われ、セシウム-137、ストロンチウム-90、プルトニウム-239/240、及びアメリシウム-241 がそれぞれ  $1.7 \times 10^{14}$ 、 $1.2 \times 10^{13}$ 、 $2.8 \times 10^{10}$  及び  $5.3 \times 10^9$  Bq の総放出量となる原子力発電所事故のシナリオとしている。もしも改善対策が全く実行されないならば、放出後10年に亘り生じる（主にセシウム-137に由来する）集団線量はおよそ36,000人 Svであると予測される。最適な戦略は耕起、AFCF（アンモニウム鉄ヘキサシアノ鉄酸塩）管理、カリウム肥料の活用、家畜に汚染されていない餌を与えること、及び食事制限を組み合わせることであり、これらによって約1億6,000万ポンドの費用で、約33,000人 Svの被曝を回避できることが予測される。本論文はこれらの結果を踏まえ「汚染地区内の特定地域において、一定期間、上記の対策が実施されるべきである」と提言している。

### 【45】 放射性物質が混入した食品サプライチェーンの復旧におけるフィンランドの利害関係者（stakeholder）の活動

- 英語タイトル：Finnish stakeholder engagement in the restoration of a radioactively contaminated food supply chain
- 著者名：Rantavaara A., Wallin H., Hasunen K., Harmala K., Kulmala H., Latvio E., Liskola K., Mustonen I., Nieminen I., Tainio R.
- 雑誌名：Journal of Environmental Radioactivity, 83, 305-317(2005)
- 論文種別：原著論文
- 核種：セシウム-137、ヨウ素-131
- 研究対象：食品、畜産物

- キーワード：food supply chain, logistics, emergency preparedness
- 索引用キーワード：サプライチェーン、ネットワーク構築、専門家グループ
- 引用の図表点数：なし

#### 【要約】

本論文では、フィンランドにおいて放射能汚染された食品サプライチェーンの復旧に関する活動について報告している。2001 年、農村地域に偶発的に生じる放射能汚染に対処するためのネットワーク構築と利害関係者の対応力の強化を目的として、一次生産、食品加工、食品流通及び消費、食品安全及び食品利用、ケータリング（配膳業）及び宅配サービス、自然保全、環境影響の研究、及びマスコミに関わる、様々な組織及び機関を代表する専門からなるグループが設立された。同グループの「FARMING ネットワークプロジェクト」は、ミルクの大量生産地域における汚染を想定して、放牧中の乳牛へ清浄な餌を確保するための行動を評価するための枠組みを提供した。翌年、「STRATEGY プロジェクト」が農村における介入措置及びゴミ処理法の編集物を作成した。審査会（evaluation meeting）は着実かつ単純な取組みであるが有益かつ効率的であり、それらの知識を多くの専門分野にわたるグループが同時に情報交換することで、様々な対策に関する見解を共有できることが確認された。本論文では、放射能の測定と幅広い層への情報提供及び助言が、優先順位の高い取り組みであるとされている。

### 【46】放射能汚染事故における家庭及びケータリング業での対応策

- 英語タイトル：Preparedness of households and catering establishments for incidents involving radioactive contamination
- 著者名：Enqvist H..
- 雑誌名：Journal of Environmental Radioactivity, 83, 415-419(2005)
- 論文種別：原著論文
- 核種：なし
- 研究対象：食品
- キーワード：emergency preparedness, municipal planning, catering service
- 索引用キーワード：ケータリング、家庭、小冊子
- 引用の図表点数：なし

#### 【要約】

この短報は、放射能汚染事故の緊急事態に対して確実に備えるために、フィンランドのケータリング事業者及び一般家庭に対して実施された多くの調査について述べている。緊急事態が生じた際に、ケータリング調理現場で実施すべき対応策の具体的な提言が 1994 年に発行された。調査結果及びそこから得られる提案と共に、これらの提言を順守すべきレベルの判断に関する研究がまとめられている。緊急事態時の様々な状況に対処するための予備計画についても示され、また ケータリング調理現場における新たな課題についても触れている。家庭での緊急事態用のための調理小冊子には、消費者の考え・提案に基づき、将来的に向上させることができる方法が示されている。

### 【47】牧草地の放射能汚染時における乳牛への清浄給餌のコストと実用性

- 英語タイトル：Costs and practicability of clean feeding of dairy cattle during radioactive contamination of grasslands
- 著者名：.Rantavaara A., Karhula T., Puurunen M., Lampinen K., Taulavuori T.
- 雑誌名：Journal of Environmental Radioactivity, 83, 399-414(2005)
- 論文種別：原著論文
- 核種：セシウム、ヨウ素、ストロンチウム
- 研究対象：畜産物
- キーワード：contamination, cost, countermeasure, dairy farming, advisory service, intervention, radionuclide, caesium, iodine, strontium, feed
- 索引用キーワード：汚染、コスト、対策、酪農、助言サービス、飼料、放射性核種
- 引用の図表点数：図 9 点、表 1 点

#### 【要約】

フィンランドの酪農において、放射能事故 1 年目に汚染された牧草の摂取を減らす対策として、他の粗飼料の供給が不十分な状況で清浄給餌を行うための、農園及び地域のコストを試算した論文である。試算にはミルク生

産に関する支出及び収入を考慮し、経済計画のために開発した農園モデルを用いた。仮想汚染シナリオは、環境への拡散及び陸上食物連鎖に伴う移行に関する RODOS モデルにより構築した。仮想的に環境拡散及び堆積が起きた2つの類似したシナリオの6月上旬及び7月の介入コストを見積もった。参照として、地域の飼料をすべて置き換える場合のコストを計算した。後者のシナリオでは、飼料を交換するコストはサイレージの入手しやすさにより6月が7月よりも高かった。最初のケースでは、清浄給餌のための追加費用は通常の生産コストの1/5であった。農業者への効果的な助言／支援サービスは、実質的な措置実施に貢献するものの、高コストと不十分な清浄飼料の供給であれば、成長期中の重大な汚染後の唯一の対策として清浄給餌の利用に限度がある、としている。

#### 【48】放射能漏出事故での食品の放射線防護対策のための ALARA (as low as reasonably achievable) アプローチ

- 英語タイトル：An ALARA approach to the radiological control of foodstuffs following an accidental release
- 著者名：Lombard J, Coulon R, Despres A
- 雑誌名：Risk Analysis, 8(2), 283-290(1988)
- 論文種別：原著論文
- 核種：セシウム-137、ヨウ素-131
- 研究対象：防護技術
- キーワード：ALARA, countermeasures, foodstuffs, intervention level, radioactive release
- 索引用キーワード：汚染防護対策、最大許容濃度設定、食品、年間摂取量、費用対効果
- 引用の図表点数：図1点、表11点

##### 【要約】

本論文では、放射能漏出事故での食料の適切な汚染防護対策（最大許容濃度設定など）決定を行うための2つのアプローチに基づいた方法を検討・評価している。第1のアプローチ方法は、1人当たりの最小及び最大の介入レベルに基づいて、それぞれの食品の年間摂取量を考慮に入れる。第2のアプローチ方法は、費用対効果分析に基づく。4つの食品（ミルク、肉、生鮮野菜、とうもろこし）と2つの核種（セシウム-137及びヨウ素-131）に関して、幾つかの想定シナリオ（単一或いは複数食品への単一或いは複数核種汚染）でこれらのアプローチに基づいた方法を適用した結果から、これらの方法は相補的で、第1アプローチは個々のリスクに、第2アプローチは全体のリスクに関係付けられる、と報告している。

#### 【49】土壌中における放射性降下物の拡散様式：濃度-深度相関プロファイルに及ぼす吸着特性の不均一性の影響

- 英語タイトル：Migration of fallout radionuclides in the soil: effect of non-uniformity of the sorption properties on the activity-depth profiles
- 著者名：Bunzl K..
- 雑誌名：Radiation and Environmental Biophysics, 40, 237-241(2001)
- 論文種別：原著論文
- 核種：限定なし
- 研究対象：環境
- キーワード：Fallout radionuclides, soil, activity-depth profiles
- 索引用キーワード：放射性降下物、土壌、動態、分布、シミュレーション
- 引用の図表点数：図2点

##### 【要約】

本論文では、土壌中における放射性核種の動態解明を目的として、実測値から得られた濃度分布について理論的に考察している。放射性降下物の土壌中の分布を測定すると、その濃度が正規分布に従わず、ピーク地点よりさらに深いところで予想外に高い濃度を示すことがしばしば観察される（テーリング現象）。対流-分散モデルに基づいたモンテカルロ法（乱数を用いたシミュレーション法）による計算から、テーリング現象が土壌の水力特性または吸着特性、あるいはその両者の不均一性（対数正規分布に従うと仮定）により説明できることを報告している。しかしながら、吸着特性のみを変数にした単純なシミュレーションからは、実測された濃度分布を再現できないことも報告されており、正確な予測には対象地点における水力特性及び吸着特性の実測値が必要であ



るとしている。

本論文は、土壤中における放射性核種の動態予測には、対象地点における水力特性及び吸着特性の把握が重要であることを示唆するものである。

## 【50】 非耕作草地土壌における放射性核種の垂直方向への移動

- 英語タイトル：Vertical migration of radionuclides in undisturbed grassland soils
- 著者名：Kirchner G., Strebl F., Bossew P., Ehlken S., Gerzabeck MH
- 雑誌名：Journal of Environmental Radioactivity, 100, 716-720(2009)
- 論文種別：原著論文
- 核種：セシウム-137
- 研究対象：環境
- キーワード：Cesium, CDE models, Convection-dispersion equation, Model parameters, Radionuclides, Vertical migration
- 索引用キーワード：土壌、移動、動態解析
- 引用図表点数：図 3 点、表 1 点

### 【要約】

本論文では、草地土壌における放射性核種の移動モデルを評価することを目的として、最も一般的な 2 つの数値モデルについて、統計学的観点から評価を行っている。コンパートメントモデル (compartment model) の適用上の制約から、対流-分散方程式モデル (convection-dispersion equation model: CDE model) がより有効であることが示されている。さらに、放射性セシウムについては、有効対流係数及び分散係数を算出している。ただし、セシウム以外の放射性核種と、温暖ではない環境の土壌については、データが不足している、と報告している。本論文は、CDE モデルによる放射性核種動態解析の有効性を示唆するものである。

## 【51】 牧草地の土壌におけるセシウム-137 の垂直移動の空間的多様性と長期予測への影響

- 英語タイトル：Spatial variability of the vertical migration of fallout  $^{137}\text{Cs}$  in the soil of a pasture, and consequences for long-term predictions
- 著者名：Bunzl, K., Schimmack, W., Zelles, L., Albers, BP
- 雑誌名：Radiation and Environmental Biophysics, 39, 197-205(2000)
- 論文種別：原著論文
- 核種：セシウム-137
- 研究対象：環境
- キーワード：Fallout radiocesium, soil, migration, transport model
- 索引用キーワード：チェルノブイリ、土壌、移動、植物、吸収
- 引用図表点数：図 9 点

### 【要約】

セシウム-137 のヒトへの長期に渡る移行経路として、地表に降下したセシウム-137 を吸収した植物を介した経路が懸念される。植物による吸収では、農地や牧草地の根圏 (深さ 0~7 cm の土壌) における放射性物質の残存量が重要になってくる。そのため、様々な土壌の表層における放射性セシウムの垂直方向への移動に関する研究が数多く行われている。本論文では、現在広く使用されている土壌中のセシウム-137 の移動モデル

(dispersion-convection モデル、residence time モデル、back-flow モデル) における移動パラメーターの影響を調べるために、チェルノブイリ由来のセシウム-137 が降下した牧草地におけるセシウム-137 の深度分布を測定している。さらに、得られたデータから移動パラメーターを求め、この牧草地における 20、50 及び 100 年後の根圏土壌のセシウム-137 の分布予測を行った。本論文によると、移動パラメーターに空間的多様性のみを考慮した場合には、residence time モデルで予測される中央値は、他の 2 モデルの予測値よりも常に有意に高い値を示したが、空間的多様性に加えてセシウム-137 の堆積量も考慮した場合には、各々のモデルで予測した中央値は 100 年後の予測においてのみ有意差を生じた、と報告している。

## ⑥ 植物 (農作物を除く) への移行及び影響等について

## 【52】 ~ 【65】

## 【52】洪水後の放射性セシウムの根吸収変化を予測するための実験法

- 英語タイトル：Laboratory experiments to predict changes in radiocaesium root uptake after flooding events
- 著者名：Camps M., Hillier S., Vidal M., Rauret G..
- 雑誌名：Journal of Environmental Radioactivity, 67, 247-259(2003)
- 論文種別：原著論文
- 核種：セシウム
- 研究対象：農産物、環境(土壌・水等)
- キーワード：radiocaesium, flooding, soil solution, RIP, Chernobyl, root uptake
- 索引用キーワード：チェルノブイリ、放射性セシウム、洪水、土壌溶液、根吸収
- 引用の図表点数：図3点、表2点

### 【要約】

本論文は、洪水後の放射性セシウムの根からの吸収の変化を予測するための実験法を提示している。チェルノブイリ事故で影響を受けた地域において、食物連鎖における放射性セシウム取り込みの変化を説明する主要因として、洪水後の土壌溶液組成の変化を仮定した。洪水循環 (flooding cycles) が続いた後の土壌溶液組成の変化をモニターする実験系を設定した。実験は、対照的な初期の土壌溶液組成( $K^+$ の初期濃度が高い及び低い場合)の試験土壌について、カラム及びバッチ処理によるアプローチで行った。カラム実験結果から、根からの放射性セシウム吸収の増加を示すパラメーターである  $NH_4^+$ 濃度の増加が示唆された。 $K^+$ 初期濃度が高い土壌におけるバッチ試験結果は、複数回の洪水後、特に洪水の水量／土壌量の比が高い場合は、 $K^+$ 濃度が閾値以下(およそ  $0.5 \sim 1 \text{ mmol/L}$ )まで減少することがあり、放射性セシウムの移行を増大させる可能性を示唆した。低い  $K^+$ 初期濃度土壌では、洪水条件が土壌溶液の  $K^+$ 及び  $NH_4^+$ 濃度を増加させた。洪水で影響を受けたウクライナ地域由来の土壌と試験土壌との比較の結果、土壌溶液の初期組成に関わらず、いずれの土壌においても土壌溶液組成の最終段階は類似していることが示唆された。更に、同じ地域に由来する非洪水土壌との比較から、他の土壌パラメーター(例えば、セシウム-137の放射能濃度、粘土質含量、放射性セシウム潜在遮断性 (radiocaesium interception potential(RIP); 土壌の放射線セシウム特異吸着量を見積もるパラメーター) など)の変化についても、洪水による付加的作用の評価のために監視すべきであることが示された。従って、根からの吸収の変化は、土壌溶液中の RIP、 $K^+$ 及び  $NH_4^+$ 値の変化状態に依存する、と報告されている。

## 【53】植生により捕捉された放射性エアロゾルの測定値の解析

- 英語タイトル：An analysis of measured values for the fraction of a radioactive aerosol intercepted by vegetation
- 著者名：Miller CW
- 雑誌名：Health Physics, 38(4), 705-712(1980)
- 論文種別：原著論文
- 核種：ヨウ素、セシウム
- 研究対象：農産物
- キーワード：interception fraction, vegetation, radioactive aerosol
- 索引用キーワード：捕捉、植生、エアロゾル
- 引用の図表点数：図2点、表4点

### 【要約】

大気中に放出された放射性核種の一部は植生に捕捉される。このエアロゾル放射線は、経口や体外からの曝露でヒトに影響する放射線量となりうる。本論文は、この放射線がヒトに与える影響を評価モデル式によって正確に見積もるために、植生に捕捉されたエアロゾル測定値  $r$  を統計学的に解析したものである。まず、過去の研究で測定された牧草地及びその他の植生における放射能の平均値をまとめた。しかし、測定サンプル数が少なく、土地の水分状態の影響も受けるため、特に、牧草地以外の葉物野菜や園芸作物の栽培地で得られた値を用いることには注意する必要がある。 $r$  は草本密度  $Y_v$  との相関式で直接的な関係が認められ、牧草地での測定値  $r$  は正規分布していることが示された。線量評価モデルで使われる  $r/Y_v$  比の変動性の確率分布関数は対数正規分布に近似した、としている。

## 【54】泥炭地植生におけるカリウム、放射性降下物セシウム-134、及びセシウム-137の土壌から植物への移行の季節的变化

- 英語タイトル：Seasonal Variation of Soil-to-Plant Transfer of K and Fallout <sup>134,137</sup>Cs in Peatland Vegetation
- 著者名：K. Bunzl and W. Kracke
- 雑誌名：Health Physics, 57(4), 593-600(1989)
- 論文種別：原著論文
- 核種：セシウム-134、セシウム-137、カリウム
- 研究対象：環境(土壌・水等)
- キーワード：seasonal variation, peatland, soil-to-plant transfer
- 索引用キーワード：チェルノブイリ、季節変動、泥炭地
- 引用の図表点数：図4点、表3点

### 【要約】

泥炭湿原において放射性核種等の土壌から植物への移行を解析した論文である。泥炭湿原の植物3種（ミネハリイ（*Trichophorum caespitosum*）、ヌマガヤ（*Molinia coerulea*）、カルーナ（*Calluna vulgaris*）を対象に、1987年6月から11月に約14日間隔でセシウム-137の濃度、セシウム-137対セシウム-134の比及び非放射性カリウムを定量した。多年生根のみを持ちながら、古い葉を枯らして毎年発芽するミネハリイ（*Trichophorum caespitosum*）とヌマガヤ（*Molinia coerulea*）の2種の草本では、生育期においてセシウム-137の濃度が大幅に減少した（各1800-240及び4000-320 Bq/kg 乾燥重量）。この2種の草本では、カリウムと放射性セシウムの季節変動に非常によく似た傾向がみられ、その結果セシウム-137対カリウムの比は年間を通しほぼ一定であった。一方、チェルノブイリからの放射性降下物で表面が汚染された常緑植物のカルーナ（*Calluna vulgaris*）（ヒース）では、放射性セシウムが葉から吸収され植物内部に移行したにもかかわらず、1987年中のカリウム及びセシウム-137の濃度はむしろ一定であった（葉 約10,000 Bq/kg、茎 約5000 Bq/kg 乾燥重量）。2種の草本について、植物対土壌の濃度比率（CR）を 総セシウム-137、世界的な放射性降下物由来のセシウム-137及びチェルノブイリ由来のセシウム-137に分けて計測した。ミネハリイ（*Trichophorum caespitosum*）では、世界的な放射性降下物由来のセシウム-137のCRは春から秋にかけて1.9から0.08に減少し、チェルノブイリ由来のセシウム-137のCRは1.4から0.2に減少した。ヌマガヤ（*Molinia coerulea*）でも同様の傾向がみられた。CR値の季節的变化及び世界的な放射性降下物由来のセシウム-137とチェルノブイリの瓦礫からのセシウム-137に異なる挙動が見られたことについて考えられる理由を検討した。泥炭土へのセシウム-137の吸着に関する分配係数  $K_d$ （distribution coefficient  $K_d$ ）を使って（Baesの式で）求めたこれらの植物のCRの推定値は、生育期において観測された平均CR値に非常によく一致していた、と報告している。

## 【55】放射性セシウムの土壌－植物移行モデルの改良（使用パラメーターの縮小）と評価

- 英語タイトル：Evaluating and reducing a model of radiocaesium soil-plant uptake
- 著者名：Tarsitano D., Young SD, Crout NMJ
- 雑誌名：Journal of Environmental Radioactivity, 102(3), 262-269(2011)
- 論文種別：原著論文
- 核種：セシウム
- 研究対象：農産物、環境(土壌・水等)
- キーワード：radiocaesium, model, evaluation, soil, plant, reduction
- 索引用キーワード：土壌－植物移行、縮小モデル
- 引用の図表点数：図4点、表5点

### 【要約】

放射性セシウムの土壌－植物移行モデルに関する論文である。既存の放射性セシウムの草本への移行モデルを小麦や大麦まで利用できるように拡張し、また広範な土壌及び接触時間のデータを使用して、モデルをパラメーター化した。モデル構造は、改訂され、モデルのパラメーター化に使用されていない利用可能なデータサブセットを用いて評価した。改訂モデルは、モデル構成要素の有用性を検証するために、体系的なモデル構造減少を試すための基礎モデルとして使用した。この解析でモデルの4つの変数（放射性セシウムの有機物質への吸着と土壌溶液のカリウム濃度のpH感受性に関係する変数）と一つの入力（pH）は必要ないことが示唆された。この解析の結果は、さらに、観測との比較により評価した縮小モデルを開発するために使用された。縮小モデルは、改

良されて実用性が増し、調整可能なパラメーターと土壌特性のデータ入力により少ない、としている。

## 【56】 植生へのヨウ素沈着及び植生上におけるヨウ素の生物学的半減期の測定

- 英語タイトル: Measurements of the deposition of iodine onto vegetation and of the biological half-life of iodine on vegetation
- 著者名: Heinemann K., Vogt KJ.
- 雑誌名: Health Physics, 39(3), 463-474(1980)
- 論文種別: 原著論文
- 核種: ヨウ素
- 研究対象: 畜産物、環境(土壌・水等)
- キーワード: Julich Nuclear Research Center, vegetation, biological half-life, deposition
- 索引用キーワード: Julich 原子力研究所、生物学的半減期、植生、沈着
- 引用の図表点数: 図 4 点、表 4 点

### 【要約】

本論文では、Julich 原子力研究所での圃場試験結果から、植生へのヨウ素の堆積速度は、単位面積あたりの植生の乾燥重、相対湿度、摩擦速度及び生物学的線質係数に比例する半経験式を用いて表現できることを報告している。湿った牧草の表面上における放射性沈降物の堆積量は、乾いた牧草の表面の 2 倍以上であり、また、クロバーのヨウ素の堆積量は、牧草と比較して 2 倍以上であることを示している。ドイツ連邦共和国における干し草表面へのヨウ素の堆積速度は、給餌期間における平均として毎秒 2cm と見積もられていたが、植生の表面は露や雨のために周期的に湿るため、堆積速度は毎秒約 3cm 程度に増加すると推測される。なお、エアロゾル及びヨウ化メチルの堆積速度は、ヨウ素と比較して 20 分の 1 及び 200 分の 1 程度であった。また、圃場試験結果によると、ヨウ素の牧草上における生物学的半減期は 7.5 日であった、としている。

## 【57】 セシウム-134 を含む模擬落下物のマツ及びオークへの残留

- 英語タイトル: Retention of a fallout simulant containing  $^{134}\text{Cs}$  by pine and oak trees
- 著者名: Witherspoon JP, Taylor FG Jr.
- 雑誌名: Health Physics, 17(6), 825-829(1969)
- 論文種別: 原著論文
- 核種: セシウム-134
- 研究対象: 環境(土壌・水等)
- キーワード: white pine, red oak, tree, retention, effective half-life
- 索引用キーワード: ストローブマツ、アカガシワ、残留、実効半減期
- 引用の図表点数: 図 2 点、表 2 点

### 【要約】

本論文では、放射性物質のマツ及びオークへの残留を報告している。ストローブマツ(*Pinus strobus*: マツの一種)小木及びアカガシワ(*Quercus rubra*: オークの一種)を屋外に置いて、セシウム-134 を含む直径 85-175  $\mu\text{m}$  の石英粒子で作った模擬落下物で汚染させた。その後、最長 33 日間、間隔をおいて全木を伐採し、それぞれについてセシウム-134 の残留量を測定したところ、模擬落下物の葉に残留した初発画分は、マツ(0.24)よりもオーク(0.35)で高かったが、1 時間後では、広葉樹であるカシワではセシウム-134 初発濃度の 90.5%が消失したのに対し、マツでは 10%しか消失しなかった。これら初期残留の違いは、これら二種の顕著に異なる枝葉形状への風の影響に関連している。両木における実効半減期を 0-1 日、1-7 日、7-33 日の間隔において計算したところ、マツにおいては、各々 0.25 日、4.53 日、20.66 日であり、オークでは、0.12 日、1.41 日、24.86 日であった。粒子(セシウム-134)の消失は、主として本実験中の風雨による風化が原因であった。以上、本実験期間中に放射性核種の総消失量の割合が高かったことは、汚染後の風及び最初の降雨の各影響により説明される、としている。

## 【58】 次亜ヨウ素酸 (HOI) としてのヨウ素-131 の大気中から植物への移行

- 英語タイトル: Air-to-vegetation transport of  $^{131}\text{I}$  as hypoiodous acid (HOI)
- 著者名: Voilleque PG, Keller JH
- 雑誌名: Health Physics, 40(1), 91-94(1981)

- 論文種別：原著論文
- 核種：ヨウ素 - 131
- 研究対象：農産物
- キーワード：hypoiodous acid, air-to-vegetation transport, airborne particulates, organic iodides
- 索引用キーワード：次亜ヨウ素酸、植物への移行、大気中粒子、有機ヨウ化物
- 引用 の 図表 点数：表 1 点

#### 【要約】

本論文では、実験室レベルでのモデル環境下における次亜ヨウ素酸（HOI）の空気中から植物への移行を測定している。原子炉内の循環している空気中のヨウ素 - 131 のほとんどは次亜ヨウ素酸として存在し、環境中に放出されたヨウ素 - 131 は、空気から牧草、牧草から家畜のミルクへ移行することで人体に取り込まれると考えられる。次亜ヨウ素酸の植物への蓄積速度は、ヨウ素（I<sub>2</sub>）と有機ヨウ化物（CH<sub>3</sub>I）の中間の値を示し、大気中粒子に吸着したヨウ素の蓄積速度の半分の値である、と報告している。

### 【59】水耕栽培条件下で栽培されたヒマワリのセシウム-137 及びストロンチウム-90 の吸収

- 英語タイトル：<sup>137</sup>Cs and <sup>90</sup>Sr uptake by sunflower cultivated under hydroponic conditions.
- 著者名：Soudek P, Valenová S, Vavříková Z, Vanek T.
- 雑誌名：Journal of Environmental Radioactivity, 88:236-250 (2006)
- 論文種別：原著論文
- 核種：セシウム-137、ストロンチウム-90
- 研究対象：農産物
- キーワード：Radiocaesium, Radiostrontium, Calcium, Pottassium, Ammonium, *Helianthus annuus*, Phytoremediation
- 索引用キーワード：植物、吸収、水耕栽培、ヒマワリ
- 引用 の 図表 点数：図 6 点、表 5 点

#### 【要約】

本論文ではストロンチウム-90 とセシウム-137 を添加した水耕液中でヒマワリを栽培し、成長後の各部位における放射能の吸収量を測定し、その結果を報告している。栽培後 32 日目において、元の水耕液に含まれていたセシウム-137 の約 12%、ストロンチウム-90 の約 20%がヒマワリに蓄積された。両核種ともに、放射性核種と非放射性核種の蓄積における挙動には有意差はなかった。ヒマワリ中の放射能分布についてオートラジオグラフィーにより調べた結果、セシウム-137 においては、主に節、葉脈、そして若葉中に分布が見られた。ストロンチウム-90 については、葉脈、茎、主根、気孔に高い放射能が局在していた。非放射性セシウム及びストロンチウムを用いた実験では、水耕液中のセシウム及びストロンチウムの初期濃度が増加するほど、ヒマワリ植物体中に吸収されるセシウム及びストロンチウムの割合は減少した。一方、放射性セシウム及びストロンチウムを用いたより低濃度での実験では、元の水耕液中の放射性ストロンチウム-90 の量が多いほど、ヒマワリ中に吸収されるストロンチウム-90 の量が減少したが、もう一方のセシウム-137 では、元の水耕液中の放射性セシウム-137 の量が多いほど、ヒマワリ中に吸収されるセシウム-137 が増加した。これはセシウム-137 が能動的に取り込まれているからである、と筆者らは説明している。さらにセシウム-137 の吸収に対する K<sup>+</sup>及び NH<sub>4</sub><sup>+</sup>の影響、及びストロンチウム-90 の吸収に対する Ca<sup>2+</sup>の影響について調べたところ、水耕液中に 10 mM K<sup>+</sup>及び 12 mM NH<sub>4</sub><sup>+</sup>が存在したとき、初期放射能の 24–27%と最も高いセシウム-137 の蓄積が観察された。一方、ストロンチウム-90 については、水耕液中に 8 mM Ca<sup>2+</sup>が存在するとき、初期放射能の約 22%と最も植物体への蓄積が多かったと報告している。なお、最後に著者らは、今回の水耕栽培法による実験は放射性核種の根からの吸収をみるための一つのモデルにすぎず、今後、通常の土壌における根からの吸収や土壌－植物間の関係の情報を得るためのフィールド実験が必要である、と述べている。

### 【60】木材灰を施肥後の泥炭地森林におけるベリー類、キノコ、ヨーロッパアカマツの針葉によるセシウム-137 の吸収

- 英語タイトル：Uptake of <sup>137</sup>Cs by berries, mushrooms and needles of Scots pine in peatland forests after wood ash application
- 著者名：Vetikko V., Rantavaara A., Moilanen M
- 雑誌名：Journal of Environmental Radioactivity, 101, 1055-1060(2010)

- 論文種別：原著論文
- 核種：セシウム-137
- 研究対象：農産物、環境
- キーワード：Wood ash, Peatland forests, Fertilization, <sup>137</sup>Cs, Potassium, *P. sylvestris*
- 索引用キーワード：灰、肥料、植物、チェルノブイリ
- 引用図表点数：表 5 点

#### 【要約】

フィンランドでは木材を燃料として用いることが多く、そこから生じる灰は森林の肥料として利用されることがある。本論文は、木材灰を施肥した泥炭地におけるヨーロッパアカマツ (*Pinus sylvestris* L.) の針葉、ベリー類（クラウドベリーとハイデルベリー）、キノコ（ベニタケ）におけるセシウム-137 の放射能濃度を分析したものである。1997 年にフィンランドの 2 つの沼地で行われたフィールド実験で、2 種類の灰（ともに製紙工場に由来する(1) 自然な塊と、(2) 2・10 mm に粒化したもの）をそれぞれ 2 種類の量 (3,500 または 3,700 kg ha<sup>-1</sup> と 10,500 または 11,000 kg ha<sup>-1</sup>) 施肥した。この肥料灰には、チェルノブイリ事故に由来するセシウム-137 が 1kg あたり 1,100～3,200 ベクレル含まれていた。フィンランドの泥炭層では、表面 0～10 cm 層のセシウム-137 濃度が 10～20 cm 層よりも高い傾向があるが、これは主に 1986 年のチェルノブイリ事故に依る影響であり、1950 年代からの核実験によるものは僅かと考えられている。施肥の翌年（1998 年）に測定したところ、灰を 10,500 kg ha<sup>-1</sup> 施肥した区における表層泥炭でのセシウム-137 は乾燥重量 1 kg あたり 210 ベクレルと、調べた中で最も高い値を示した。これは施肥していない対象区の表層に対して 3 倍以上高い値であった。一方、いずれの植物でも、セシウム-137 濃度は対象区と比べて増加せず、セイヨウアカマツの針葉では、施肥翌年のセシウム-137 濃度はむしろ減少傾向であった。本論文の結果は、木材灰を肥料として用いるリサイクルシステムは、植物におけるセシウム-137 の高濃度化を起こさないことを示唆するものである。

### 【61】植物による放射性セシウムの吸収：そのメカニズム、制御及び応用に関するレビュー

- 英語タイトル：Plant uptake of radiocaesium: a review of mechanisms, regulation and application
- 著者名：Zhu YG, Smolders E..
- 雑誌名：Journal of Experimental Botany, 51, 1635-1645(2000)
- 論文種別：総説
- 核種：セシウム-134、セシウム-137
- 研究対象：農産物、環境
- キーワード：radiocaesium, potassium, ion competition, plant uptake, phytoremediation
- 索引用キーワード：放射性セシウム、植物、吸収、カリウム、ファイトレメディエーション
- 引用図表点数：図 2 点、表 4 点

#### 【要約】

本論文では、植物による放射性セシウムの吸収に影響を及ぼす様々な要因のうち、特にカリウム輸送系の重要性について述べている。放射性セシウムによる土壌汚染は長期に渡って放射線の影響を与える。なぜなら、放射性セシウムは食物連鎖を通して容易にヒトに移行するからであり、中でも植物による吸収は、土壌からヒトへの放射性セシウム移行の主要経路となっている。放射性セシウムの吸収をコントロールする植物関連因子中、カリウムがセシウム吸収に最大の影響を及ぼす。放射性セシウムの吸収は、植物根細胞膜においては主に 2 つの輸送経路（カリウムイオントランスポーターとカリウムイオンチャネル）によって行われるものと考えられる。外部のカリウム濃度が低い場合（0.3 mM 未満）には、カリウムイオントランスポーターがセシウムの取り込みを行うと考えられ、そこではカリウムイオンとセシウムイオンはあまり区別されない（各イオンとの親和性は、K > Cs > Rb > Na > NH<sub>4</sub>）。一方、外部カリウムイオンが高濃度（0.5・1 mM）になると、その取り込みはカリウムトランスポーターからカリウムに対して高い選択性を持つカリウムイオンチャネル（K > Rb > Na > Cs）に切り替わる。このように、植物において放射性セシウムはカリウム輸送系によって吸収される可能性が高いが、セシウム：カリウム比は植物によって一定ではない。内部セシウム濃度（乾燥重量）は、同条件下で育った異なる植物種間で 20 倍程度の差が出る。ファイトレメディエーション（植物による環境浄化）は放射性セシウム汚染土を除染するための可能な選択肢だが、それには何十年もの長い年月を要すると共に大量の廃棄物を生み出すことが大きな問題点となる、と論じている。

## 【62】 ヨーロッパアカマツ植林が、チェルノブイリ赤い森の廃棄物埋設地点からのセシウム-137 及びストロンチウム-90 の長期的な再循環に与える影響

- 英語タイトル : Impact of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) plantings on long term  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  recycling from a waste burial site in the Chernobyl Red Forest
- 著者名 : Thiry Y., Colle C., Yoschenko V., Levchuk S., Hees MV, Hurtevent P., Kashparov V.
- 雑誌名 : Journal of Environmental Radioactivity, 100, 1062-1068(2009)
- 論文種別 : 原著論文
- 核種 : セシウム-137、ストロンチウム-90
- 研究対象 : 環境
- キーワード : Radiocaesium, Radiostrontium, Forest, Biological cycle, Waste, Remediation, Afforestation
- 索引用キーワード : チェルノブイリ、ヨーロッパアカマツ植林、移行、循環、蓄積
- 引用 の 図 表 点 数 : 図 3 点、表 3 点

### 【要約】

本論文では、チェルノブイリのいわゆる赤い森（広葉樹林）中の廃棄物埋設地点において、ヨーロッパアカマツ植林による放射性物質（セシウム-137 及びストロンチウム-90）の移行・循環を調査している。廃棄物埋設溝（No.22）で 15 年間生長した平均的樹木の地上部バイオマスには、埋設溝外でのものと比較して、1.7 倍のセシウム-137 及び 5.4 倍のストロンチウム-90 が蓄積しており、埋設廃棄物質に含まれる 0.024 % のセシウム-137 及び 2.52 % のストロンチウム-90 に相当すると見積もっている。樹木が埋設溝内のストロンチウム-90 及びセシウム-137 を吸い上げる能力は、一年あたり最大 0.82 % 及び 0.0038 % であると報告している。計算モデルを用いた評価によると、最大のストロンチウム-90 の循環が植林後 40 年で起こり、樹木の生長サイクルを通じて、埋設溝内ストロンチウム-90 の 12 % が表層土に移行し、7 % が樹木中に保持されると予測している。

## 【63】 植物におけるセシウム-134 の取り込みの土壌特性及び時間との関係

- 英語タイトル : Plant uptake of  $^{134}\text{Cs}$  in relation to soil properties and time
- 著者名 : Soudek P., Tykva R., Vanek T.
- 雑誌名 : Journal of Environmental Radioactivity, 59, 245-255(2002)
- 論文種別 : 原著論文
- 核種 : セシウム-134
- 研究対象 : 農産物、環境
- キーワード :  $^{134}\text{Cs}$ , Transfer factor, Flux, Exchangeable K and  $\text{NH}_4$ , Time, Soil
- 索引用キーワード : 移行係数、吸収量、フラックス、ヒマワリ、大豆
- 引用 の 図 表 点 数 : 図 4 点、表 4 点

### 【要約】

植物によるセシウムの取り込みは、その植物が生育する土壌の性質に大きく影響を受ける。本論文は、ヒマワリ及び大豆について、土壌の性質と  $^{134}\text{Cs}$  の取り込みとの関係を調べることを目的とし、これらの植物を 7 種類の異なる土壌でポット栽培し、セシウム-134 を添加して植物体への取り込みを経時的に調べたものである。 $^{134}\text{Cs}$  の取り込みは、土壌から植物への移行係数 (transfer factor, TF,  $\text{Bq kg}^{-1} \text{ plant/Bq kg}^{-1} \text{ soil}$ ) 及び 1 ポットにおける 1 日当たりの吸収量 (フラックス,  $\text{Bq pot}^{-1} \text{ day}^{-1}$ ) から検討した。その結果、1) セシウム-134 のフラックスと、交換性のカリウムイオン及びアンモニウムイオンの合計濃度から表される土壌の陽イオン交換容量の割合との間には負の相関が見られること、2) 土壌特性がヒマワリと大豆によるセシウム-134 の吸収に及ぼす影響は類似していること、3) セシウム-134 の TF 及びフラックスは、ヒマワリの方が大豆よりも大きい、カリウム含量及び一日あたりのカリウム吸収量に関しては有意な差は見られないこと、などを報告している。これらの結果は、植物におけるセシウムの取り込みをコントロールするための土壌の特性として、交換性のカリウムイオン及びアンモニウムイオンの濃度が重要である事を示唆している。

## 【64】 ヒマワリ、ヨシ、ポプラのセシウム-137 吸収に関する実験室条件下での解析

- 英語タイトル : Laboratory analyses of  $^{137}\text{Cs}$  uptake by sunflower, reed and poplar
- 著者名 : Soudek P., Tykva R., Vanek T.
- 雑誌名 : Chemosphere, 55, 1081-1087(2004)
- 論文種別 : 原著論文



- 核種：セシウム-137
- 研究対象：農産物
- キーワード：Radiophytoremediation,  $^{137}\text{Cs}$ , Potassium ions, Ammonium ions, *Phragmites australis*, *Helianthus annuus*, *Populus simonii*
- 索引用キーワード：ヒマワリ、ヨシ、ポプラ、セシウム吸収
- 引用図表点数：図 4 点、表 3 点

#### 【要約】

本論文ではヒマワリ、ヨシ、ポプラのセシウム-137 の吸収の違いについて報告している。 $0.5 \text{ mM}$  ( $14 \text{ MBq} \cdot \text{l}^{-1}$ ) の塩化セシウムを含む液で 32 日間の水耕栽培を行い、その間の植物内部へのセシウムの分布をオートラジオグラフィで、また残りの培養液に含まれる放射性セシウムを液体シンチレーションカウンタで調べた。セシウム-137 の吸収はポプラ、ヨシ、ヒマワリの順で多く、ポプラでは栽培 16 日目で水耕液中のセシウム-137 の 31 % の減少があった。またオートラジオグラフィの結果、ヒマワリとヨシではセシウム-137 が葉や根など全体に蓄積するのに対し、ポプラでは若い葉や葉脈に蓄積する様子が観察された。植物体内への吸収に関して、非放射性セシウム（セシウム-133）と放射性セシウム（セシウム-137）の違いはみられなかった。さらにヒマワリについては、水耕液中のカリウムイオン ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ ) やアンモニウムイオン ( $\text{NH}_4\text{Cl}$  と  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  の濃度が 2:1 の液を使用) の影響も調べた。カリウムイオンについては、 $\text{K}_2\text{SO}_4$  が  $1 \text{ mM}$  の場合に他の場合の 2 倍以上の 14.2 % のセシウムの吸収が確認された。一方アンモニウムイオンの影響としては、水耕液の  $\text{NH}_4\text{Cl}$  が  $6 \text{ mM}$  で  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  が  $3 \text{ mM}$  の場合に最大の吸収 (13.2 %) が確認された。これらの最大吸収条件は、植物の成長率が最大となる条件に一致した、と報告している。

### 【65】 アイルランドの半自然生態系における植物中の放射性セシウム濃度の長期的傾向

- 英語タイトル：Long-term trends of radiocesium activity concentrations in vegetation in Irish semi-natural ecosystems.
- 著者名：Synnott HJ., McGee EJ., Rafferty B., Dawson DE.
- 雑誌名：Health Physics, **79**(2), 154-61 (2000)
- 論文種別：原著論文
- 核種：セシウム-137
- 研究対象：農産物
- キーワード： $^{137}\text{Cs}$ , contamination, environment, food chain, fallout
- 索引用キーワード：
- 引用文献の図表点数：図 1 点、表 3 点

#### 【要約】

本論文は、半自然生態系における様々な植物での長期にわたる  $^{137}\text{Cs}$  の実効半減期 (Tef) を評価することで、全ての生態系における Tef 値との関連性を検討することを目的としている。1989 から 1997 年の夏期間、アイルランドの湿地生態系 4 ヲ所における植物種の  $^{137}\text{Cs}$  濃度を調べた。 $^{137}\text{Cs}$  濃度の長期的傾向を評価するため、各地域で優先種あるいは大量に自生している植物種を採集した。すべての採集地域において、植物種における全般的な  $^{137}\text{Cs}$  濃度の減少を観察した。長期間の  $^{137}\text{Cs}$  濃度の最も早い減少がコケ類と地衣類でみられ、Tef は 2.2 から 10.7 年であることを示した。エリコイド菌根では一つの例外を除いて  $^{137}\text{Cs}$  濃度の長期にわたる有意な減少がみられ、Tef は 3.5 から 12.8 年で、イグサ類 (9.3 から 12.8 年) と同様の値を示していた。スゲやイネ科植物では  $^{137}\text{Cs}$  濃度の減少が最も遅く、ばらつきがみられ、Tef は 2.9 から 59.8 年であった。これらの植物種による  $^{137}\text{Cs}$  濃度の減少の違いは、基礎生理学的及び生態学的な差異 (土壌、栄養の取り込み、生育特性) によるものである、と述べている。また、本研究での幾つかの調査地点での放牧羊における  $^{137}\text{Cs}$  濃度の予備的評価は、植物種で見出された  $^{137}\text{Cs}$  濃度の減少が放牧羊の  $^{137}\text{Cs}$  レベルに反映されることを示すものであると、述べている。

### ⑦ 地衣類・コケ類について 【66】 ～ 【71】

### 【66】 中央スウェーデンにおける地衣類 (*Cladonia alpestris*) 試料中のヨウ素-129 及びセシウム-137 濃度レベルと起源

- 英語タイトル：Level and origin of  $^{129}\text{I}$  and  $^{137}\text{Cs}$  in lichen samples (*Cladonia alpestris*) in central Sweden
- 著者名：.Gomez-Guzman JM, Lopez-Gutierrez JM, Holm E., Pinto-Gomez AR
- 雑誌名：Journal of Environmental Radioactivity, 102(2), 200-205(2011)
- 論文種別：原著論文
- 核種：セシウム-137、ヨウ素-129
- 研究対象：農産物、環境(土壌・水等)
- キーワード：accelerator mass spectrometry, acid digestion
- 索引用キーワード：地衣類、経時変化、チェルノブイリ、地上核兵器実験
- 引用の図表点数：図 7 点

#### 【要約】

地衣類は藻類と菌類の相利共生体 (symbiosis) であり、これらは数十年来、重金属、有機化合物や放射性元素の大気降下物に対する生物指標として使用されている。特に *Cladonia alpestris* と *Cladonia rangiferina* は、地衣類→トナカイ→人の食物連鎖において重要な意味を持つ。本論文では大気中の核兵器爆発実験やチェルノブイリ原発事故からの放射性降下物で汚染された地衣類サンプル(*Cladonia alpestris*)のヨウ素-129 濃度を調査した結果を報告した。中央スウェーデンの Lake Rogen 地区 (緯度 62.3 度、東経 12.4 度) で 1961 年～1975 年と 1987 年～1998 年の期間に収集した、異なった堆積層の検体を、加速器質量分析計 (accelerator mass spectrometry: AMS) を用いて解析した。以前測定したセシウム-137 の分析結果も、本研究で利用した。ヨウ素-129 の濃度範囲は、1961 年の最上層部分の  $(0.95 \pm 0.13) \times 10^8 \text{ at/g}$  から 1987 年の最下層部分の  $(14.2 \pm 0.5) \times 10^8 \text{ at/g}$  であった。 $^{129}\text{I}/^{137}\text{Cs}$  原子比は、核兵器実験の降下期間である 1961 年～1975 年に収集した地衣類サンプルで、0.12～0.27 の間であった。1987 年～1998 年の間に収集された地衣類のサンプルにおいて、セシウム-137 濃度の変化は、チェルノブイリの放射性降下物を反映していた。ただしヨウ素-129/セシウム-137 原子比から判断すると、同事故による地衣類へのヨウ素-129 の蓄積は予想したよりも大きくはなかった。地衣類層中の放射性物質の垂直分布について見ると、ヨウ素-129 は主に最下層に蓄積される一方、セシウム-137 は地衣類の最上位層に多く検出された。本論文は、地衣類は「地衣類→トナカイ→ヒト」の食物連鎖の最初の段階に位置し、トナカイは上層部の苔を摂食することから、この垂直分布に関する結果は重要な意味を持つと結論している。

### 【67】 25 年間に及ぶ陸生及び水生生物による放射性核種のモニタリング

- 英語タイトル：25-y study of radionuclide monitoring with terrestrial and aquatic biomonitors
- 著者名：Palms J., Patrick R., Kreeger D., Harris C.
- 雑誌名：Health Physics, 92(3), 219-225(2007)
- 論文種別：原著論文
- 核種：ヨウ素-131
- 研究対象：環境(土壌・水等)
- キーワード：biological indicators, Chernobyl, radionuclide, water, surface
- 索引用キーワード：サスケハナ原子力発電所、チェルノブイリ、スリーマイル
- 引用の図表点数：表 6 点

#### 【要約】

原子力発電所周辺でガンマ線を放つ放射性核種濃度を水域と陸上で 25 年間モニターした結果をまとめた論文である。この種のものでは、長期にわたって実施され、かつ独立に検証された唯一の環境調査である。放射線影響を受けやすいもので、環境に関与し、生物濃縮しているものとして、着生藻類、凝集沈殿物、地衣類、腐植質を対象とした。これらは PPL 社サスケハナ原子力発電所近くのサスケハナ川とその周辺地域のモニタリングに用いられた。試料採取は最初の原子炉立ち上げ以前の 1979 年に開始し、その後 24 年間続けられ、この間に約 300 ヶ月分に及ぶデータセットが収集された。監視は 1979 年 3 月 28 日に起きたスリーマイル島事故の 2 ヶ月後から開始され、スリーマイル島下流の河川監視所のデータも含まれている。継続的な測定を行い、1986 年にはチェルノブイリからの放射性降下物も検出した。得られた結果から、着生藻類がモニタリングに最も適していることが示唆された。また、放射性核種によって吸着しやすい生物が異なることも判明した。地衣類と腐食質は放射性核種検出器として本質的に同等である。放射性ヨウ素-131 は PPL 原発からほとんど放出されていないものの、河川には混入していた。この放射性ヨウ素-131 は河川全体にわたって均一に分布しているわけではなく、より高濃度の放射性ヨウ素-131 は都市部近辺に多いことが明らかとなった。得られたデータによると、PPL サスケハナ原発から放出される放射性核種が、環境や住民の健康に負の影響を及ぼすものではないことが示唆された。この研究

全体は背景放射線のデータベースとして有用であろう、としている。

## 【68】天然及び人工放射性核種の生物への蓄積を長期間モニタリングする際のモデルとしての地衣類の有効性

- 英語タイトル：The potential of lichens as long-term biomonitors of natural and artificial radionuclides
- 著者名：Kirchner G, Dailland O
- 雑誌名：Environmental Pollution, 120, 145-150(2002)
- 論文種別：原著論文
- 核種：セシウム-137、ベリリウム-7、放射性ウラン核種、トリウム崩壊系列
- 研究対象：農産物
- キーワード：natural radionuclides, Chernobyl fallout cesium, lichens, biomonitors, retention half-life
- 索引用キーワード：地衣類、蓄積、生物学的半減期、チェルノブイリ
- 引用の図表点数：図 1 点、表 2 点

### 【要約】

本論文では、セシウム 137 を始めとする放射性核種の生物への蓄積を長期間モニタリングする際のモデルとしての地衣類の有効性を調べている。ここで測定されている核種は、チェルノブイリ事故由来のセシウム-137、宇宙線由来のベリリウム-7、天然放射性ウラン核種及びトリウム崩壊系列である。測定サンプルである地衣類はフランスの 2 つの地域で採取され、その中には石炭火力発電所から様々な距離に位置する地点及びウラン鉱石残渣の廃棄施設に近い地点に由来するものが含まれている。1994 年に採取された地衣類の解析から、放射性ウラン核種及びトリウム崩壊系列の放射線濃度は、火力発電所からの距離に比例して減少すること、ウラン残渣廃棄施設の近郊では廃棄されてからの時間経過と共に減少することが報告されている。さらには、チェルノブイリ事故後 10 年以上も経過しているにも関わらず、全てのサンプルからセシウム-137 が検出されることも示しており、その測定結果を基に本核種の生物学的半減期を  $2.6 \pm 1.2$  年であると推定している。一方、放射性鉛-270 の生物学的半減期は  $0.7 \pm 0.1 \sim 3.3 \pm 0.7$  年であると計算されている。

本論文は、放射性核種の生物への蓄積を評価する際のモデルとしての地衣類の有効性を示唆するものである。

## 【69】半自然生態系のコケ類へのウラン-238、ラジウム-226、トリウム-232、カリウム-40 及びセシウム-137 の移行

- 英語タイトル：Quantification of transfer of  $^{238}\text{U}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  and  $^{137}\text{Cs}$  in mosses of a semi-natural ecosystem
- 著者名：Dragovic S., Mihailovic N., Gajic B
- 雑誌名：Journal of Environmental Radioactivity, 101, 159-164(2010)
- 論文種別：原著論文
- 核種：ウラン-238、ラジウム-226、トリウム-232、カリウム-40、セシウム-137
- 研究対象：環境
- キーワード：Mosses, Natural radionuclides, Radiocaesium, Concentration ratio
- 索引用キーワード：放射性核種、コケ類、移行、濃縮比
- 引用の図表点数：図 2 点、表 7 点

### 【要約】

本論文では、陸上生物相における放射性核種の移行データの蓄積を目的として、コケ類におけるウラン-238、ラジウム-226、トリウム-232、カリウム-40 及びセシウム-137 の濃縮比を測定している。また、放射性核種の濃縮比と土壌の物理化学的特性との関連性についても調べている。本論文で得られた濃縮比のデータは、放射性核種、特に天然放射性核種の移行パラメーターのデータベースに有益な情報を追加することとなる、と述べている。

## 【70】アーバスキュラー菌根菌がタルウマゴヤシ中の放射性セシウム蓄積を減少させる

- 英語タイトル：Arbuscular mycorrhizal fungi decrease radiocaesium accumulation in *Medicago truncatula*
- 著者名：Gyuricza V., Declerck S., Dupré de Boulois H.
- 雑誌名：Journal of Environmental Radioactivity, 101(8), 591-596 (2010)

- 論文種別：原著論文
- 核種：セシウム-137、セシウム-134
- 研究対象：農産物
- キーワード：radiocesium, potassium, Arbuscular mycorrhizal fungi, in vitro, phytostabilisation
- 索引用キーワード：
- 引用文献の図表点数：図 1 点、表 4 点

#### 【要約】

植物への放射性セシウムの取り込みや蓄積を減少させるために、植物由来微生物の特徴を報告した研究はいくつかあるが、放射性セシウムを取り込んだ菌根植物中でのアーバスキュラー菌根菌（AMF）の役割は、まだ明確にされていない。これはおそらく他の土壤微生物、土壌の特徴や植物の栄養状態、またはカリウムのような類似した化学物質の要因が考えられるためである。本研究は、タルウマゴヤシをモデル植物として AMF の根定着及び添加カリウム濃度による影響を調べることで、放射性セシウムの植物への蓄積や根から芽への移行分布の基礎的な知見として *in vitro* 系での培養を用いて検討したものである。AMF の根定着によってタルウマゴヤシ中での放射性セシウムの蓄積が減少し、根から芽への放射性セシウムの移行も減少することが明らかとなった。細胞外のカリウム濃度が増えることで AMF の根定着にかかわらず放射性セシウムの蓄積を減少させるが、放射性セシウムの根から芽への移行には影響を及ぼさなかった。さらに植物への放射性セシウムの蓄積において、AMF による根定着はカリウム供給量増加よりも優れた効果が得られた。カリウム供給と AMF の根定着の組み合わせは放射性セシウムの取り込みと放射性セシウムの根から芽への移行を減少させるために有効であることを示唆している。また、本研究で用いた *in vitro* 系での培養は放射性セシウムの蓄積下での AMF の効果を調べ、この過程のメカニズムを解明するために有用なツールであるとしている。これらの結果から、カリウムと組み合わせた AMF は植物中での放射性セシウム取り込みと根から芽への移行を減少させるために重要な役割を果たし、それによって、放射性セシウムによって汚染された地域の植物管理を改良できる可能性がある、と述べている。

### 【71】森林生態系での放射性核種の移行と循環における菌類の役割

- 英語タイトル：The role of fungi in the transfer and cycling of radionuclides in forest ecosystems.
- 著者名：Steine M., Linkov I., Yoshida S.
- 雑誌名：Journal of Environmental Radioactivity, **58**(2-3), 217-241 (2002)
- 論文種別：総説
- 核種：セシウム-137
- 研究対象：環境（森林）
- キーワード：fungi, mushroom, mycorrhiza, radionuclide, cycling, transfer factor, modeling, forest radioecology
- 索引用キーワード：
- 引用文献の図表点数：図 1 点

#### 【要約】

安定同位体及び放射性同位体の移行や取り込みメカニズムとその過程の知見はまだ少ない。土壌から植物もしくは菌体への放射性核種の移行を定量するために移行係数と濃度の比率はよく用いられている。森林の生態系において放射性核種の移行プロセスとその後の経過を決定する最も重要な構成要因の一つが菌類である。菌類は栄養成分の循環、取り込みと移行において重要な役割を担っており、森林土壌の有機表層における放射性セシウムの長期残留に大きな影響を与えていると考えられている。本総説は栄養成分と放射性核種の移行と循環に係わる菌類の役割、特に菌根共生における概要を述べている。土壌-菌類と土壌-植物への移行係数の優位点と限界点を含めた定義を検討し、土壌での放射性核種を定量するための実験手法と長期間における放射性核種の変化について考察している。現在、森林土壌における放射性核種の生体での利用能について定量するための十分な手法はない。森林生態系における安定同位体セシウムの現在の分布は、沈着後の長期にわたった放射性セシウムの漸近的分布の可能性を示している。従って、現在の安定同位体セシウムの分布は、森林土壌中の放射性セシウムの長期的な可用性を明らかにするかもしれない、と述べている。菌根による放射性核種や栄養成分の保持に関する知見だけでなく、森林生態系での放射性核種の取り込みや移行をモデル化するために必要な広範な基礎知見に関する更なる研究が必要である、としている。

## 【72】放射線汚染食品と住民の被曝線量

- 英語タイトル：Risk assessment: Radioactive contaminated food products and exposure dose of the population
- 著者名：Nadezhda V. Goncharova, Darya A. Bairasheuskaya
- 雑誌名：NATO Security through Science Series, Ecological Risk Assessment and Multiple Stressors, 6, 181-189(2006)
- 論文種別：原著論文
- 核種：セシウム-137
- 研究対象：セシウム-137
- キーワード：土壌汚染、農産物
- 索引用キーワード：土壌汚染、農産物
- 引用の図表点数：表 5 点

### 【要約】

チェルノブイリの原発事故によって、土壌がセシウム-137 に汚染されたベラルーシの研究報告書である。ベラルーシ国内で 2 つの研究地点を選択し、3 つのシステム（農場、家庭菜園、森・川）で生産された農産物と、地元住民への影響について考察した。地元住民の放射性セシウム総摂取量のうち、15～60%は農産物に由来した。調査対象者の食生活、農作物を生産する土壌、調査地点の気象条件など、様々な要因を考慮した研究が必要であると結論している。

## 【73】トナカイにおける放射性セシウムの吸収、保持及び組織分布：食事及び放射性セシウム起源の効果

- 英語タイトル：Absorption, retention and tissue distribution of radiocaesium in reindeer: effects of diet and radiocaesium source
- 著者名：Skuterud L., Pedersen O., Staaland H., Roed KH, Salbu B., Liken A., Hove K..
- 雑誌名：Radiation and Environmental Biophysics, 43, 293-301(2004)
- 論文種別：原著論文
- 核種：セシウム-134
- 研究対象：畜産物
- キーワード：放射性セシウム、吸収、生体利用効率、保持率、トナカイ
- 索引用キーワード：放射性セシウム、吸収、生体利用効率、保持率
- 引用の図表点数：図 5 点、表 4 点

### 【要約】

本論文では、チェルノブイリ原発事故によって生じた放射性セシウムのトナカイへの影響を調べている。トナカイ(Rangifer tarandus) 足肉 (calves) における放射性セシウムの吸収及び保持について、異なる割合の地衣類、濃厚飼料及び化学形態の異なる放射性セシウム（塩化セシウム-134 の水溶液もしくはチェルノブイリ事故で生じた放射性降下物）を含む餌を与えたグループ間で比較した。1 日当たりの放射性セシウム降下物の摂取量は 15-23 kBq であったのに対し、塩化セシウム-134 の摂取量は 70-1,160 kBq に及んだ。地衣類のみを食事として与えられた動物における赤血球中放射性セシウムの半減期は、地衣類と濃厚飼料の混合食を与えられた動物よりも 40% 超過した ( $17.8 \pm 0.7$  日に対し、 $12.7 \pm 0.4$  日)。放射性セシウム半減期における尿及び便排泄物の割合は、それぞれ約 60%及び 40%である。トナカイ肉への移行係数 ( $F(f)$ ) は、放射性セシウム降下物の場合  $0.25 \pm 0.01$  (日/kg)、塩化セシウム-134 の場合、 $1.04 \pm 0.03$  (日/kg) と見積もられ、このことは、放射性セシウムの生体利用効率及び保持率の両方が異なることを反映している。さらに、1988 年の地衣類におけるチェルノブイリの放射性セシウムの生体利用効率は、塩化セシウム-134 と比較し、約 35%であると見積もられている。

## 【74】チェルノブイリ事故に伴うセシウム-137 放射性降下物のデータを活用した食物連鎖モデルの検証及び農業分野における対応措置の有効性に関する考察

- 英語タイトル：Testing of a foodchain model using Chernobyl  $^{137}\text{Cs}$  fallout data and considering the

effect of countermeasures

- 著者名：Ould-Dada Z.
- 雑誌名：Science of the Total Environment, 301, 225-237(2003)
- 論文種別：原著論文
- 核種：セシウム-137
- 研究対象：農産物、畜産物
- キーワード：Chernoby, <sup>137</sup>Cs, foodchain, countermeasures SPADE, Dose assessment Uncertainly, Biomass
- 索引用キーワード：チェルノブイリ、セシウム-137、食物連鎖、SPADE、摂取評価
- 引用の図表点数：図 11 点、表 4 点

#### 【要約】

本論文では、チェルノブイリ事故による汚染が大きかったロシアの地域において、10 年間（1986～1996 年）に亘って収集されたセシウム-137 放射性降下物のデータを、IAEA の「BIOMASS プログラム」に適用することにより、放射線学的評価の信頼性について検証を行った結果を報告している。結論として、陸上における食物連鎖モデルの一つである「SPADE」が、農業分野における対応策のシミュレーション及び有効性の評価に利用できることが実証された、としている。

### 【75】1998 年から 2008 年の期間の、南部ドイツ地域に生息するイノシシ（wild boar）のセシウム-137 汚染濃度の経時変化

- 英語タイトル：Time-dependency of the <sup>137</sup>Cs contamination of wild boar from a region in Southern Germany in the years 1998 to 2008
- 著者名：Semizhon T., Putyrskaya V., Zibold G., Klemm E..
- 雑誌名：Journal of Environmental Radioactivity, 100, 988-992(2009)
- 論文種別：原著論文
- 核種：セシウム-137
- 研究対象：畜産物
- キーワード：wild boar, time-dependency
- 索引用キーワード：イノシシ、ノロジカ、キノコ
- 引用の図表点数：図 3 点、表 2 点

#### 【要約】

チェルノブイリ事故後、南部ドイツのいくつかの地域に生息するイノシシのセシウム-137 汚染レベルは、未だに数千 Bq/kg を超えている。森林植物、きのこ及びノロジカ（roe deer）肉におけるセシウム-137 の濃度は、長期間で著しく減少したが、イノシシにおいては、ここ 10 年間の濃度が依然として一定している。本論文は、1998 年から 2008 年までの間に、Landkreis 地区のラーフェンスブルクで捕獲した 656 頭のイノシシの筋肉を分析した結果を報告している。セシウム-137 の放射能濃度は、5 未満～8,266 Bq/kg と著しく変動しており、それが季節パターンに従っていることは、食餌習慣、飼料の利用効率、気象条件及びイノシシ生体内でのセシウム-137 の特異的な動態などに起因するものと考えられた。本論文は「ラーフェンスブルク地区に生息する野生イノシシに関する土から筋肉への移行係数（aggregated transfer factor）は、2000 年から 2008 年までの間に 0.008 から 0.062 m<sup>2</sup>/kg に変化した」と報告している。

### 【76】放射性セシウムの起源が放射性降下物のトナカイ肉への移行に与える影響

- 英語タイトル：Effect of origin of radiocaesium on the transfer from fallout to reindeer meat
- 著者名：Birgitta Ahman, Simon M. Wright, Brenda J. Howard
- 雑誌名：Science of the Total Environment, 278, 171-181(2001)
- 論文種別：原著論文
- 核種：セシウム-137
- 研究対象：畜産物
- キーワード：radiocaesium, reindeer meat, effective half-lives, Chernobyl, global fallout
- 索引用キーワード：トナカイ、チェルノブイリ、スウェーデン
- 引用の図表点数：図 3 点、表 5 点

#### 【要約】

スウェーデン国内 5 地域におけるトナカイの放射性セシウム汚染のデータ及び放射性セシウムの補間堆積データを使用し、トナカイ肉への移行の空間的変動を数値化し、異なる地域におけるこの数値が時間とともにどのように変化するかを考察した論文である。また、世界的な放射性降下物あるいはチェルノブイリの放射性降下物による汚染の程度は地域により異なっていたため、放射性セシウム降下物の起源または年代 (age) がトナカイ肉への移行に与える影響についても解明することができた。放射性セシウムのトナカイ肉への移行については、著しい地域差があった。チェルノブイリ起源のセシウム-137 が少なかったスウェーデン北部の 2 地域では、チェルノブイリからの放射性物質の降下開始後の最初の年の食肉処理最盛期に算出した総移行係数 (aggregated transfer coefficient) (Tag) は、低かった (0.15 及び 0.36 m<sup>2</sup>/kg、1-4 月)。チェルノブイリ由来の放射性堆積物が大部分を占めたスウェーデン中央部の 2 地域 (総堆積 (total deposition) の各 83% 及び 93%) で冬季 (1-4 月) に算出した平均 Tag 値は、それぞれ 0.78 m<sup>2</sup>/kg と 0.84 m<sup>2</sup>/kg であり、トナカイ 1 頭の最大値は 1.87 m<sup>2</sup>/kg であった。初秋から晩冬にかけてトナカイの食餌が汚染の少ない維管束植物から、より汚染の多い地衣類に変化することを受け、Tag 値は 3 倍に増加した。1986 年から 2000 年にかけてのトナカイ肉中のセシウム-137 の減少は地域によって異なり、チェルノブイリ起源の降下物が少なかった北部 2 地域では、実効半減期 (Tef) がより長く (それぞれ 11.0 及び 7.1 年)、その他の 3 地域では半減期がより短かった (3.5-3.8 年)。この観測結果は、チェルノブイリ起源の降下物が最も少ない地域で、初秋における減少が見られなかったことも含め、中長期にわたり土壌中の放射性セシウムが徐々に、しかし、可逆的に固定する (fixation) という理論を支持するものである。これらの結果より、セシウム-137 のトナカイ肉への移行の程度及びその時間経過による減少は、放射性セシウムの起源の違いにより影響を受けること、また、更なる事故の際には、それ以前の汚染が放射性セシウムの移行に重大な影響を与える可能性があることが明らかになった、としている。

## 【77】セシウムを実験的に添加した場合に観察されるため池中の異なる栄養段階の水生生物によるセシウムの蓄積

- 英語タイトル : Cesium accumulation by aquatic organisms at different trophic levels following an experimental release into a small reservoir
- 著者名 : Pinder III JE, Hinton TG, Taylor BE, Whicker FW.
- 雑誌名 : Journal of Environmental Radioactivity, 102, 283-293(2011)
- 論文種別 : 原著論文
- 核種 : セシウム-133 (安定同位体)
- 研究対象 : 水産物
- キーワード : Cesium, Water column, Plankton, Periphyton, Invertebrates, Fish
- 索引用キーワード : 食物連鎖、蓄積、生物濃縮、魚
- 引用の図表点数 : 図 4 点、表 4 点

### 【要約】

本論文では、池や湖などの浅瀬におけるプランクトンを起点とした食物連鎖及び付着藻類を起点とした食物連鎖におけるセシウムの動態を予測することを目的として、ため池に安定同位体セシウム-133 を添加し、各生物相における本元素の濃度を測定している。ここでは、セシウムの取り込み及び排出の速度パラメーターを水や生物相におけるセシウム-133 の濃度を時系列で測定することにより概算し、このパラメーターを、各生物の体内におけるセシウム-133 の最大濃度、最大濃度到達時間、蓄積率の推測に利用している。その結果、プランクトンを餌とするボウフラの一種 (insect larva *Chaoborus punctipennis*) 及び付着藻類を餌とするカタツムリの一種であるアメリカヒラマキガイ (*Helisoma trivolvis*) ではセシウム-133 添加後の最初の 14 日以内にその濃度が最大となった。一方、魚類のブルーギル (*Lepomis macrochirus*) 及びブラックバス (*Micropterus salmoides*) ではセシウム-133 添加後 170 日より後に蓄積濃度が最大となった。プランクトンを起点とする食物連鎖と付着藻類を起点とする食物連鎖では、セシウム-133 の蓄積率は異なっていたが生物濃縮は同程度であった。本実験により、魚におけるセシウム-133 の生物濃縮も示されたが、魚を餌としないブルーギルは魚食性であるブラックバスの三分の一の蓄積率であった。また、ブラックバスのセシウム-133 蓄積率は付着藻類やアメリカヒラマキガイよりも大きい、体重当たりの最大濃度はブラックバスよりも付着藻類やアメリカヒラマキガイの方が大きい、と報告している。本論文で得られた結果は、生態系におけるセシウムの生物濃縮を予測するのに利用出来る、と結論している。

## 【78】チェルノブイリ放射性核種による食品及び人体の汚染

- 英語タイトル : Chernobyl' s Radioactive Contamination of Food and People
- 著者名 : Nesterenko AV, Nesterenko VB, Yablokov AV.



- 雑誌名：Annals of the New York Academy of Sciences,1181,289-302(2009)
- 論文種別：総説
- 核種：セシウム-137、セシウム-134、ヨウ素-131、ストロンチウム-90
- 研究対象：農産物、畜産物、水産物
- キーワード：Chernobyl, dose burden, radionuclide decorporation, food, human body
- 索引用キーワード：チェルノブイリ、食品、汚染、内部被曝
- 引用の図表点数：図 10 点、表 8 点

#### 【要約】

本総説では、チェルノブイリ事故による欧州諸国での食品の放射性物質汚染状況と食品を介した人体の汚染について概説している。多くの欧州諸国では、乳製品、野菜、穀物、肉、及び魚に含まれるヨウ素-131、セシウム-134、セシウム-137、ストロンチウム-90 等の放射性核種が、チェルノブイリ事故直後に急増 (1,000 倍相当) した。1991 年までに、合衆国が欧州諸国から輸入した食品の多くに測定可能な量のチェルノブイリ事故に由来する汚染があった。また 2005 年から 2007 年の間にも、ベラルーシのゴメリ、モギレフ、及びブレスト州において、小規模農家が生産した牛乳の 7-8%や他の農産物の 13-16%から、許容基準を越えるセシウム-137 が検出された。2000 年にも、ウクライナのロプノとジトームイル州で収穫された野生のキイチゴときのこにおいて、最大 90%がセシウム-137 の許容基準を超えていた。体重と新陳代謝の違いのため、子供の内部被曝は同じ食事の大人より 3-5 倍高くなる。ベラルーシのゴメリ州ナロヴリャ地区では、1995 年から 2007 年にかけて、子供の最大 90%でセシウム-137 蓄積のレベルが 15-20 Bq/kg より高く、最も高いレベルでは最大 7,300 Bq/kg の蓄積があった。ロシア、ベラルーシ、ウクライナにおけるセシウム-137 とストロンチウム-90 の体内への取り込み量は、1991 年から 2005 年の間でむしろ増加した。現存する放射性降下物の 90%がセシウム-137 であり、その半減期が約 30 年であることから、汚染地区の危険性は今後 3 世紀に渡って続く、と予測されている。

### 【79】ネバダ試験区域における放射性核種の土壌から空气中、野生植物、カンガルーネズミ、放牧牛への移行

- 英語タイトル：Radionuclide Transport from Soil to Air, Native Vegetation, Kangaroo Rats and Grazing Cattle on the Nevada Test Site
- 著者名：Gilbert RO, Shinn JH, Essington EH, Tamura T, Romney EM, Moor KS, O' Farrell TP
- 雑誌名：Health Physics, 55, 869-887(1988)
- 論文種別：原著論文
- 核種：ストロンチウム-90、セシウム-137、プルトニウム-239/240、アメリシウム-241
- 研究対象：農産物、畜産物、環境
- キーワード：Nevada test sites, radionuclides, transfer
- 索引用キーワード：土壌、植物、動物、移行
- 引用の図表点数：図 8 点、表 2 点

#### 【要約】

本論文では、アメリカ合衆国エネルギー省ネバダ応用生態学グループ (NAEG) が、ネバダ核実験場及びその近郊において、ストロンチウム-90、セシウム-137、プルトニウム-239/240、アメリシウム-241 などの土壌に含まれる放射性核種がどの程度動植物に移行するかを測定した結果を報告している。

NAEG は、1970 年から 1986 年にかけて、ネバダ核実験場の兵器試験区域や隣接する区域の環境放射性核種の調査を行った。その際、核分裂実験区域と非分裂実験区域で (1) 土壌粒子のサイズ分布とプルトニウム-239/240 を含む放射性粒子の物理化学的特性、(2) プルトニウム-239/240 の再浮遊率、(3) 超ウラン及び放射性核分裂産物の土壌から野生植物、カンガルーネズミ、放牧牛への移行について調査した。

平均すると、土壌から大気、野生植物の表面、カンガルーネズミの消化管への超ウラン放射性核種の移行は分裂実験区域よりも非分裂実験区域において大きい値を示した。この結果は調査した非分裂実験区域においては、分裂実験区域よりも再浮遊し吸引されやすい微粒子土壌の割合が多いことを示唆している。

非分裂実験区域のカンガルーネズミの消化管 (内容物含む) や放牧肉牛のルーメン内容物におけるプルトニウム-239/240 の乾燥重量あたりの平均含有量は同等であった。また、非分裂実験区域、分裂実験区域ともに、カンガルーネズミの消化管以外の部位と消化管、消化管と野生植物のプルトニウム-239/240 含有濃度比に統計的有意差はなく同程度であった。一方、非分裂実験区域における消化管以外の内臓と消化管 (ルーメン内容物) のプルトニウム-239/240 含有濃度比は、カンガルーネズミの場合は、放牧肉牛と比較して 30 倍大きい値であり、プルトニウム-239/240 の組織への移行が放牧肉牛よりもカンガルーネズミで顕著であることを示唆している。

分裂実験区域では、カンガルーネズミの消化管以外の部位における放射性核物質の生体利用性がストロンチウム-90>セシウム-137>プルトニウム-238>アメリカシウム-241>プルトニウム-239/240 であることが示唆された。またストロンチウム-90 の消化管からの消化管以外の部位への移行が、他の核種に比べ高いことや、プルトニウム-239/240 が比較的毛皮に移行しやすいことなどが述べられている。

## 【80】チェルノブイリ原子力発電所周辺地域に生息する無脊椎動物中のプルトニウム、セシウム-137 及びストロンチウム-90

- 英語タイトル：Plutonium,  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  in selected invertebrates from some areas around Chernobyl nuclear power plant
- 著者名：Mietelski JW, Maksimova S., Szwalko P., Wnuk K., Zagrodzki P., Blazej S., Gaca P., Tomankiewicz E., Orlov O.
- 雑誌名：Journal of Environmental Radioactivity, 101, 488-493(2010)
- 論文種別：原著論文
- 核種：プルトニウム、セシウム-137、ストロンチウム-90
- 研究対象：環境
- キーワード：plutonium,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ , Chernobyl, invertebrate, radioactive contamination of biota
- 索引用キーワード：チェルノブイリ、無脊椎動物、放射性核種、移行
- 引用の図表点数：図 3 点、表 5 点

### 【要約】

本論文では、チェルノブイリ原子力発電所周辺地域に生息する無脊椎動物の放射能汚染状況を把握することを目的として、コウチュウ、アリ、クモ及びヤスデを含む陸生の無脊椎動物の 20 以上のサンプルの放射性物質（プルトニウム、セシウム-137 及びストロンチウム-90）量を報告している。放射性核種の比率分析より、放射性核種の移行には動物種間の違いがあることを明らかにしている。さらに、Partial Least-Squares 法（PLS）を用いた多変量解析により、高いセシウムの放射線量は主に落葉落枝層の表面に生息しているような比較的小さい生物に多く見られる、としている。これに対し、高いストロンチウムの放射線量は落葉落枝層の中で生息している生物に多く見られること、またプルトニウムについては明確な結果が得られなかったことを報告している。

## 【81】ヒース蜂蜜中のチェルノブイリ事故由来放射性セシウムとその蓄積パターンへの依存度

- 英語タイトル：Chernobyl-derived radiocesium in heather honey and its dependence on deposition patterns.
- 著者名：Fisk S., Sanderson DC.
- 雑誌名：Health Physics, 77(4), 431-435 (1999)
- 論文種別：原著論文
- 核種：セシウム-137
- 研究対象：農産物
- キーワード：Chernobyl, fallout, cesium, food chain
- 索引用キーワード：
- 引用文献の図表点数：図 2 点、表 2 点

### 【要約】

本論文では、1. スコットランド産ヘース蜂蜜中の放射性セシウム濃度に地理学的な変動性がある、2. 検出された放射性セシウムはチェルノブイリ事故に由来する、3. 空気中のガンマ線スペクトルを尺度とした蓄積がいくつかの変動性における主要な要因となる、といった 3 つの仮説について検討することを目的としている。空気中のガンマ線調査データに基づいて、ミツバチの巣から採集したスコットランド産ヒース蜂蜜のガンマ線スペクトルを測定した。すべての蜂蜜で放射性セシウムを含有しており（ $^{137}\text{Cs}$  ;  $43\text{-}680\text{ Bq kg}^{-1}$ ）、 $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$  同位体比はチェルノブイリによって沈着した値と一致した。また、2.5km 以内に位置するミツバチの巣から採集した蜂蜜の  $^{137}\text{Cs}$  濃度は、2 年間続けて土壌に沈着した  $^{137}\text{Cs}$  濃度と高い相関が見られた。 $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$  同位体比と、環境と食物間での放射性核種の定量的な相関関係から最近の原発事故による放射性降下物に比べ、核兵器実験による放射性降下物の寄与はほとんどないことが示唆された。被験者が摂取した蜂蜜に含まれる  $^{137}\text{Cs}$  の体内における残留を調べたところ、ICRP のセシウム代謝モデルと一致していた。今後のモニタリング計画と放射線学的な議論を行うことは重要である、と述べている。

⑨ 野菜・果実について 【82】 ～ 【94】

【82】 セシウム、ストロンチウム及びルテニウムの牧草・野菜への移行に関する動的モデルの構築

- 英語タイトル：Dynamic modeling of the cesium, strontium and ruthenium transfer to grass and vegetables
- 著者名：Renaud P., Real J., Maubert H., Roussel-Debet S.
- 雑誌名：Health Physics, 76, 495-501(1999)
- 論文種別：原著論文
- 核種：セシウム、ストロンチウム、ルテニウム
- 研究対象：農産物
- キーワード：食物連鎖、放射性核種、事故分析、汚染、環境
- 索引用キーワード：食物連鎖、放射性核種、事故分析、汚染、環境
- 引用図表点数：図 2 点、表 2 点

【要約】

1988 年から 1993 年にかけて原子力安全防護研究所は、放射性エアロゾルの偶発的かつ局所的な汚染における野菜への移行に焦点をあてた研究プログラムを実施し、その結果をまとめた論文である。野菜（果菜類、葉菜類及び根菜類）と牧草に関する研究から、汚染経過のさまざまな時点での収穫あるいは挿し木（cuttings）処理におけるセシウム、ストロンチウム及びルテニウムの移行要因を決定することが可能となった。これらの研究成果に基づいて構築した動的モデルで、汚染発生後の数カ月間における野菜及び牧草の放射活性変動を評価することが可能となった。このモデルは原子力事故後に活用される放射線生態学モデル ASTRAL の一部を構成している、と報告している。

【83】 香港で消費される 3 種類の野菜へのセシウム-137 の移行（transfer）の評価

- 英語タイトル：Assessment of the transfer of <sup>137</sup>Cs in three types of vegetables consumed in Hong Kong
- 著者名：Yu KN, Mao SY, Young EC
- 雑誌名：Applied Radiation and Isotopes, 49, 1695-1700(1998)
- 論文種別：原著論文
- 核種：セシウム-137
- 研究対象：農産物
- キーワード：セシウム、放射性同位体、農産物、作物、土壌、野菜、動的食糧連鎖モデル
- 索引用キーワード：<sup>137</sup>Cs、動的食糧連鎖モデル
- 引用図表点数：図 3 点、表 3 点

【要約】

本論文では、香港で消費される 3 種類の野菜、チンゲンサイ (*Brassica chinensis*)、レタス (*Lactuca sativa*)、セロリ (*Apium graveolens*) へのセシウム-137 の移行を表すために、動的食糧連鎖モデル (dynamic food chain model) を構築した。一部のパラメーターはこの研究で得られた実験データから推定した。実験データには、高解像度ガンマ線分光法 (high resolution gamma spectrometry)、各野菜に対する最大作物バイオマス (maximum crop biomass)、乾燥/新鮮重量比 (dry-to-fresh ratio)、土壌のかさ密度、空気中の平均セシウム-137 濃度によって決定される、土壌から各野菜へのセシウム-137 の移行係数 (transfer factor) が含まれている。導出されるパラメーターには、堆積速度と根の取り込み速度、耕作の情報、ロジスティック成長モデル、野菜中の放射性核種濃度が含まれている。動的食糧連鎖モデルを Birchall-James アルゴリズムによって解き、表面直下の土壌、つまり 0.1-25cm の土壌層におけるセシウム-137 濃度と、収穫後の洗浄していない野菜中のセシウム-137 濃度を導いた。モデルとパラメーターの妥当性を確かめるために、実験的に得られた濃度とモデルから計算された濃度を比較し、よく一致することが明らかになった。としている。

【84】 気体放射性ヨウ素及び粒子状放射性セシウムの葉物野菜への乾性沈着

- 英語タイトル：Dry deposition of gaseous radioiodine and particulate radiocaesium onto leafy vegetables

- 著者名：Tschiersch J., Shinonaga T., Heuberger H.
- 雑誌名：Science of the Total Environment, 407, 5685-5693(2009)
- 論文種別：原著論文
- 核種：ヨウ素-131、セシウム-134
- 研究対象：農産物
- キーワード：Gaseous <sup>131</sup>I, Particulate <sup>134</sup>Cs, Leafy vegetables, Dry deposition, Sensitive parameter
- 索引用キーワード：<sup>131</sup>I、<sup>134</sup>Cs、葉物野菜、乾燥沈着
- 引用の図表点数：図 4 点、表 5 点

#### 【要約】

本論文は放射性核種の葉物野菜への沈着について報告している。(放射線事故後のように)乾燥した気象条件で大気中に放出された放射性核種(例えば原子力事故後)は野菜を汚染し、食物連鎖を通じて人体被曝を引き起こすと予想される。この曝露経路を適切に評価できる実験データを得るために、放射性核種の葉物野菜への乾性沈着を、均質かつ制御されたグリーンハウスの環境で検討した。主要な元素形態である気体のヨウ素-131、及び約1マイクロメートル直径の微粒子セシウム-134をトレーサー(追跡子)として用い、これらの放射性核種によってどのような野菜が汚染されやすいかを調べた。また、水で野菜を洗浄することによって、汚染の残留性を調べた。ほうれん草(学名: *Spinacia oleracea*)、サラダ菜(*Lactuca sativa* var. *capitata*)、エンダイブ(*Cichorium endivia*)、リーフレタス(*Lactuca sativa* var. *crispa*)、ちりめんキャベツ(ケール的一种)(*Brassica oleracea* convar. *acephala*)、及び白キャベツ(*Brassica oleracea* convar. *capitata*)を実験に用いた。各野菜に沈着する放射性核種の変動については、ノンパラメトリックな(統計手法のうち、母集団の分布について一切の仮定を設けない)クラスカル・ウォリスの検定(Kruskal-Wallis Test)及びマン・ホイットニーのU検定(U-test of Mann-Whitney)を用いて統計学的に評価した。その結果、野菜間でヨウ素-131及びセシウム-134の沈着に有意差が認められた。ヨウ素-131では植物体単位重量あたりのほうれん草への沈着速度は0.5-0.9 cm<sup>3</sup> g<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup>であり、測定したすべての野菜の中で最も高かった。セシウム-134微粒子の沈着速度は、丸く組織化された構造の葉っぱをもつケールが最も高く、0.09 cm<sup>3</sup> g<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup>であった。最も低い値を示したのはいずれも白キャベツで、ヨウ素-131は0.02 cm<sup>3</sup> g<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup>、セシウム-134は0.003 cm<sup>3</sup> g<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup>であった。すべての野菜において、気体ヨウ素の沈着は微粒子状セシウムの沈着に比べて有意に高かった。沈着の程度は葉の面積、気孔開度、及び植物形態に依存する。水洗浄による汚染除去は、ヨウ素では極めて限定的であったが、セシウムでは2分の1まで減らすことができたと報告している。

### 【85】火山灰土壌(黒ボク土)から作物への放射性ヨウ素の移行要因

- 英語タイトル：Transfer Factors of Radioiodine from Volcanic-ash Soil (Andosol) to Crops
- 著者名：Ban-Nai T., Muramatsu Y.
- 雑誌名：Journal of Radiation Research, 44(1), 23-30(2003)
- 論文種別：原著論文
- 核種：ヨウ素-131、ヨウ素-129
- 研究対象：農産物、環境(土壌・水等)
- キーワード：transfer factor, radioiodine, vegetable, wheat, andosol
- 索引用キーワード：移行率、放射性ヨウ素、野菜、小麦、黒ボク土
- 引用の図表点数：図 4 点、表 4 点

#### 【要約】

火山灰土壌から農作物への放射性ヨウ素の移行率を放射性トレーサー実験によって測定した報告である。黒ボク土から作物の可食部への移行率(新鮮重量当たり)は、水セリで0.24、レタスで0.00098、玉ねぎで0.0011、大根で0.0044、カブで0.0013、ナスで0.00010であった。小麦の可食部への放射性ヨウ素の移行率(乾重量当たり)は、平均0.00015であった。ヨウ素の作物体中の分布も調べたところ、葉部への移行率が塊茎、果実及び穀粒への移行率に比べて高くなる傾向があった。水セリは非常に高い移行率を示したが、それは、酸化還元電位低下による土壌から土壌水溶液へのヨウ素の脱着での灌水条件で栽培されたことが原因である。この研究で得られたデータは、核分裂サイクル燃料に関連した長寿命のヨウ素-129(1.57×10<sup>7</sup>年の半減期)を評価する助けになる、と期待される。

### 【86】ベリー類等ツツジ科植物における放射性降下物セシウム-137の蓄積

- 英語タイトル：Accumulation of Fallout <sup>137</sup>Cs in Some Plants and Berries of the Family Ericaceae

- 著者名：Bunzl K., Kracke W.
- 雑誌名：Health Physics, 50(4), 540-542(1986)
- 論文種別：原著論文
- 核種：セシウム-137
- 研究対象：農産物
- キーワード：Fall out, Heather, Berry, Transfer factor
- 索引用キーワード：放射性降下物、ギョリュウモドキ、ベリー、移行係数
- 引用の図表点数：表 1 点

#### 【要約】

いずれもツツジ科であるギョリュウモドキ（ヒース）とビルベリーに比較的高い放射性降下物 セシウム-137 の比放射能を見出したことから、本論文では、ツツジ科カルナ属のギョリュウモドキ及び食用ベリー類 4 種（ビルベリー、クロマメノキ、コケモモ、ツルコケモモ）、及び比較のためイネ科のヌマガヤとカヤツリグサ科のミネハリイ、さらに土壌から植物への移行係数を算出するため周辺の土壌を採取し、セシウム-137 の比放射能を測定した。試料は 1984 年の 6 月から 9 月にかけて、アルプス山脈の北約 20 km、標高約 600 m のドイツ国内の湿地帯（泥炭地）から収集した。ツツジ科植物では、セシウム-137 の比放射能は、葉、花とベリー類の実で 330-1,590 Bq/kg（乾物重）と高く、茎と根では 210-430 Bq/kg（乾物重）と低くなる共通の分布パターンが見られた。ヌマガヤとミネハリイでは、セシウム-137 の比放射能は、緑色の若葉ではツツジ科植物と同程度であったが、黄色の古い葉ではその約 7 分の 1 と低かった。これは、セシウムがカリウムと代謝が類似しているため、秋に黄化した葉から根へ窒素、リン、カリウムの化合物が輸送・蓄積される際に、セシウム-137 も葉から根へ輸送された結果と考えられる。ドイツの他の地域の飼料用農作物では 0.5-10 Bq/kg（乾物重）、森林開拓地から収集した混合植物体では 2-260 Bq/kg、平均 61 Bq/kg（乾物重）であった。また森で採取されたビルベリーの実は  $47 \pm 21$  Bq/kg（乾物重）であった。これらと比較すると、今回の湿地帯から収集した試料のセシウム-137 の比放射能は高い。これは湿地の土壌は、栄養素が乏しく、pH が低いからであると考えられる。ツツジ科植物は、菌根菌が共生して根に栄養塩類を供給することによって酸性土壌に生育するが、菌根菌がセシウム-137 の移行にどの程度の役割をはたしているかはまだ明らかではない。また、土壌から植物への移行係数は、ツツジ科植物の葉、花、実で 1 より高く、今回得られた値は、放射性降下物のセシウム-137 の直接の葉面吸収によるものであり、上限値であることが、本論文で予想されている。

### 【87】チェルノブイリ事故後の野菜におけるヨード含量の変化

- 英語タイトル：Changes in the iodine content of vegetables following the Chernobyl accident
- 著者名：Teodoru V, Cucu D
- 雑誌名：Endocrinologie, 29, 175-179(1991)
- 論文種別：原著論文
- 核種：ヨウ素
- 研究対象：農産物
- キーワード：Chernobyl accident, iodine metabolism disturbance, vegetables, fodder, goitrogenic area, non-goitrogenic area
- 索引用キーワード：チェルノブイリ、甲状腺腫誘発地域、野菜、ヨウ素、植物
- 引用の図表点数：表 3 点

#### 【要約】

チェルノブイリ事故後の甲状腺腫誘発地域で育てられた野菜は、生育初期及び成熟期において、それ以外の地域において育てられた野菜と比較してヨード濃度が低いことを報告する論文である。同じ地域においては、生育後期の野菜と比較して生育初期の野菜はヨード含量が高く、幾つかの種については、甲状腺腫誘発地域に育つ生育初期の野菜において、非甲状腺腫誘発地域の自然野菜と比べてヨード含量が高い。1986 年 4 月のチェルノブイリ原子力発電所における事故後、植物のヨウ素代謝が乱れた、としている。

### 【88】土壌から白菜への放射性セシウムとストロンチウムの移行におけるカリウムとカルシウムの同時施用効果

- 英語タイトル：Effects of the simultaneous application of potassium and calcium on the soil-to-Chinese cabbage transfer of radiocesium and radiostrontium.

- 著者名：Choi YH., Lim KM., Jun I., Keum DK., Lee CW.
- 雑誌名：Journal of Environmental Radioactivity, **99**(12),1853-1858 (2008)
- 論文種別：原著論文
- 核種：セシウム-137、ストロンチウム-85
- 研究対象：生態系（森林）
- キーワード：radiocesium, radiostrontium, soil, Chinese cabbage, transfer, potassium, calcium
- 索引用キーワード：
- 引用文献の図表点数：図 2 点、表 3 点

#### 【要約】

本論文は、放射性セシウムとストロンチウムが混在し蓄積した栽培環境に対して、カリウムとカルシウムの同時施用が、土壌から白菜への放射性核種の移行に与える影響について調査することを目的としている。実用性を考慮した農業等級のものでカリウム源として塩化カリウム、カルシウム源として水酸化カルシウムを用いた。酸性ローム質土壌は播種前と植物の生育時に  $^{137}\text{Cs}$  と  $^{85}\text{Sr}$  ( $^{90}\text{Sr}$  の代用) の混合溶液で処理した。この処理後すぐに、最適な量を調べるために塩化カリウムと水酸化カルシウムを様々な用量で土壌に同時施用して評価した。播種前の添加では、 $4.8/46$  ( $\text{K}/\text{Ca}$ ,  $\text{g m}^{-2}$ ) から  $22.4/215$  ( $\text{K}/\text{Ca}$ ,  $\text{g m}^{-2}$ ) のカリウムとカルシウムの用量比で土壌から植物体への  $^{137}\text{Cs}$  の移行は急速に減少し、 $12.8/123$  ( $\text{K}/\text{Ca}$ ,  $\text{g m}^{-2}$ ) の使用で  $^{85}\text{Sr}$  の移行は大きな減少が見られた。播種前に  $12.8/123$  ( $\text{K}/\text{Ca}$ ,  $\text{g m}^{-2}$ ) の使用でそれぞれの放射性核種の移行がおおよそ 60% 減少した。 $22.4/215$  ( $\text{K}/\text{Ca}$ ,  $\text{g m}^{-2}$ ) の施用で白菜の生育は抑制された。生育後の添加で、 $4.8/46$  ( $\text{K}/\text{Ca}$ ,  $\text{g m}^{-2}$ ) 及び  $12.8/123$  ( $\text{K}/\text{Ca}$ ,  $\text{g m}^{-2}$ ) の使用は  $^{137}\text{Cs}$  の移行を 90% 減少し  $^{85}\text{Sr}$  の移行を 50% 減少させた。播種前よりも生育後の添加のほうが  $^{137}\text{Cs}$  の移行を大幅に減少させたが、 $^{85}\text{Sr}$  においてはこの限りではない、と述べている。2 年目の  $12.8/123$  ( $\text{K}/\text{Ca}$ ,  $\text{g m}^{-2}$ ) の使用では、 $^{85}\text{Sr}$  での効果は 1 年目とほとんど変わらなかった、 $^{137}\text{Cs}$  での効果は播種前の施用でわずかに、生育時の施用で著しく減少した。白菜栽培前後での農業等級の塩化カリウムと水酸化カルシウムの同時施用は、土壌からの放射性核種の移行を防ぐ有効手段として推奨できるが、本研究で使用した酸性ローム質土壌はカリウム/カルシウム含量が低く、カリウム/カルシウム含量が高い土壌では別の対策を必要とするかもしれない、と述べている。

### 【89】土壌から果実植物への放射性核種の移行

- 英語タイトル：Radionuclide transfer from soil to fruit.
- 著者名：Carini F.
- 雑誌名：Journal of Enviromental Radioactivity, **52**(2-3), 237-279 (2001)
- 論文種別：総説
- 核種：セシウム-137、ストロンチウム-90、プルトニウム、アメリシウム
- 研究対象：農産物
- キーワード：radionuclides, fruit, soil, soil-to-fruit transfer, transfer factor (TF)
- 索引用キーワード：
- 引用文献の図表点数：表 13 点

#### 【要約】

本総説では、土壌から果実植物への放射性核種の移行についてこれまでに報告された多くの文献を用いて、果実植物の各部位における放射性核種の挙動に影響を及ぼす主要な変動要因と過程及び蓄積について明らかにすることを目的としている。温帯及び亜熱帯や熱帯地域に由来する農地生態系、自然生態系または半自然生態系による生産環境、高木や低木及び草本などの植生による違い、35 種類の果実植物、数種類の放射性核種について項目ごとに収集した土壌から果実植物への移行係数のデータを定量的に解析した。土壌から果実植物への移行係数は核種特異的であり、その変動性についてセシウムは 6 桁に及ぶ変動性があり、ストロンチウムは最も少ない変動性を示した。プルトニウムとアメリシウムは土壌 - 植物系において似た挙動を示した。また、一般的に、果実植物における移行係数は緑色野菜の移行係数と同等もしくはより低い値を示す。放射性核種の変動性は土壌の異なる特性に起因することが示唆された。温帯地域における土壌から果実植物への移行は、高木でセシウム、低木ではストロンチウムが高い値を示した。温帯、亜熱帯、熱帯地域の果実植物から得られた移行係数の有意差は、必ずしもそれらが気候に起因していることを意味するものではない。亜熱帯、熱帯地域の果実植物ではセシウムの移行係数は高いが、一方、同じ果実植物においてストロンチウムやプルトニウム、アメリシウムの値はセシウムより低かった。これらの結果は土壌の特性の差異に基づいて解釈可能である、と述べている。

## 【90】ブドウの木による $^{134}\text{Cs}$ と $^{85}\text{Sr}$ の取り込みブドウの葉と生育土壌への取り込み

- 英語タイトル：Foliar and soil uptake of  $^{134}\text{Cs}$  and  $^{85}\text{Sr}$  by grape vines.
- 著者名：Carini F., Lombi E.
- 雑誌名：The Science of the Total Environment, **207**(2-3), 157-164 (1997)
- 論文種別：原著論文
- 核種：セシウム-134、ストロンチウム-85
- 研究対象：農産物
- キーワード：grape vine,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{85}\text{Sr}$ , radiocontamination, translocation, foliar uptake, soil uptake
- 索引用キーワード：
- 引用文献の図表点数：図 5 点、表 6 点

### 【要約】

本論文では、茎葉部と土壌汚染後のブドウの木への  $^{134}\text{Cs}$  と  $^{85}\text{Sr}$  の取り込み、果実への移行及び植物部位別の分布を比較分析している。鉢植えや田畑での生育過程でブドウは、空中への散水や土壌への散水によってイオン化した  $^{134}\text{Cs}$  と  $^{85}\text{Sr}$  に汚染された。散水はぶどうの登熟過程において影響を及ぼした。散水後に 3 つの植物体から採集した葉をすべて分析した結果、散水に含まれる放射性核種の活性の約 50% が検出された。また、土壌汚染は空中散水より 1 ヶ月早い結実に影響を及ぼした。登熟期において果実、葉、茎、根、土壌をすべて採集し、ガンマ線スペクトル分析することで、植物の各部位の放射性核種の活性を次のような係数で表した。(a) 茎葉処理での活性転位係数、(b) 土壌に施した活性の移行係数。どちらの係数も生体重量または植物の各部位の総生物量を用いて算出した。単位重量あたりの葉から果実への移行係数は  $^{134}\text{Cs}$  で  $10^{-1}$  桁、 $^{85}\text{Sr}$  で  $10^{-2}$  桁であった。また、土壌から果実への移行係数は  $^{134}\text{Cs}$  及び  $^{85}\text{Sr}$  とともに  $10^{-3}$  桁であり、葉から果実への移行係数と比べて 1-2 桁低いという結果となった。放射性セシウムの化学特性は放射性ストロンチウムとかなり異なるが、ブドウの樹木内での両放射性核種の動態は葉や根からの吸収経路とは独立していることが示唆された。茎葉部において  $^{134}\text{Cs}$  は  $^{85}\text{Sr}$  よりもかなり容易に吸収されるが、根において  $^{134}\text{Cs}$  は  $^{85}\text{Sr}$  より吸収されにくかった。茎葉部及び根から吸収後、放射性セシウムは主に果実に蓄積したが、放射性ストロンチウムは茎葉部に蓄積した。植物の地上部における放射性核種の吸収率は  $^{134}\text{Cs}$  よりも  $^{85}\text{Sr}$  で低かった。これは、 $^{85}\text{Sr}$  は  $^{134}\text{Cs}$  より多く土壌中に残留し、根から吸収されやすく、土壌中に留まりやすいためと考えられる。茎葉部汚染後の土壌への放射性核種の主要移行経路は、吸収されなかった放射性核種落ち葉によるものであり、土壌汚染後の土壌中への放射性核種の浸出は植物の取り込みが密接に関連している、と述べている。

## 【91】トマト栽培における $^{134}\text{Cs}$ 、 $^{85}\text{Sr}$ 及び $^{65}\text{Zn}$ の茎葉部と根への取り込み

- 英語タイトル：Foliar and root uptake of  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{85}\text{Sr}$  and  $^{65}\text{Zn}$  in processing tomato plants (*Lycopersicon esculentum* Mill.).
- 著者名：Brambilla M., Fortunati P., Carini F.
- 雑誌名：Journal of Environmental Radioactivity, **60**(3), 351-63 (2002)
- 論文種別：原著論文
- 核種：セシウム-134、ストロンチウム-85、亜鉛-65
- 研究対象：農産物
- キーワード：tomato, wet deposition, radionuclides, foliar absorption, root uptake, caesium, strontium, zinc
- 索引用キーワード：
- 引用文献の図表点数：図 3 点、表 6 点

### 【要約】

本論文は、泥炭土壌でのトマト栽培過程における 3 種の放射性核種 ( $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{85}\text{Sr}$ ,  $^{65}\text{Zn}$ ) の土壌から果実、及び茎葉部から果実への移行過程について調べている。トマト植物体への汚染は、二つの生育段階での地上部へのスプリンクラー散水、及び土壌への  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{85}\text{Sr}$  及び  $^{65}\text{Zn}$  の直接投与により実施した。葉における放射性核種の汚染は 2 倍以上に増加するが、第 2 生育段階で汚染した植物は第 1 段階の場合に比べ汚染が 38.3% 低下した。 $^{134}\text{Cs}$  の泥炭土壌から果実への移行係数は  $^{85}\text{Sr}$  及び  $^{65}\text{Zn}$  と比べて有意に高い値を示し、 $^{134}\text{Cs} > ^{65}\text{Zn} > ^{85}\text{Sr}$  となった。 $^{134}\text{Cs}$  の葉から果実への移行係数は  $^{65}\text{Zn}$  より 1 桁、 $^{85}\text{Sr}$  より 2 桁大きい値を示した。結実していない時期における茎葉部への沈着の場合、収穫時の果実の汚染は篩管部内の放射性核種の流動性に依存し、 $^{134}\text{Cs} > ^{65}\text{Zn} > ^{85}\text{Sr}$  となった。しかし、沈着が果実に影響を及ぼしたときだけ、第 2 生育段階において果実への移行係数は 3 つの放射性



核種で近い値を示している。植物体構造における放射性核種の分布は、根や葉によって吸収された  $^{134}\text{Cs}$  は果実に移行・蓄積し、 $^{85}\text{Sr}$  と  $^{65}\text{Zn}$  は主に根、茎、葉に蓄積することを確認した、と述べている。

## 【92】イチゴにおける $^{134}\text{Cs}$ 及び $^{85}\text{Sr}$ の茎葉部への取り込みと葉齢の関係

- 英語タイトル：Foliar uptake of  $^{134}\text{Cs}$  and  $^{85}\text{Sr}$  in strawberry as function by leaf age.
- 著者名：Fortunati P., Brambilla M., Speroni F., Carini F.
- 雑誌名：Journal of Environmental Radioactivity, **71**(2) 187-199 (2004)
- 論文種別：原著論文
- 核種：セシウム-134、ストロンチウム-85
- 研究対象：農産物
- キーワード：caesium, fruit plants, foliar uptake, leaf age, strontium, translocation
- 索引用キーワード：
- 引用文献の図表点数：図 9 点、表 2 点

### 【要約】

本論文は、草本の果実植物での放射性セシウムとストロンチウムの茎葉部への取り込みと移行に関する知見収集を目的として、特にイチゴ植物体におけるこれら放射性物質の吸着・移行・離脱と汚染葉齢との関連性について調べている。 $^{134}\text{CsCl}$  と  $^{85}\text{SrCl}_2$  を含む水溶液を 2 種類の葉（若葉と古葉）の表面に点滴散布することによってイチゴ植物体を汚染し、汚染された 2 種類の葉を 1、7、15 日後にサンプリングした。採取した葉のうち半分を蒸留水にて 2 回洗浄してから放射性核種分析に供した。蒸留水洗浄により、汚染葉の  $^{134}\text{Cs}$  で平均 55% そして  $^{85}\text{Sr}$  で 45% が除去された。洗浄による  $^{134}\text{Cs}$  及び  $^{85}\text{Sr}$  の除去効果が 15 日後に低下したことから、この期間で茎葉部での放射性核種の取り込みが増加することが示唆された。また、洗浄による除去効果は若葉と古葉で違いが見られなかった。外部汚染の除去は  $^{134}\text{Cs}$  及び  $^{85}\text{Sr}$  ともに古い葉よりも若い葉の方が低く、移行による内部汚染低減は主に  $^{134}\text{Cs}$  で生じた。汚染葉から果実への移行係数は  $^{134}\text{Cs}$  (4.0%) が  $^{85}\text{Sr}$  (0.05%) に比べ 2 桁大きい値を示した。葉から果実への  $^{134}\text{Cs}$  の移行係数は古い葉 (2.3%) よりも若い葉 (5.8%) の方が高い値を示した。葉から果実への移行過程は葉の生育過程によって影響を受け、古い葉より若い葉において有意に高い移行係数を示すことが明らかとなった、と述べている。

## 【93】チェルノブイリ事故によって生じた果樹への放射性セシウムによる長期的汚染

- 英語タイトル：Long term radiocesium contamination of fruit trees following the Chernobyl accident.
- 著者名：Antonopoulos-Domis M., Clouvas A., Gagianas A.
- 雑誌名：Health Physics, **71**(6), 910-914 (1996)
- 論文種別：原著論文
- 核種：セシウム-137
- 研究対象：農産物
- キーワード： $^{137}\text{Cs}$ , Chernobyl, contamination, accidents, nuclear
- 索引用キーワード：
- 引用文献の図表点数：図 5 点、表 1 点

### 【要約】

本論文では 1990 年から 1995 年までの期間における各種果樹の果実や葉へのチェルノブイリ事故由来の放射性セシウム汚染をギリシャ北部の 2 つの実験農場で体系的に調査した結果を報告している。調査結果は、原子力事故後の落葉果樹への長期的な放射性セシウム汚染メカニズムを予測する既存の報告モデルに基づいて論じられている。調査結果は、このモデル予測を定性的に確認するものであり、根からの放射性核種の取り込みが主要な汚染メカニズムである場合でさえ、果実の汚染は葉の汚染と同様に時間依存性であることが明らかになった、と述べている。

## 【94】チェルノブイリ事故後の果樹での放射性セシウムの動態

- 英語タイトル：Radiocesium dynamics in fruit trees following the Chernobyl accident.
- 著者名：Antonopoulos-Domis M., Clouvas A., Gagianas A.
- 雑誌名：Health Physics, **61**(6), 837-842 (1991)

- 論文種別：原著論文
- 核種：セシウム-137
- 研究対象：農産物
- キーワード：
- 索引用キーワード：
- 引用文献の図表点数：図 6 点、表 3 点

#### 【要約】

本論文は、1987 年から 1990 年におけるギリシャ北部の 2 つの農場での、チェルノブイリ事故由来の  $^{137}\text{Cs}$  に汚染された各種果樹から採集した果実や葉の汚染を体系的に調査し、またチェルノブイリ事故後に植樹した果樹から葉への放射性セシウム汚染を調べることで、土壌から樹木への移行係数を評価している。測定した  $^{137}\text{Cs}$  の生物学的半減期は、最近報告された汚染予測モデルとよく一致していた。事故の前に植えられた果樹の果実や葉の汚染は、平均値  $T_{1/2}$  (汚染半減期) =  $0.76 \pm 0.08$  年の半減期を示し、時間とともに指数関数的に減衰することが明らかとなった。葉の汚染のレベルは  $^{137}\text{Cs}$  の初期蓄積の増加とともに増加したが、両者の間に直線関係は見られなかった。初期フォールアウトが高い値での放射性核種の汚染が飽和状態にあった可能性が考えられるが、さらなる調査が必要であることが明らかとなった。根からの取り込みは、たとえあったとしても、チェルノブイリ事故前に植樹された木々の葉や果実の総汚染量のごく一部にすぎないことが示唆された。チェルノブイリ事故後に植樹した木々は  $^{137}\text{Cs}$  が濃縮されている地表面付近に根が存在するにも関わらず、木々の葉汚染は低レベルである、と述べている。

### ⑩ 穀物について 【95】 ～ 【97】

#### 【95】 秋まき小麦における放射性降下物セシウム-137 及びストロンチウム-90 の土壌から穀物への移行の品種内変動

- 英語タイトル：Intra-cultivar variability of the soil-to-grain transfer of fallout  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  for winter wheat
- 著者名：Schimmack W., Gerstmann U., Schultz W., Sommer M., Tschopp V., Zimmermann G.
- 雑誌名：Journal of Environmental Radioactivity, 94, 16-30(2007)
- 論文種別：原著論文
- 核種：セシウム-137、ストロンチウム-90
- 研究対象：農産物
- キーワード：winter wheat, cultivar, variability, soil
- 索引用キーワード：小麦、品種内変動、野外実験
- 引用図表点数：図 4 点、表 6 点

#### 【要約】

同じ土地で生育する異なる栽培品種(品種間"inter-cultivar" 変異)における降下放射性核種の根吸収の違いは、栽培品種の遺伝的な差異のみから影響を及ぼされるのではなく、それぞれの品種の栽培地域内の土壌から穀物への移行の空間的変動によっても影響を受けると言える。本論文は放射線核種の土壌から穀物への移行について品種内(intra-cultivar) 変動を調査したものである。2001 年と 2002 年にドイツのバイエルンにおける 3 ヶ所の異なる地域において、3 種の春まき小麦品種(各品種 4 反復)を用いて、セシウム-137 及びストロンチウム-90 の調査の含有量を調査した結果、品種内変動は双方の放射性核種について同じ地域で初期に測定された品種内変動と同じ範囲にあることが判明した。セシウム-137 に関するデータの分散分析により、栽培地の土壌及び気候(年間)と品種と土地の相互作用によってセシウム-137 の土壌から穀物への移行の変動が生じることを明らかにした。「栽培品種」という要素のみによる変動性への有意な寄与は検出されなかったが、これは植物が野外実験で実施されているという複雑な環境条件に起因するかもしれない。これらの結果を踏まえて、本論文は「降下放射性核種の低吸収小麦品種を見つけ、より安全な植物を育種するための標的を特定するためには、根吸収の分子機構を研究した方が良いかもしれない」と結論づけている。

#### 【96】 仮想的原子炉事故によって放出された放射性セシウムと放射性ストロンチウムの温室栽培条件下における遮断、残存、移行

- 英語タイトル：Interception, retention and translocation under greenhouse conditions of radiocaesium and radiostrontium from a simulated accidental source
- 著者名：Vandecasteele CM, Baker S., Forstel H., Muzinsky M., Millan R., Madoz-Escande C., Tormos J., Sauras T., Schulte E., Colle C.
- 雑誌名：Science of the Total Environment, 278(1-3), 199-214(2001)
- 論文種別：原著論文
- 核種：セシウム-137、ストロンチウム-90
- 研究対象：農産物
- キーワード：spring wheat, cereals, ploughing, weathering
- 索引用キーワード：穀類
- 引用の図表点数：図 7 点、表 8 点

#### 【要約】

本論文では、原子炉の破壊によって放出され、穀類へ付着した放射性エアロゾルの挙動をシミュレーションした結果を報告している。セシウム-137 とストロンチウム-90 で標識したエアロゾルを試料の高温揮発によって生成し、冷却と熟成を行った後、温室育成の春小麦に付着させた。初期(双葉)から成熟(開花の終わり)まで、汚染させる発達段階によって異なる遮断効果を示した。推定妨害係数は  $13.1\text{m}^2/\text{kg}$  に達した。このような高い値は汚染過程での過剰な飽和大気によって葉の表面に水分が曝露されていた実験条件によるものと推測された。最初の雨のシミュレーション(汚染から 6 日後)では、大気中からストロンチウム-90 (遮断された放射線核種の  $15\pm 20\%$ ) の 4 倍 ( $54\pm 12\%$ ) のセシウム-137 が除去された。成長段階の初期の汚染では、収穫時で大気中のおおよそストロンチウム-90 の 2%、セシウム-137 の 1%未満が遮断され、成長段階後期での汚染では、より高い遮断効果があった。成熟段階で汚染した際は穀類への移動(TLF)が増加した。成長段階初期のストロンチウム-90 による汚染で観測された TLF 値の減少は、根への取り込みによると考えられる。本論文によると、最初の雨の後、圃場を耕起して再度播種した場合、3 回の収穫後にセシウム-137 は対照区の半分に減少したが、可食部のストロンチウム-90 は 2 倍になったとされる。

### 【97】春播き小麦 6 品種におけるセシウム-137 及びストロンチウム-90 の蓄積能比較

- 英語タイトル：Comparison of the accumulation of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  by six spring wheat varieties
- 著者名：Putyatin YV, Seraya TM, Petrykevich OM, Howard BJ
- 雑誌名：Radiation and Environmental Biophysics., 44, 289-298(2006)
- 論文種別：原著論文
- 核種：セシウム-137、ストロンチウム-90
- 研究対象：農産物
- キーワード：spring wheat, varieties, soil amelioration
- 索引用キーワード：小麦、品種間差、チェルノブイリ、土壌改良
- 引用の図表点数：図 5 点、表 4 点

#### 【要約】

本論文では、チェルノブイリ事故により汚染された土地における春播き小麦(*Triticum aestivum*) 6 品種のセシウム-137 及びストロンチウム-90 吸収能を比較している。全品種ともベラルーシにおける農業利用向けに公的に認可され、大量生産に用いられている品種であるが、同じ栄養条件下で、各品種間の生産性には 1.3 倍程度の違いが認められた。小麦粒中のセシウム-137 及びストロンチウム-90 の蓄積量は、核種によらず、濃度比で 1.6 倍程度の品種間差が認められた。小麦粒及び麦わら中のストロンチウム-90 の放射能濃度とカルシウム濃度の間には、有意な正の相関が認められたが、セシウム-137 の放射能濃度とカリウム濃度には、有意な相関は認められなかった。以上の結果は、一般的な農業生産で利用される春播き小麦品種では、セシウム-137 及びストロンチウム-90 が小麦粒以外の部位へ蓄積されることを示唆している。いくつかの春播き小麦品種においては、セシウム-137 蓄積が比較的低くなっていたが、ストロンチウム-90 の蓄積に関しては低くなっていなかった。クアトロという品種においては、他の調査品種と比較して、ストロンチウム-90 (小麦粒) 及びセシウム-137 (小麦粒及び麦わら) の放射性核種の吸収が有意に低かった。本論文によれば、これらの品種を用いることで得られる放射性核種濃度の減少効率は、過去に土壌改良技術で達成された減少効率ほど高くないものの、これらの品種の使用にともなう他の費用や収量低下はないため、汚染地域におけるこれら小麦品種の利用は、ストロンチウム-90 及びセシウム-137 の摂取を減少させるための、単純、実用的かつ有効な方策として検討する価値があるとされる。

## ⑪ キノコについて 【98】 ～ 【102】

### 【98】栽培キノコ及び培地中における放射性セシウム濃度

- 英語タイトル：Concentration of radiocesium in cultivated mushrooms and substrates
- 著者名：三宅定明, 日笠司, 浦辺研一, 原口雅人, 大村外志隆
- 雑誌名：RADIOISOTOPES, 57, 753-757 (2008)
- 論文種別：原著論文
- 核種：セシウム-137、カリウム-40
- 研究対象：農産物
- キーワード：mushroom, concentration
- 索引用キーワード：キノコ、濃度比
- 引用の図表点数：図 5 点、表 4 点

#### 【要約】

本論文は 2003 年及び 2004 年に埼玉県内で生産されたキノコの放射能調査結果をまとめたものである。この論文によれば、セシウム-137 は全ての試料から検出され、その濃度は子実体では 0.012～2.1Bq/kg 生、培地(菌床)では 0.080～1.8Bq/kg 乾であった。キノコの種類別に見た場合、子実体のセシウム-137 濃度はヒラタケ及びエノキタケが低く、シイタケ及びマイタケが高い傾向がみられた（種類別の平均値でみると 30 倍以上の差がある）。またセシウム-137 の濃度比(子実体/培地)は 0.11～0.53 であり、他の野菜等の移行係数に比べ高い傾向を示した。なおカリウム-40 の濃度比はセシウム-137 のそれと同程度であり、キノコの種類による大きな差はみられなかった。

### 【99】糸状土壌細菌 *Streptomyces* sp. K202 株のセシウム蓄積特性

- 英語タイトル：Characteristics of cesium accumulation in the filamentous soil bacterium *Streptomyces* sp. K202
- 著者名：Kuwahara C., Fukumoto A., Nishina M., Sugiyama H., Anzai Y., Kato F.
- 雑誌名：Journal of Environmental Radioactivity, 102(2), 138-144(2011)
- 論文種別：原著論文
- 核種：セシウム-137
- 研究対象：環境(土壌・水等)
- キーワード：cesium, accumulation, filamentous soil bacteria, localization, potassium, polyphosphate
- 索引用キーワード：セシウム、蓄積、カリウム、糸状土壌細菌、ポリリン酸、細胞質
- 引用の図表点数：図 5 点、表 1 点

#### 【要約】

糸状土壌細菌である K202 株は、食用キノコ (*Boletopsis leucomelas*) が生育していた土壌から分離され、その形態的特徴及び LL-2, 6-ジアミノピメリン酸の存在からストレプトマイセス属 (*Streptomyces*) に属するものと同定された。本論文では、K202 株の糸状細胞におけるセシウムの細胞質での存在形態及び細胞外から細胞内への取り込みを調べた結果を報告している。その結果、セシウムは 2 つのステップを介して細胞内に蓄積することが示された。最初のステップでは、セシウムイオンは直ちに負に帯電した細胞表面に非特異的に吸着し、次のステップでこの吸着したセシウムイオンが細胞質に、一部はエネルギー依存性輸送システムを介して取り込まれる。また、培養液にセシウムイオンが存在するとカリウムイオンの細胞内への取り込みが大きく阻害されることから、一部のセシウムイオンは、カリウムイオンとの競合により菌糸状細胞に取り込まれることが判明した。このことは、セシウムイオンの一部がカリウム輸送システムを介して取り込まれることを示唆している。さらにセシウム-133 NMR スペクトルやセシウムを蓄積した菌糸の SEM-EDX スペクトルから、蓄積したセシウムは細胞内で少なくとも 2 つの状態、ポリリン酸のような細胞間物質にセシウムイオンがトラップされた状態及びセシウムイオンが細胞質プールに存在する状態、で存在することが判明した、としている。

### 【100】キノコにおける放射性核種セシウム-137 の蓄積

- 英語タイトル：Accumulation of the Radioactive Nuclide <sup>137</sup>Cs in Fruitbodies of Basidiomycetes
- 著者名：Haselwandter K.

- 雑誌名：Health Physics, 34(6), 713-715(1978)
- 論文種別：原著論文
- 核種：セシウム-137
- 研究対象：農産物
- キーワード：basidiomycetes, nuclear explosion
- 索引用キーワード：キノコ、核爆発
- 引用図表点数：図 2 点、表 1 点

#### 【要約】

放射性セシウム（セシウム-137）は、地表や生物圏を汚染する放射性核種の一つであり、核爆発に由来する放射性降下物として、生物地球化学的循環サイクルに入り込む。セシウム-137 はいろいろな土壌及びキノコから検出されるが、キノコに含まれるセシウム-137 量は種によって異なることが報告されている。この論文では、12 種のキノコを、1974 年 6 月 29 日から 10 月 9 日に、欧州 5 カ国から収集し、乾燥させたのち、セシウム-137 放射能が 10pCi または 5pCi の低いレベルまで測定できる装置を用いて、セシウム-137 蓄積のばらつきを定量的に調査した結果を報告している。キノコの種類によって、セシウム-137 の蓄積に大きな差異が見られ、また、セシウム-137 はキノコの軸部分より傘により多く含まれることが多くのキノコで確かめられた。数名の専門家は地衣類トナカイーヒトにおける食物連鎖を介したセシウム-137 負担（burden）に相関があることを見出しているが、キノコに含まれるセシウム-137 量にこのような大きなばらつきがあることは、食用キノコの摂取によるヒトの被曝負担（radiation burden）の推定が難しいことを示している、と報告している。

### 【101】南ポーランド森林地帯における各種キノコ中のセシウム-137 とカリウム-40

- 英語タイトル：<sup>137</sup>Cs and <sup>40</sup>K in fruiting bodies of different fungal species collected in a single forest in southern Poland
- 著者名：Mietelski JW, Dubchak S., Brazej S., Anielska T., Turnau K..
- 雑誌名：Journal of Environmental Radioactivity, 101, 706-711(2010)
- 論文種別：原著論文
- 核種：セシウム-137、カリウム-40
- 研究対象：農産物、環境
- キーワード：<sup>137</sup>Cs, Radioactivity in fruitbodies, Bioaccumulation of cesium, <sup>40</sup>K, <sup>134</sup>Cs, Depth of mycelium
- 索引用キーワード：キノコ、土壌中の蓄積量、生育深度、蓄積
- 引用図表点数：図 3 点、表 2 点

#### 【要約】

本論文では、2006～2007 年にわたり南ポーランドの森林地帯数千平方メートルを対象として、70 種類以上のキノコを収集し放射能レベルを測定している。また並行して 2006 年 10 月に土壌中のセシウム-137 の蓄積量を測定した結果、 $64 \pm 2 \text{ kBq/m}^2$  と比較的高い値を示した。この土壌中の高い放射能レベルは表層の 6 cm に集中していた。収集したキノコは放射性セシウムとカリウム-40 とを測定した結果、最も高いセシウム-137 の値を示したのは 2006 年に収穫された *Lactarius helvus*（アカチチモドキ）で  $54.1 \pm 0.7 \text{ kBq/kg}$ （乾物換算）であった。また、数例であったが半減期の短いセシウム-134 も検出された。調査結果全体を通じた結論として、キノコ中に放射性セシウムが蓄積されることが確認された。蓄積はキノコの生育特性、特に土壌中への生育深度によって大きく異なることが明らかとなった、と報告している。

### 【102】環境におけるマッシュルームによる放射性セシウムの蓄積：文献レビュー

- 英語タイトル：Accumulation of radiocesium by mushrooms in the environment: a literature review
- 著者名：Duff MC., Ramsey ML.
- 雑誌名：Journal of Environmental Radioactivity, 99(6),912-932 (2008)
- 論文種別：総説
- 核種：セシウム-137、セシウム-134
- 研究対象：農産物
- キーワード：concentration ratio, transfer factor, aggregate transfer factor, biomonitoring, Chernobyl
- 索引用キーワード：

- 引用文献の図表点数：表 3 点

【要約】

環境中に放出される  $^{134}\text{Cs}$  及び  $^{137}\text{Cs}$  は核兵器実験、核燃料の再処理及び原子炉事故から主に発生する。過去 50 年間で、環境中の放射性核種の蓄積をモニタリングする際の指標となる生物の情報が数多く報告されている。また、これらの多くの報告では、食物連鎖の下位生物に放射性核種が蓄積したとき、これらの生物を消費する上位生物（例；トナカイやヒト）への放射性核種の移行のリスクが懸念されることも報告している。食物連鎖による放射性核種の移行を評価するためのアプローチの 1 つとして、食物連鎖の下位にいる生物に蓄積した放射性核種の定量が考えられる。本総説は、放射性セシウム汚染の環境モニタリングで用いるためのキノコ類に注目し、1980 年代と 1990 年代までに公表された自然界でのキノコ類に蓄積した  $^{134}\text{Cs}$  と  $^{137}\text{Cs}$  のデータを集約することでキノコ類への  $^{134}\text{Cs}$  と  $^{137}\text{Cs}$  の取り込みを促す特徴を調べることを目的としている。移行係数（TF、キノコ乾燥重量濃度と移行する基質濃度の比）は最大で 23.7、総移行率（Tag、キノコ類での  $\text{Bq}^{137}\text{Cs}/\text{kg dw}$  と  $\text{Bq}/\text{m}^2$  で表される大気中の堆積量の比）は最大で  $8.13\text{m}^2/\text{kg dw}$  まで及んだ。キノコ類における  $^{134}\text{Cs}$  と  $^{137}\text{Cs}$  取り込みの主要な影響は、放出後の堆積量、土壌や栽培方法の特徴、生育環境（腐生、寄生または共生）、キノコの種類などが考えられる。放射性核種の発生源（放射性セシウムはチェルノブイリによるのか核兵器実験のフォールアウトによるのか）と先に述べた他の要因は Cs の堆積にほとんど影響を与えなかった。本研究で得られた放射性セシウム濃度についての TF と Tag 値は必ずしも相関するとは限らない、と述べている。本研究の調査から、 $^{134}\text{Cs}$  と  $^{137}\text{Cs}$  取り込みに高い関係を示したキノコ類のいくつかは食用として一般的に食べられていることが明らかとなった。これは、放射性核種の取り込みが大きいキノコ類がシカのような動物によって食べられ、それがヒトによって消費されることは、ヒトの健康へ問題をもたらす可能性を指摘している。

⑫ ミルク・乳製品について 【103】 ～ 【115】

【103】 オーストリアアルプス地帯の農業におけるセシウム-137 及びストロンチウム-90 のミルクへの移行

- 英語タイトル： $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  transfer to milk in Austrian alpine agriculture
- 著者名：Lettner H., Hubmer A., Bossew P., Strebl F.
- 雑誌名：Journal of Environmental Radioactivity, 98, 69-84(2007)
- 論文種別：原著論文
- 核種：セシウム-137、ストロンチウム-90
- 研究対象：畜産物
- キーワード：Radiocaesium, Radiostrontium transfer coefficient, Biological half-life, Two-compartment model, seminatural, environmen
- 索引用キーワード：放射性セシウム、放射性ストロンチウム、生物学的半減期、2-コンパートメントモデル、半自然環境
- 引用を図表点数：図 3 点、表 5 点

【要約】

オーストリアのアルプス地方は、旧ソ連邦の国以外では最もチェルノブイリ事故により汚染された地域である。本研究で調査を行った Salzburg 県のセシウム-137 による土壌表面汚染は中央値で  $31.4\text{ kBq}/\text{m}^2$  であり、場所によっては  $90\text{ kBq}/\text{m}^2$  を超える。植物からミルクへの移行を調べるために、2002 年と 2003 年の夏にサンプリング調査を行い、その結果を本論文で報告している。得られたデータをもとにセシウム-137 及びストロンチウム-90 のミルクへの移行係数（fm）を、それぞれ  $0.0071 \pm 0.0009\text{ d/l}$  及び  $0.0011 \pm 0.0004\text{ d/l}$  と算出した。今回得られたセシウム-137 の移行係数は、集約農業地帯で得られた値に比べてかなり高いものもある、としている。

【104】 チェルノブイリ原子炉事故で放出されたヨウ素-131 及びセシウム-137 のミルクへの移行

- 英語タイトル：Transfer to milk of  $^{131}\text{I}$  and  $^{137}\text{Cs}$  released during the Chernobyl reactor accident
- 著者名：Tracy BL, Walker WB, McGregor RG.
- 雑誌名：Health Physiology, 56(2), 239-243(1989)

- 論文種別：原著論文
- 核種：ヨウ素-131、セシウム-137
- 研究対象：畜産物、環境(土壌・水等)
- キーワード：transfer, milk, grass, <sup>131</sup>I, cesium, Chernobyl
- 索引用キーワード：移行、ミルク、牧草、ヨウ素、セシウム、チェルノブイリ
- 引用図表点数：図2点、表1点

#### 【要約】

放射性核種の大気から牧草・ミルクへの移行に関して、乾燥堆積及び湿潤堆積(wet deposition)がそれぞれヨウ素及びセシウムの移行に重要であったことを示す論文である。Bq/L単位で測定したミルク中のヨウ素-131濃度は、Bq/m<sup>3</sup>単位で測定した空気中のヨウ素-131粒子濃度の1000～2000倍の数値を示した。ヨウ素の牧草からミルクへの移行は既存のモデルの予想通りであった。セシウム堆積の10%が牧草の可食部に取り込まれた。セシウムの牧草からミルクへの移行は既存モデルの予想より1桁低かった、と報告している。

### 【105】 西欧各地域産のエメンタルタイプのチーズに含まれるストロンチウム-90、ウラン-238 ウラン-234、セシウム-137、カリウム-40、プルトニウム-239/240

- 英語タイトル：<sup>90</sup>Sr, <sup>238</sup>U, <sup>234</sup>U, <sup>137</sup>Cs, <sup>40</sup>K and <sup>239/240</sup>Pu in Emmental type cheese produced in different regions of Western Europe
- 著者名：Froidevaux P., Geering JJ, Pillonel L., Bosset JO, Valley JF
- 雑誌名：Journal of Environmental Radioactivity, 72, 287-298(2004)
- 論文種別：原著論文
- 核種：ストロンチウム-90、ウラン-238、ウラン-234、セシウム-137、カリウム-40、プルトニウム-239/240
- 研究対象：畜産物、食品
- キーワード：<sup>90</sup>Sr, cheese, uranium isotopes, milk-to-cheese transfer, food authenticity
- 索引用キーワード：ストロンチウム-90、チーズ、ウラン、ミルク、移行、欧州
- 引用図表点数：図3点、表3点

#### 【要約】

本論文では、欧州各国の乳製品工場から収集したエメンタルタイプのチーズに含まれる放射性核種の調査結果を報告している。同チーズ中のストロンチウム-90及びウランの定量法を示し、これによりチーズ中のストロンチウム-90含量は放牧地の高度と有意な相関(r=0.708, スチューデントt試験=6.02)を示すことを明らかにした。ストロンチウム-90放射能は最大で1.13、最小で0.29 Bq/kgであり、ウラン由来放射能は最大でもウラン-238換算27mBq/kgと非常に低かった。ウラン-234/ウラン-238の比から各地でウラン-234が天然存在比より大きく濃縮されていることが示された。この濃縮はチーズの地理的生産地と有意な相関がなかったことから、牧草・土壌・地下水の地質学的特性に起因していると考えられる。これらの結果から、ミルク中のウランは、ウシの飼料由来よりむしろ飲水由来の影響が大きいと考えられ、この発見は核事故後の乳製品への放射性元素汚染のモデルに重要な知見を与える。また、ストロンチウム-90含量及び少し信頼性は劣るがウラン-234/ウラン-238比はチーズの産地判別に用いることができる。セシウム-137放射能はすべてのサンプル(20種)で検出限界である0.1 Bq/kg以下であった。チーズ中の自然カリウム-40放射能の値(15-21 Bq/kg)に基づき、ミルクからチーズへのアルカリカチオンの除去係数はおよそ2.0と計算された。プルトニウム放射能は0.3 mBq/kgの検出限界以下であった、としている。

### 【106】 チェルノブイリ事故後の牧草・乳牛・牛乳経路におけるヨウ素とセシウムの移行

- 英語タイトル：Transport of iodine and cesium via the grass-cow-milk pathway after the Chernobyl accident
- 著者名：Kirchner G.
- 雑誌名：Health Physics, 66(6), 653-665(1994)
- 論文種別：原著論文
- 核種：ヨウ素-131、セシウム-137
- 研究対象：畜産物、環境(土壌、水等)
- キーワード：accidents, reactor, <sup>137</sup>Cs, Chernobyl, <sup>131</sup>I
- 索引用キーワード：チェルノブイリ、牧草、乳牛、牛乳、移行



- 引用 の 図 表 点 数 : 図 3 点、表 5 点

#### 【要約】

本論文は、チェルノブイリ事故後の放射性物質の牧草・乳牛・牛乳経路における移行を報告している。飼料や牛乳におけるヨウ素-131 とセシウム-137 の時間依存的濃縮を示す 150 以上のデータセットを、最小区画分析モデルを用いて評価した。牧草・乳牛・牛乳経路におけるセシウムの移行は、3 区画モデルで適切に説明される。ヨウ素-131 については、牛乳への緩慢な分泌を示すデータセットが少ないため、特定のモデルは結論づけられなかった。牧草における風化半減期と、飼料から牛乳への平衡移行係数は、ほぼ正規対数型の頻度分布を示した。植物での風化半減期の平均値は、ヨウ素では  $9.1 \pm 0.6$  日、セシウムでは  $11.1 \pm 0.8$  日で、1986 年以前に行われた実験による平均値とよく一致した。飼料から牛乳への平衡移行係数の平均値は、ヨウ素-131 では  $3.4 \pm 0.4 \cdot 10^{-3}$  d/L、セシウム-137 では  $5.4 \pm 0.5 \cdot 10^{-3}$  d/L であった。これらはともに、チェルノブイリ事故前のデータセットから計算された平均値より低かった。この違いについては(1) 放射性降下物は可溶性のトレーサーに比べて取り込まれにくい、(2) 移行過程が緩慢なため、いくつかの実験において チェルノブイリ事故後の移行係数が早期に結論づけられ過小評価された、(3) 甲状腺で固定中に崩壊するため、ヨウ素-131 の移行は長寿命のヨウ素同位体と比べて少ない、ことにより説明づけられる。飼料から牛乳へのヨウ素-131 の移行は乳量と関係するが、セシウムについては、乳量及び飼料タイプの影響は明白ではなかった、としている。

### 【107】放射性物質降下後のミルク中のセシウム濃度の長期的減少

- 英語タイトル : Longterm reduction of caesium concentration in milk after nuclear fallout
- 著者名 : Muck K.
- 雑誌名 : Science of the Total Environment, 162, 63-73(1995)
- 論文種別 : 原著論文
- 核種 : セシウム-137
- 研究対象 : 食品、畜産物
- キーワード : fallout, contamination, biological half-life, environment, activity levels, Cesium-137
- 索引用キーワード : チェルノブイリ、ミルク、牧草
- 引用 の 図 表 点 数 : 図 6 点、表 1 点

#### 【要約】

チェルノブイリ事故後のオーストリアにおけるミルク中の放射能の経時的変化を調査した論文である。放射性物質降下直後の短期的な放射能減少と、事故後数年にわたる中期間の緩やかな減少の両方が、放射性降下物から予測される全被曝を推定するために非常に重要である。局所的な放射性物質降下量、植物間の差異、あるいは動物の個体ごとの代謝の差異等によるアーティファクトを避けるため、広域な生産物を測定対象とし、オーストリアの大規模粉ミルク工場で生産された粉ミルクの中の放射能濃度の測定を行ったところ、事故直後の 1986 年 5 月から 8 月までの間、半減期約 34 日間の速度で放射能が減衰した後、数年間に亘って放射能のゆっくりとした減少が見られ、見かけの半減期は、1.5-2.0 年のレベルであったと報告している。生産場所の違いによる放射能の減少の差異についても論じており、また、ミルクと乳製品の放射性セシウム量は、牧草や干し草中の存在量に直接的に依存しており、ミルクの放射性物質の時間的変動は、それら原料の放射性物質の時間的変動と密接に対応する、としている。この結果から、論文では、牧草や干し草を餌としている牛や羊の肉の放射性物質は、放射性物質降下直後にその動物体内での生物学的半減期が放射線量の減少に影響を与える場合を除き、同様の時間的変動パターンを示すことを示唆している。

### 【108】チェルノブイリ事故後のセシウ-137 汚染食品の摂取による内部被曝 報告 1. 一般モデル : ウクライナ・リウネ州 (Rovno Oblast) の成人の摂食放射線量と被曝対策の効果

- 英語タイトル : Internal Exposure from the Ingestion of Foods Contaminated by  $^{137}\text{Cs}$  after the Chernobyl Accident. Report 1. General Model: Ingestion Doses and Countermeasure Effectiveness for the Adults of Rovno Oblast of Ukraine
- 著者名 : Likhtarev I. A., Kovgan L. N., Vavilov S. E., Gluvchinsky R. R., Perevoznikov O. N., Litvinets L. N., Anspaugh L. R., Kercher J. R., Bouville A.
- 雑誌名 : Health Physics, 70(3), 297-317(1996)
- 論文種別 : 原著論文
- 核種 : セシウム-137

- 研究対象：食品
- キーワード：Cs-137, Chernobyl, accidents, reactor, dose assessment
- 索引用キーワード：チェルノブイリ、内部被曝、ミルク
- 引用の図表点数：図 12 点、表 11 点

#### 【要約】

1986 年 4 月のチェルノブイリ事故では 70-100 P(μ)Bq のセシウム-137 が大気中に放出された。本報告ではウクライナ・リウネ州（Rovno Oblast）北部の成人におけるセシウム-137 の摂取による被曝量の調査結果を著している。この地域のセシウム-137 放射性降下物はウクライナの他の地域に比べると少なかったが、土壌から牛乳へのセシウム-137 の移行率は高く（20 Bq/L per kBq/m<sup>2</sup> まで）、このため、内部被曝量が外部被曝量を超える結果となっている。セシウム-137 の土壌堆積、牛乳汚染及び体内負荷について数多くの測定がなされ、セシウム-137 汚染食物の摂取による内部被曝の一般モデル式の基礎が築かれた。本論文は二つの目標があり、

①異なる措置策が講じられた場合にセシウム-137 汚染食物の摂取による内部被曝がおこるプロセスを現象論的にとらえ一般モデル化すること、

②事故後 6 年までの限られた期間であるが、リウネ州（Rovno Oblast）北部の成人に対して（第 1 報）、そのモデルを当てはめて検証することである。

成人が実際に受けた放射線量は、措置を実施しなかった場合と比べて、1/4 から 1/8 に減少した、と報告している。

### 【109】牛乳のヨウ素移行係数値の再評価

- 英語タイトル：A Review of Measured Values of the Milk Transfer Coefficient (fm) for Iodine
- 著者名：Hoffman FO
- 雑誌名：Health Physics, 35(Aug.), 413-416(1978)
- 論文種別：原著論文
- 核種：ヨウ素-131
- 研究対象：畜産物
- キーワード：transfer coefficient, milk
- 索引用キーワード：移行係数、ミルク
- 引用の図表点数：表 2 点

#### 【要約】

環境から牛乳へのヨウ素-131 の移行を予測する際の移行係数(fm)として  $1 \times 10^{-2}$  d/l が多くの公表された環境評価で使用されているが、アメリカ合衆国原子力規制委員会の規制ガイド 1.109 では、fm の値として牛乳で  $0.6 \times 10^{-2}$  d/l、ヤギ乳で  $6 \times 10^{-2}$  d/l を推奨している。本論文では、これらの値の妥当性について検討するため、出版された文献中のデータから、家畜によるヨウ素の吸収と畜乳への蓄積が平衡状態において測定されたと考えられるデータを選択し分析した。分析の結果、地域に特有な測定値がない場合においては、fm の値として牛乳で  $1 \times 10^{-2}$  d/l、ヤギ乳で 0.5 d/l が適切であることが明らかになった、としている。

### 【110】放射性セシウムの食品への移行に関する時間的及び空間的予測

- 英語タイトル：Temporal and spatial prediction of radiocaesium transfer to food products
- 著者名：Gillett AG, Crout NM, Absalom JP, Wright SM, Young SD, Howard BJ, Barnett CL, McGrath SP, Beresford NA, Voigt G
- 雑誌名：Radiation and Environmental Biophysics, 40(3), 227-235(2001)
- 論文種別：原著論文
- 核種：セシウム
- 研究対象：食品
- キーワード：radiocaesium transfer prediction, food, soil, flux, Chernobyl
- 索引用キーワード：移行予測、食品、土壌、チェルノブイリ
- 引用の図表点数：図 5 点、表 4 点

#### 【要約】

本論文は放射性物質の食品への移行予測を目的としている。空間的土壌データベース（交換性 K、pH、粘土含量と有機物含量）から利用可能な土壌特性を使用して食品中の放射性セシウム濃度を予測するために、最近開発された半機械的時間モデルを用いている。イングランドとウェールズに関する土壌特性、放射性セシウム沈着及

び作物生産データについてのラスタデータベースを開発し、食品中の放射性セシウム濃度 (Bq/kg) の時空間パターンを予測するために使用している。この予測と農業生産の空間データを組み合わせることにより、放射性セシウムの面積あたりの放出 (output) が推定できる。著者らは、これを flux (単位面積当たりの Bq/年) と定義している。モデル予測を 1986 年のチェルノブイリ事故により比較的高レベルの放射性降下物汚染を受けたイングランドとウェールズの地域 (Gwynedd 群と Cumbria 群) における牛乳中の放射性セシウム汚染の観測データと比較したところ、観測データ変動のそれぞれ 56% 及び 80% を予測モデルで説明できたとしている。本論文で提示しているイラスト化した空間予測結果は、食品の汚染地域に関して、イングランドとウェールズの北方及び西方地域が放射性セシウム堆積に対して脆弱であることを示唆した。また、flux を用いて脆弱性を評価した場合には、空間パターンがより複雑で、食品に依存するようになる、としている。

## 【111】チェルノブイリ原子炉事故後に生じた放射性降下物に含まれる放射性同位体 (ヨウ素-131、セシウム-134 及びセシウム-137) のチーズ製品への移行

- 英語タイトル: Transport of the radioisotopes iodine-131, cesium-134, and cesium-137 from the fallout following the accident at the Chernobyl nuclear reactor into cheese and other cheesemaking products
- 著者名: Assimakopoulos PA, Ioannides KG, Pakou AA, Papadopoulos CV
- 雑誌名: Journal of Dairy Science, 70, 1338-1343(1987)
- 論文種別: 原著論文
- 核種: ヨウ素-131、セシウム-134、セシウム-137
- 研究対象: 食品、畜産物
- キーワード: cheese making, transport of radiation contamination, sheep milk, cream
- 索引用キーワード: チーズ、ミルク、クリーム、移行、チェルノブイリ
- 引用の図表点数: 図 3 点、表 5 点

### 【要約】

本論文では、チェルノブイリ原子炉事故後の放射能汚染物質について、チーズ製品の製造過程における移行調査の結果を報告している。羊のミルク及びグリュイエールチーズ(Gruyère)試料での放射性ヨウ素及びセシウム濃度について、10 日間連続して製造製品の調査を行なった結果、放射性核種 (ヨウ素-131、セシウム-134 及びセシウム-137) の濃度が 100Bq/L であるミルクから、 $82.2 \pm 3.9$  Bq/kg のヨウ素、及び平均  $42.3 \pm 2.3$  Bq/kg のセシウム同位体を含むチーズが生産されることが明らかとなった。同じミルクから得られるクリーム中のヨウ素-131 濃度は  $26.7 \pm 2.8$  Bq/kg、セシウム-134 とセシウム-137 の平均濃度は  $18.6 \pm 1.9$  Bq/kg である、としている。

## 【112】牛乳からチーズへの放射性セシウム及び放射性ストロンチウムの移行過程における変動

- 英語タイトル: Variations in the transfer of radiocesium ( $^{137}\text{Cs}$ ) and radiostrontium ( $^{90}\text{Sr}$ ) from milk to cheese.
- 著者名: Besson B., Pourcelot L., Lucot E., Badot PM.
- 雑誌名: Journal of Dairy Science, **92**(11), 5363-5370(2009)
- 論文種別: 原著論文
- 核種: セシウム-137, ストロンチウム-90
- 研究対象: 畜産物
- キーワード:  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ , cheese, milk
- 索引用キーワード:
- 引用文献の図表点数: 図 2 点、表 3 点

### 【要約】

本研究は、凝集にレンネットを使用した 3 種のフランスチーズ製造において、人工放射性核種の放射性セシウム ( $^{137}\text{Cs}$ ) と放射性ストロンチウム ( $^{90}\text{Sr}$ ) の牛乳からホエイとチーズへ移行を比較したものである。 $^{137}\text{Cs}$  において、チーズの種類による製品への放射性核種の移行には差が見られなかったが、コムテチーズにおいて加工係数 (Processing factor, Pf; 牛乳中の放射能濃度に対するチーズまたはホエイ中の放射能濃度の比率) に大きな変化が見られたことは、このチーズの製造工程では  $^{137}\text{Cs}$  の移行が変化することを示している。 $^{137}\text{Cs}$  のほとんどは液相に存在し、ホエイにおいて濃縮され、ホエイに移行した  $^{137}\text{Cs}$  では Pf 値は 0.86 から 1.30 の間が得られた ( $n = 12$ )。Ca 濃度より算出した加工効率を用いて得られる食品加工保持係数 (Food processing Retention factor,

Fr；加工後の食品に残留した放射性核種の放射能濃度の割合）は0.85から1.19の間の値が得られた（n=9）。これらから<sup>137</sup>Csにおいてホエイ及びチーズ製品でのPf値とFr値に統計学的な差がないことを確認した。ホエイへの<sup>137</sup>Csの移行は一定で、チーズ製品の種類に影響しなかった。また、<sup>137</sup>CsのPf値とその科学的類似物質（<sup>40</sup>K）との間に相関がないという結果は、<sup>137</sup>Csの日常製品への移行経路と異なるということを示している。チーズへ移行した<sup>90</sup>SrにおいてPf値は3.95から12.16の間の値をとり、チーズの種類によって有意な差が認められた。さらに、<sup>90</sup>Srにおいて、高いCa濃度の硬質系チーズは高いPf値を示し、チーズ中の<sup>90</sup>SrのPf値とCa濃度に直線的な相関がみられ（ $r^2=0.57$ ）、Fr値が一定の値を示した（0.66–0.83）。これは硬質系チーズが他のチーズより<sup>90</sup>Srの影響を受けやすいことを示している。事故による汚染が起きた場合、製造するチーズの種類を変えることにより、食品への放射性物質汚染を低減することが可能である、と述べている。

### 【113】低地と高地の牧場における放射性降下物ストロンチウムとセシウムの植物から牛乳への移行

- 英語タイトル：Fallout strontium and cesium transfer from vegetation to cow milk at two lowland and two Alpine pastures.
- 著者名：Gastberger M., Steinhäusler F., Gerzabek MH., Hubmer A.
- 雑誌名：Journal of Environmental Radioactivity, **54**(2),267-273 (2001)
- 論文種別：原著論文
- 核種：ストロンチウム-90、セシウム-137
- 研究対象：畜産物
- キーワード：transfer, vegetation-to-cow milk, pasture, fallout, strontium, <sup>90</sup>Sr, <sup>137</sup>Cs
- 索引用キーワード：
- 引用文献の図表点数：表4点

#### 【要約】

高地の牧場では低地の牧場より放射性セシウムの土壌から植物へ移行係数が高いことはよく知られており、近年著者らは放射性ストロンチウムにおいても同様の結果が得られたことを報告済である。牛乳の汚染はフォールアウトした放射性核種の土壌から植物への移行だけでなく、植物から牛乳への移行も関連している。放射性セシウムの飼料から牛乳への移行とその要因について調べた報告は少ない。本研究では、2つの高地にある牧場（自然放牧）と2つの低地にある牧場（管理飼育）から採集した牛乳中の<sup>137</sup>Cs、<sup>90</sup>Srと安定同位体ストロンチウム濃度のデータを示し、放射性核種の植物から牛乳への移行係数を決定することを目的としている。4つの牧場での<sup>137</sup>Csの移行係数は0.0009から0.0045 d l<sup>-1</sup>の間を示している。<sup>90</sup>Srの移行係数は0.0005から0.0012 d l<sup>-1</sup>の間で、安定同位体ストロンチウムの移行係数と直線的な相関関係が見られた（0.0006から0.0013 d l<sup>-1</sup>）。高地の牧場では低地の牧場より高い移行係数が見られたが、いずれの値もIAEA（1994）が推奨したストロンチウムの移行係数より低い値を示している（0.0028 d l<sup>-1</sup>）。<sup>90</sup>Srや安定同位体ストロンチウムの移行係数が高地より低地の牧場で低かったのは、カルシウム濃度の高い飼料を日常的に摂取することによるものである（放牧ではなく管理飼育による影響もある）、と述べている。

### 【114】土壌や植生と比べて高地での乳製品での放射性核種活性の低変動性：環境調査への有効性

- 英語タイトル：Lower variability of radionuclide activities in upland dairy products compared to soils and vegetation: implication for environmental survey.
- 著者名：Pourcelot L., Steinmann P., Froidevaux P.
- 雑誌名：Chemosphere, **66**(8), 1571-1579 (2007)
- 論文種別：原著論文
- 核種：セシウム-137、ストロンチウム-90
- 研究対象：畜産物
- キーワード：soil, grass, milk, <sup>90</sup>Sr, <sup>137</sup>Cs, transfer model
- 索引用キーワード：
- 引用文献の図表点数：図3点、表5点

#### 【要約】

放射性核種による環境汚染は土壌と牧草サンプルを用いて評価されることが多いが、放射性核種は土壌に均一

に分布しているわけではない。過去に Mercantour 地方（フランス西部アルプス）での、チェルノブイリによる広範囲（かつ不均一）な  $^{137}\text{Cs}$  の沈着が観察された。そこで、本研究では、牛乳及びチーズ中の放射性核種（ $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{90}\text{Sr}$ 、 $\text{Pu}$ ）を土壤及び牧草と比較することで、食品における Mercantour 地方の放射性核種の沈着レベルを明らかにし、さらに  $^{137}\text{Cs}$  及び  $^{90}\text{Sr}$  の未公表のデータを含む過去の文献から牛乳サンプルの「健全性」を評価することを目的としている。西アルプスにおける土壤及び牧草での  $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{90}\text{Sr}$  と  $^{239+240}\text{Pu}$  の沈着は、広範囲で不均一に分布していることが明らかとなった。さらに、 $^{137}\text{Cs}$  と  $^{90}\text{Sr}$  含量は牧草や土壤より牛乳では変化がないことが認められた。これは広範囲に渡る放牧牛によって均一化されたことによる、と述べている。そのため、牛乳は土壤や牧草より広範囲の放射性同位体汚染を評価するために優れたサンプルだと考えられる。西ヨーロッパにおける放牧の高度と土壤と牛乳の汚染との関係を明らかにするため、著者自身の未公表の  $^{90}\text{Sr}$  データと文献データで比較することによって評価した結果、土壤汚染と高度に正の相関が認められたが、牛乳中の  $^{90}\text{Sr}$  活性は高度とより緊密な相関があることを示した。よって、山間部の放射性核種  $^{90}\text{Sr}$  による汚染地域の評価のために牛乳が評価指標として極めて適していることが確認できた、と述べている。

## 【115】チェルノブイリ事故後の食堂での食品からの $^{137}\text{Cs}$ 取り込み

- 英語タイトル： $^{137}\text{Cs}$  uptake with cafeteria food after the Chernobyl accident.
- 著者名：Voigt G., Paretzke HG.
- 雑誌名：Health Physics, **63**(5), 574-575 (1992)
- 論文種別：原著論文
- 核種：セシウム-137
- 研究対象：食品
- キーワード： $^{137}\text{Cs}$ , food chain, Chernobyl, whole-body counting
- 索引用キーワード：
- 引用文献の図表点数：図 2 点、表 0 点

### 【要約】

本論文では、チェルノブイリ事故後、研究センターの食堂で提供される食事及びそこで食事する従業員の放射性セシウム濃度を 1 年以上にわたり測定し、比較している。食事及び人における  $^{137}\text{Cs}$  濃度の月ごとの経時的な平均値は、1987 年 3 月から 7 月の間（即ち、事故後わずか 1 年）で最も高い値を示した。食事では、献立が豚肉、牛乳及び乳製品で構成されているとき、最も高い濃度が検出された。従業員では、全身の測定値から算出した 50 年間の累積実効被ばく量は、男性従業員で 0.21mSv、女性従業員で 0.15 mSv であった。食堂の食べ物は、チェルノブイリ事故による被爆に、ほんのわずかな割合しか影響を及ぼしていないことが示された、と述べている。

## ⑬ 畜産物・食肉等について

## 【116】～【125】

### 【116】放射性核種の畜産物への移行：移行係数の改訂推奨値

- 英語タイトル：Radionuclide transfer to animal products: revised recommended transfer coefficient values
- 著者名：Howard B. J., Boresford N. A., Barnett C. L., Fesenko S.
- 雑誌名：Journal of Environmental Radioactivity, 100, 263-273(2009)
- 論文種別：原著論文
- 核種：ヨウ素、ストロンチウム、セシウム、プルトニウムなど多数
- 研究対象：畜産物
- キーワード：transfer coefficient, animal product, milk, meat, egg, goat, sheep, pig, hen
- 索引用キーワード：移行係数、畜産物、ミルク、肉、卵、放射性核種
- 引用図表点数：図 1 点、表 10 点

### 【要約】

本論文は、種々の放射性核種の畜産物への移行に関して報告している。広範囲にわたるロシア語の総説情報を含め、畜産物への放射性核種の移行係数を導くために使用できるデータの編集を行ってきた。その結果得られたデータベースは、(i)牛、羊及び山羊の乳、(ii)牛、羊、山羊、豚と鶏の肉、そして(iii)卵に対する一連の放射性核種に対して移行係数の推奨値を提供するために用いられてきた。これらの値は、TRS 364(「温暖地での放射性核種

の移行予測のための特性値ハンドブック」、国際原子力機関、1994 年)と呼ばれたハンドブックに代わる、移行特性に関する国際原子力機関の新たなハンドブックで使われている。本論文では、データの同定・照合の方法と手順、そして用いた前提について概説している。TRS 364 における“予想”値と、新たなデータベースから得られる改訂されたハンドブックにおける推奨値との間には、顕著な差がある。3つのミルクの推奨値で、TRS 364 の値と比較して、少なくとも一桁大きくなり（クロム及びプルトニウム（牛）、プルトニウム（羊））、一つのミルクの推奨値で低い値となる（ニッケル（牛））。肉では、4つの値（アメリシウム、カドミウム及びアンチモン（牛）、沃素（豚））で、TRS 364 の値よりも、少なくとも一桁大きくなり、8つの値（ルテニウム及びプルトニウム（牛）、ルテニウム、ストロンチウム及び亜鉛（羊）、ルテニウム及びストロンチウム（豚）、マンガン（鶏））で少なくとも一桁小さくなる。論文では、これらのデータにはまだ多くのギャップがあることも指摘している。

## 【117】塩性湿地植物から羊の組織、ミルクへの放射線核種の移行

- 英語タイトル：The transfer of radionuclides from saltmarsh vegetation to sheep tissues and milk
- 著者名：Beresford NA, Howard BJ, Mayes RW, Lamb CS.
- 雑誌名：Journal of Environmental Radioactivity, 98(1-2), 36-49(2007)
- 論文種別：原著論文
- 核種：コバルト-60、ニオブ-95、ルビジウム-106、セシウム-134、セシウム-137、プルトニウム-238、プルトニウム-239/240、アメリシウム-241
- 研究対象：畜産物
- キーワード：sheep tissues, sheep milk, plutonium, americium, cesium, Ravensglass Estuary, saltmarsh vegetation, transfer
- 索引用キーワード：羊、組織、ミルク、塩性湿地植物、移行、牧草
- 引用の図表点数：図 2 点、表 6 点

### 【要約】

セラフィールド再処理プラントからアイルランド海に放出される放射性核種は、イギリス西海岸沿いの、海潮で洗われる牧草地に堆積する。これら牧草地の多くで羊や牛が放牧されている。本論文ではセラフィールドプラントの近くで収穫した塩性湿地植物を、子羊や成体の雌羊に 8 週間与えた制限給餌研究について報告している。可食組織に含まれるコバルト-60、ニオブ-95、ルビジウム-106、セシウム-134、セシウム-137、プルトニウム-238、プルトニウム-239/240 及びアメリシウム-241 の放射能濃度を測定し、移行パラメーターを試算した。数種の放射性核種については、(短期間の試験では)食餌中の放射能濃度と平衡に達しないと考えられる。それでも本研究の期間は、子羊が塩性湿地で放牧される期間と同程度であり、農業管理の観点から十分現実に即したものである。セラフィールド近隣の塩性湿地で放牧される成体羊のミルクに含まれるセシウム-137 とプルトニウム-239/240 の放射能濃度を測定した現地調査研究についても併せて報告されている。

## 【118】異なる環境源からの放射性セシウムの雌羊と授乳期の子羊への移行

- 英語タイトル：Transfer of Radiocesium from Different Environmental Sources to Ewes and Suckling Lambs
- 著者名：Howard BJ, Mayes RW, Beresford NA, Lamb CS
- 雑誌名：Health Physics, 57(4), 579-586(1989)
- 論文種別：原著論文
- 核種：セシウム-137
- 研究対象：畜産物
- キーワード：Chernobyl, Sellafield, Milk, Hay, Lamb, Transfer factor
- 索引用キーワード：チェルノブイリ、セラフィールド、乳、羊、移行係数
- 引用の図表点数：図 1 点、表 6 点

### 【要約】

本論文は、由来の異なる飼料を用いて、雌羊と子羊の組織への放射性セシウムの移行を室内実験と比較したものである。授乳中の雌羊に、チェルノブイリ放射性降下物の汚染があるホソムギ、またはセラフィールド核燃料再処理工場の海洋投棄物の汚染のある塩性湿地植物を与えた。その結果、雌羊の組織と乳への放射性セシウムの移行は、チェルノブイリ放射性降下物汚染のある牧草の方が多いことが明らかになった。植物飼料と乳の混合物を摂取している子羊に、チェルノブイリ由来とセラフィールド由来の二種類の植物のうち一方、または実験で使

われた雌羊の乳を経由して放射性セシウムを与えた。子羊の組織への放射性セシウムの移行の度合いは、乳>チェルノブイリ放射性降下物（を含むホソムギ飼料）>セラフィールド投棄物（を含む植物飼料）の順で減少した。子羊組織への放射性セシウムの移行は、雌羊組織へのそれを上回った。チェルノブイリ放射性降下物からのセシウム-137の移行係数は、最近の報告値よりも高く、雌羊筋肉で  $0.12 \text{ d} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、子羊筋肉で  $0.50 \text{ d} \cdot \text{kg}^{-1}$  であった。また、セシウム-137の雌羊乳から子羊筋肉への移行係数は  $1.20 \text{ d} \cdot \text{kg}^{-1}$  であった、としている。

## 【119】 ヒトが摂食する動物肝臓中のプルトニウム-239/240 とセシウム-137 降下物量

- 英語タイトル：Fallout  $^{239/240}\text{Pu}$  and  $^{137}\text{Cs}$  in Animal Livers Consumed by Man
- 著者名：Bunzl K, Kracke W
- 雑誌名：Health Physics, 46(2), 466-470(1984)
- 論文種別：原著論文
- 核種：プルトニウム-239/240、セシウム-137
- 研究対象：畜産物
- キーワード：animal liver, fallout
- 索引用キーワード：動物、肝臓、放射性降下物
- 引用の図表点数：図 3 点、表 1 点

### 【要約】

本論文では、数種の動物の肝臓に含まれる放射性降下物 Pu-239/240 と Cs-137 の量を測定している。その結果、と殺されるまでの期間が短く 2 年未満である豚、七面鳥、鶏、ノロジカ (roe-deer)、若い北ドイツ荒れ地羊 (North German moorland sheep)、及び牛の肝臓からは、 $2\text{--}20 \text{ fCi/Kg}$  と比較的低濃度のプルトニウム-239/240 が検出された。一方、老齢でと殺されたシャモア (シャモア属のカモシカ, chamois) と北ドイツ荒れ地羊の肝臓は  $80\text{--}100 \text{ fCi/Kg}$  を示した。これは長い生育期間にプルトニウム-239/240 が蓄積されたためと考えられる。豚、ノロジカ、羊、牛、及び若い荒れ地羊の肝臓に含まれるプルトニウム-239/240 の濃度は、他の食品に含まれるプルトニウム-239/240 濃度と同じオーダーであった。セシウム-137 については羊、ノロジカ (roe-deer)、豚、鶏、七面鳥では低い濃度 ( $10\text{--}50 \text{ pCi/Kg}$ )、シャモアでは若干高い濃度 ( $151 \text{ pCi/Kg}$ ) であった。一方、荒れ地羊では若い羊について  $3,690 \text{ pCi/Kg}$ 、老いた羊について  $1,300 \text{ pCi/Kg}$  という高い値となった。これは荒れ地羊の主なエサであるギリユウモドキ (ヒース, heather) にセシウム-137 が蓄積されているためと考えられる、としている。

## 【120】 様々な放射性核種の畜産物への移行係数の算定

- 英語タイトル：Quantifying the transfer of radionuclides to food products from domestic farm animals
- 著者名：Howard BJ, Beresford NA, Barnett CL, Fesenko S
- 雑誌名：Journal of Environmental Radioactivity, 100, 767-773(2009)
- 論文種別：原著論文
- 核種：セシウム、ヨウ素、ストロンチウム等対象核種
- 研究対象：畜産物
- キーワード：ruminants, pigs, radionuclides, transfer, meat, milk, eggs, gut absorption, poultry, concentration ratio, transfer coefficient
- 索引用キーワード：畜産物、移行係数、消化管、吸収係数
- 引用の図表点数：図 1 点、表 5 点

### 【要約】

本論文では、様々な放射性核種の畜産物への移行係数算定の詳細が解説されている。そこでは、1994 年に IAEA によって報告された移行係数 (TRS 364) を改定するために、その礎となるデータベースの再構築について言及されている。具体的には、ロシア語で書かれた情報や 1990 年代初頭に発表されたデータの取り込み等が報告されている。また、今回の改訂 (2009 年) においては、成長した家畜における消化管からの吸収係数を、ICRP によって勧告されたヒト成人の値とほぼ同じとして移行係数が算定されている。さらに本改訂版では、TRS 364 に比べてより多くの放射性核種について畜産物への移行係数が示されている。また、移行係数に代わる指標として concentration ratio (CR) の使用が提案されており、その考え方についても解説されている。

本論文は、改訂された放射性核種の畜産物への移行係数に関して、その算定方法の根拠を示すものである。



## 【121】常在性の安定同位体元素（特にヨウ素）を用いた家畜製品への放射性核種の移行係数の検証

- 英語タイトル：Verification of radionuclide transfer factors to domestic animal food products, using indigenous elements and with emphasis on iodine
- 著者名：Sheppard SC, Long LM, Sanipelli B.
- 雑誌名：Journal of Environmental Radioactivity, 101, 895-901(2010)
- 論文種別：原著論文
- 核種：ヨウ素-129
- 研究対象：畜産物、食品
- キーワード：milk, beef, swine, egg, poultry, honey
- 索引用キーワード：安定同位体、放射性核種、家畜製品、移行
- 引用図表点数：図4点、表6点

### 【要約】

本論文では、植物からミルク、卵、肉等の家畜製品への放射性核種の移行に関するデータを充実させることを目的として、カナダの酪農、家禽及びその他の畜産農家において安定同位体元素を用いて調査した移行データを定量化している。特に本論文では、核燃料廃棄物由来の放射性核種であるヨウ素-129の挙動を正確に検証する必要があったため、ヨウ素の分析について詳細に報告している。また重要な知見として、製品/基質の濃度比（CR）が種を越えて一定である一方、従来の移行係数（TF）は家畜の体重（餌の摂取量）によって異なることから、長期的な評価にはTFよりCRを用いることが推奨される、としている。

## 【122】異なるタイプのハチミツ中に含まれるプルトニウム-239/240、セシウム-137、ストロンチウム-90及びカリウム-40

- 英語タイトル： $^{239/240}\text{Pu}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ , and  $^{40}\text{K}$  in Different Types of Honey
- 著者名：Bunzl, K., Kracke, W.
- 雑誌名：Health Physics, 41, 554-558(1981)
- 論文種別：原著論文
- 核種：プルトニウム-239/240、セシウム-137、ストロンチウム-90、カリウム-40
- 研究対象：農産物、食品
- キーワード：radionuclide, honey, bioindicator
- 索引用キーワード：放射性核種、ハチミツ、バイオインジケータ
- 引用図表点数：表2点

### 【要約】

本論文では、異なるタイプのハチミツ（花蜜、甘露蜜、ヘザーハニー）に含まれる放射性核種の濃度を測定し、比較している。その結果、プルトニウム-239/240、セシウム-137、ストロンチウム-90、カリウム-40の濃度は、ハチミツの種類によって異なっていた。ハチミツを放射性核種のバイオインジケータとして利用するには、花粉分析によってハチミツの性質を調べることが必要である、と結論づけている。

## 【123】反芻動物への放射性セシウムの移行に影響を与える生理学的パラメータ

- 英語タイトル：Physiological parameters that affect the transfer of radiocaesium to ruminants.
- 著者名：Skuterud L., Gaare E., Steinnes E., Hove K.
- 雑誌名：Radiation and Environmental Biophysics, 44(1), 11-15 (2005)
- 論文種別：総説
- 核種：セシウム-137
- 研究対象：畜産物
- キーワード：
- 索引用キーワード：
- 引用文献の図表点数：図0点、表0点

### 【要約】

最近では、例えば体重、乾物摂取量及び異なる動物種（特に野生動物）への放射性セシウムの移行を予測するのに有用である放射性核種の生物学的半減期のようないくつかのパラメータ間における生物学的スケールでの相関関係に新たな関心が集まっている。しかし、同種の個体間における移行係数を評価するためには、まだかなりの原因不明のばらつきがあることが知られている。本総説では、反芻動物への放射性セシウムの移行に影響を及ぼす生理的パラメータを説明し、放射性セシウムの移行係数の同種内のばらつきを減らすためにこれらのパラメータに関するさらなる理解が重要であることを論じている。消化管からの放射性セシウムの吸収における生物学的利用能の重要性に関する知見は過去 10 年～15 年間に向上した。これらの向上した知見を踏まえ、飼料消化率と生理的要因の放射性セシウムの吸収及び内因性の糞便排泄への影響に関するさらなる研究が移行係数のばらつきをより深く理解する上で重要である、と述べている。

## 【124】 トナカイにおける放射性セシウムの吸収、残存及び組織分布：食性及び放射性セシウム源の影響

- 英語タイトル：Absorption, retention and tissue distribution of radiocaesium in reindeer: effects of diet and radiocaesium source.
- 著者名：Skuterud L., Pedersen Ø., Staaland H., Røed KH., Salbu B., Liken A., Hove K.
- 雑誌名：Radiation and Environmental Biophysics, **43**(4), 293-301 (2004)
- 論文種別：原著論文
- 核種：セシウム-134
- 研究対象：畜産物
- キーワード：
- 索引用キーワード：
- 引用文献の図表点数：図 5 点、表 4 点

### 【要約】

本論文は、異なる組み合わせのコケ類と放射性核種の濃度を食餌させたトナカイにおける放射性セシウムの吸収と残存及び  $^{134}\text{Cs}$  の投与割合による動物組織の  $^{134}\text{Cs}$  蓄積について詳細に調べている。トナカイ (*Rangifer tarandus*) の子供における放射性セシウムの吸収及び残存について、コケ類と濃厚飼料、及び異なる化学形態の放射性セシウム ( $^{134}\text{CsCl}$  水溶液及びチェルノブイリ事故によるフォールアウトした放射性核種) を含む異なる割合で含む飼料を給餌したグループ間で比較を行った。フォールアウト放射性セシウムの 1 日摂取量は 15～23 キロベクレルであり  $^{134}\text{CsCl}$  の 1 日摂取量は 70～1160 キロベクレルであった。コケ類だけの飼料を与えられた動物の赤血球中の放射性セシウムの半減期は  $17.8 \pm 0.7$  日であったのに対して、コケ類と放射性核種の混合飼料を与えた動物の半減期は  $12.7 \pm 0.4$  日であり、コケ類だけの飼料を与えた動物が 40% 上回った。相当する尿や糞便における生物学的半減期はそれぞれ 60% 及び 40% 上回った。トナカイ肉への移行係数は、フォールアウト放射性セシウムで  $0.25 \pm 0.01$  日/kg、 $^{134}\text{CsCl}$  で  $1.04 \pm 0.03$  日/kg と算出した。これは放射性セシウムの生物学的利用能と残存率の結果を反映していると考えられる。赤血球の放射性セシウム吸収率に基づいて評価すると、1988 年のコケ類のチェルノブイリ事故由来のフォールアウト放射性セシウムの生物学的利用能は、 $^{134}\text{CsCl}$  と比較して、約 35% であった、と結論づけている。

## 【125】 家畜動物における放射性核種の挙動に関するロシア語研究論文に関する総説：第 1 部 腸管吸収について

- 英語タイトル：Review of Russian language studies on radionuclide behaviour in agricultural animals: part 1. Gut absorption.
- 著者名：Fesenko S., Isamov N., Howard BJ., Voigt G., Beresford NA., Sanzharova N.
- 雑誌名：Journal of Environmental Radioactivity, **98**, 85-103 (2007)
- 論文種別：総説
- 核種：セシウム-137、ストロンチウム-90 他多数
- 研究対象：畜産物
- キーワード：gastrointestinal absorption, cattle, sheep, goat, hens, radionuclides, Russian language literature
- 索引用キーワード：
- 引用文献の図表点数：図 2 点、表 9 点

#### 【要約】

広範囲にわたる家畜動物への放射性核種の移行に関する大規模な実験プログラムが旧ソ連で行われた。これらの研究のうち、消化管からの取り込みに関して英語文献で入手可能なものや国際的な総説に取り上げられたものは、ほんの一部である。本総説は、1960年代から現在までに管理した牧草地及び実験室で実施された家畜腸内における放射性核種の吸収に関するロシアの研究について、広範な情報を提示している。本総説及び付随する総説は、ロシア語で報告された家畜に関する研究のここ50年分のまとめを英語で提供することであり、第1部（本総説）では腸管吸収について、第2部では乳への移行について、第3部では筋肉及び組織への移行について、第4部では生物学的半減期について、それぞれ言及している。ここで示した情報によって家畜の腸管からの放射性核種の吸収に関する利用可能なデータ量が大幅に増加する。本総説で示したデータは英語であるという価値とともに、国際原子力機関（IAEA）の *IAEA Handbook of Parameter Values* 改訂版の中で、家畜に関する放射性核種取り込みの推奨値を提供するために使用されるだろう、と述べている。

#### ⑭ 淡水・海水生物について

【126】～【130】

#### 【126】放射性核種の淡水生物相への移行に関する国際的モデルの妥当性確認試験

- 英語タイトル：An international model validation exercise on radionuclide transfer and doses to freshwater biota
- 著者名：Yankovich TL, Vives i Batlle J, Vives-Lynch S, Beresford NA, Barnett CL, Beaugelin-Seiller K, Brown JE, Cheng J-J, Copplestone D., Heling R., Hosseini A., Howard BJ, Kamboj S., Kryshev AI, Nedveckaite T., Smith JT, Wood MD.
- 雑誌名：Journal of Radiological Protection, 30, 299-340(2010)
- 論文種別：原著論文
- 核種：コバルト-60、ストロンチウム-90、セシウム-137、トリチウム
- 研究対象：水産物、環境(土壌・水等)
- キーワード：freshwater biota, Perch Lake, EMRAS
- 索引用キーワード：淡水生物相、予測モデル、放射性核種移行
- 引用の図表点数：図2点、表15点

#### 【要約】

国際原子力機関の放射線安全性のための環境モニタリング（EMRAS）プログラムの下で、カナダ原子力公社 Chalk River 研究所敷地内にある Perch 湖において、淡水域における一次生産者、無脊椎動物、魚類、両生類、爬虫類、及び哺乳類内の放射性物質（コバルト-60、ストロンチウム-90、セシウム-137、水素-3）の濃度を、11の予測モデルを用いて、予測した論文である。追加の作業と解析により放射性核種移行の予測が改善されるが、そのために必要な地域の数、種々の生物種の予測値と実測値を比較することで明確になった。いくつかの生物種に関して、相違点は栄養レベルや安定な類似性による影響のような生態学的要因によって説明できる。哺乳類、両生類、爬虫類では、一部関連データの不足のため、モデルによる予測値と実測値の一致程度は比較的低かった。さらに、他の水域での状態を代表する条件での実験から得られた予測濃度は、過小評価となることがあった、と述べている。

#### 【127】アリューシャン列島アムチカ島及びキスカ島における海水魚及び海鳥中の放射性核種：基準の確立

- 英語タイトル：Radionuclides in Marine Fishes and Birds from Amchitka and Kiska Islands in the Aleutians: Establishing a Baseline
- 著者名：Burger J., Gochfeld M., Kosson D., Powers C.W., Friedlander B., Stabin M., Favret D., Jewett S., Snigaroff D., Snigaroff R., Stamm T., Weston J., Jeitner C., Volz C..
- 雑誌名：Health Physics, 92(3), 265-279(2007)
- 論文種別：原著論文
- 核種：コバルト-60、ユーロピニウム-52、ストロンチウム-90、テクネチウム-99、ヨウ素-129、セシウム-137、アメリカニウム-241、プルトニウム-238、プルトニウム-239/240、ウラン-234、ウラン-235、ウラン-236、ウラン-238

- 研究対象：水産物、環境(土壌・水等)
- キーワード：biological indicators, radioactivity, environmental
- 索引用キーワード：アムチトカ島、地下核実験、海水魚、海鳥
- 引用の図表点数：図 1 点、表 9 点

#### 【要約】

アムチトカ島（北緯 51 度、東経 179 度）では、1965 年から 1971 年の間に 3 回の地下核実験が行われた。1970 年代半ば以来、この地域における海水魚及び海鳥中の放射性核種に関する実質的な研究は実施されていない。この研究ではアムチトカ島におけるマダラ及びタイヘイヨウオヒョウを含む 10 種の海水魚ならびにワシカモメ、エトピリカ及びホンケワタガモを含む 5 種の海鳥中のユーロピニウム-52、コバルト-60、ストロンチウム-90、テクネチウム-99、ヨウ素-129、セシウム-137 及びアクチノイド（アメリシウム-241、プルトニウム-238、プルトニウム-239/240、ウラン-234、ウラン-235、ウラン-236 及びウラン-238）のレベルについて調査した結果を報告する。同種の試料をアムチトカ島から西へ 130km における標準地域であるキスカ島（北緯 52 度、東経 177 度）においても採取した。各試料は、同一採取場で採取されたサイズの揃った（±15%）5 個体以上の可食筋組織を混合したものとした。種間ならびにアムチトカ島及びキスカ島の試料間には差がないという帰無仮説について検証した。1,000 g の試料を 72 時間計測した結果、多くの試料について放射性核種は検出限界以下であった。また、検出された放射線核種はセシウム-137、アメリシウム-241、プルトニウム-239/240、ウラン-234、ウラン-235、ウラン-236 及びウラン-238 のみであった。上位捕食の魚については、セシウム-137 レベルの有意差が種間には存在したが地域間にはみられなかった。魚については 10 種中 8 種の一部の試料に、鳥についてはワシカモメのみにおいて検出限界以上のセシウム-137 が確認された。最もセシウム-137 レベルが高かったのはオショロコマの 0.780 Bq/kg（湿重量）及びマダラの 0.602 Bq/kg であった。アクチノイド全体では検出限界以上であったのは魚では 234 試料中 73 試料（31%）であったが、一方鳥においては 98 試料中 3 試料（3%）であった。自然界に元来存在する放射性核種であるウラン-234 及びウラン-238 はこれらの生体試料からは決まって検出されたが、アムチトカ島及びキスカ島間の試料中濃度の平均値に有意差は存在しなかった。アムチトカ島において検査した放射性核種の濃度は北半球の非汚染地域における濃度と同程度であり、汚染が知られているセラフィールド核燃料再処理工場周辺のアイリッシュ海よりも低かった、と報告している。

### 【128】放射性核種の淡水生物相への移行に関するロシア語文献のレビュー

- 英語タイトル：Radionuclide transfer to freshwater biota species: review of Russian language studies
- 著者名：Fesenko S., Fesenko J., Sanzharova N., Karpenko E., Titov I.
- 雑誌名：Journal of Environmental Radioactivity, 102(1), 8-25(2011)
- 論文種別：原著論文
- 核種：アメリシウム-241、コバルト-60、ストロンチウム-90、セシウム-137
- 研究対象：水産物
- キーワード：Review, Radionuclide transfer, Concentration ratio
- 索引用キーワード：淡水生物、魚類、移行、濃縮係数
- 引用の図表点数：図 5 点、表 13 点

#### 【要約】

本論文は、旧ロシア国内においてロシア語で発表された淡水生物相への放射性核種の移行に関する約 130 の報文をレビューし、生物種ごとの濃縮係数（以下 CR 値）について、英語で情報を提供することを目的としている。報文にある CR 値を、国際的なレビューにおいて見られる値と比較したところ、いくつかの核種については、以前報告されている平均値と良い一致を見た。しかしながら、アメリシウム-241（二枚貝、カタツムリ、浮魚類）、コバルト-60（カタツムリ、底魚、虫の幼虫）、ストロンチウム-90 とセシウム-137（底魚、動物性プランクトン）の CR 値は、以前報告されていたものとはかなり異なっている、と報告している。

本論文は、35 種類の放射性核種について淡水生物（11 種の生物グループ）における濃縮係数に関するまとまったデータを提示するものであり、放射性核種の影響評価に利用可能なデータ量を改善するものである。

### 【129】小さな森林湖における魚類へのセシウム-137 の移行

- 英語タイトル：Transfer of <sup>137</sup>Cs into fish in small forest lakes
- 著者名：Saxen R., Heinavaara S., Rask M., Ruuhijarvi J., Rand H..
- 雑誌名：Journal of Environmental Radioactivity, 101, 647-653(2010)

- 論文種別：原著論文
- 核種：セシウム-137
- 研究対象：水産物
- キーワード：<sup>137</sup>Cs, perch, pike, seepage lake, drainage lake, water chemical parameters
- 索引用キーワード：魚類、移行、濃縮係数
- 引用図表点数：図3点、表5点

#### 【要約】

本論文は、1988年から1992年の間にかけて、フィンランドの森林中の河川が流入する湖と流入しない湖における魚類へのセシウム-137の移行について、線形回帰モデルを用いて解析したものである。ここでは、湖水と魚類におけるセシウム-137含量の分析結果から魚類の濃縮係数を算出している。本研究期間において、流入河川のある湖では濃縮係数は1年につき9%ずつ減少した一方で、流入河川のない湖では1年につき4.3%ずつ増加したことを明らかにしている。また、セシウム-137の移行程度は、パイクとパーチ（いずれも淡水魚の種類）とでは有意に異なり、前者では後者と比較し1.6倍大きいことを示すとともに、パーチにおいて濃縮係数は、体長が1cm増加するごとに平均で3.4%増加したことを示している。さらに、濃縮係数に及ぼす水質の影響は、流入河川のない澄んだ湖と流入河川のある濁った湖とでは、異なる傾向であったことを示している。

### 【130】海産生物と放射能－特に海産魚中のセシウム-137濃度に影響を与える要因について

- 英語タイトル：Marine Organisms and Radionuclides - With Special Reference to the Factors Affecting Concentration of <sup>137</sup>Cs in Marine Fish -
- 著者名：笠松不二男
- 雑誌名：Radioisotopes, 48, 266-282(1999)
- 論文種別：原著論文
- 核種：セシウム-137
- 研究対象：水産物
- キーワード：marine organisms, fish, concentration factor, bioaccumulation
- 索引用キーワード：海洋生物、生物濃縮、放射性核種濃度
- 引用図表点数：図12点、表7点

#### 【要約】

環境中における海産生物中のセシウム-137濃度水準とその挙動、及びそれらを支配あるいは制御する要因について得られている知見をまとめた総説である。またセシウム-137だけではなく、安定セシウムや他の核種との関係なども必要にあわせて記載されている。

## ⑮ 基準値・規制等について 【131】 ～ 【133】

### 【131】原子力事故後の給餌に利用する際の動物飼料中に含まれる放射線核種の作業レベル (working level) の算定

- 英語タイトル：Derivation of working levels for radionuclides in animal feedstuffs for use following a nuclear accident
- 著者名：Woodman R F M, Nisbet A F.
- 雑誌名：Health Physics, 77(4), 383-391(1999)
- 論文種別：原著論文
- 核種：セシウム-134、セシウム-137、ストロンチウム-90
- 研究対象：畜産物
- キーワード：food chain, accidents, nuclear, contamination, environmental, exposure, population
- 索引用キーワード：食物連鎖、原子力事故、家畜飼料、汚染、基準値
- 引用図表点数：図4点、表7点

#### 【要約】

本論文には、将来、原子力事故が起こった際に、ヨーロッパ委員会で利用される市販動物飼料原料中の放射性

セシウムの最大許容限度が記載されている。英国での利用においては、より具体的なガイダンスが必要である。典型的な家畜飼料や飼料原料中の放射能濃度、飼料から製品への移行率の情報から、飼料原料と水中のセシウム-134、セシウム-137 とストロンチウム-90 の実用的な、作業レベル (working level) が算定され、その作業レベルを適用することにより、牛乳や畜肉、卵における放射能濃度が、対応する評議会の食品介入レベル (Council Food Intervention Level) を超えないように保証されなければならない。家畜飼料は複雑であるが、5%もしくはそれ以上の放射能の摂取に寄与するのは1～2種類の飼料原料に限られている。これらの飼料原料中の放射性セシウムの作業レベルは、最大許容レベルの20分の1から20倍まで広く分布している。ほとんどの場合においては、最大許容レベルは不必要に厳しすぎる。乳牛と産卵鶏用を除き、飼料中のストロンチウム-90の作業レベルは放射性セシウムに比べて一般的に高い。本論文では、実効性に影響を与える要因と、畜産物中の放射能濃度の低減対策として給餌内容を変えることの効果についても、言及している。

## 【132】放射線防護に関する国際委員会の歴史

- 英語タイトル: A History of The International Commission on Radiological Protection
- 著者名: Clarke R., Valentin J.
- 雑誌名: Health Physics, 88(6), 717-732(2005)
- 論文種別: 原著論文
- 核種: ヨウ素、セシウム、ストロンチウム等
- 研究対象: 防護技術
- キーワード: International Commission on Radiological Protection, historical profiles, reviews, Health Physics Society
- 索引用キーワード: 国際放射線医学会議、国際放射線防護委員会
- 引用の図表点数: 図 12 点

### 【要約】

エックス線の発見から12ヶ月を経ずして、高線量被曝による重篤な影響に関する複数の論文が発表された。第一次世界大戦以前に、複数の国において、放射線従事者の放射線被曝制限が提案されていた。1925年にロンドンで開催された第1回国際放射線医学会議(ICRP)で放射線防護に関する委員会の必要性が議論され、1928年にストックホルムで開催された第2回会議で、国際放射線防護委員会が設立された。本総説は、ICRPによる放射線防護委員会の発展の歴史について、その方針と関わった重要人物を含めて、設立当所から現代に至るまでを追跡したものである。確定的影響を避けるための従事者の線量規制の段階から、公衆被曝増大の懸念に対応する確率的影響の認識を経るまでを辿っている。1928年から1990年までのICRPによる勧告の特筆すべき点についても記載されている。

## 【133】低線量と低線量率の意味すること

- 英語タイトル: The meaning of low dose and low dose-rate
- 著者名: Wakeford R, Tawn EJ
- 雑誌名: Journal of Radiation Protection, 30, 1-3(2010)
- 論文種別: 総説
- 核種: 特定無し
- 研究対象: 放射線防護
- キーワード: radiological protection, low dose, stochastic health effects, DNA damage
- 索引用キーワード: 放射線防護、ICRP、低線量被曝、確率的影響、DNA 損傷
- 引用の図表点数: なし

### 【要約】

本文献は、放射線防護雑誌 (Journal of Radiological Protection) の編集委員会が、低線量被曝に関するグラハム・スミス氏の提言を報告した総説である。低線量被曝において、 $\beta$ 粒子や $\gamma$ 線が細胞内を通過することで生じる電子がDNAに損傷や変異を引き起こし発がんにつながるリスクがあり(確率的影響)、そのリスクは線量に比例して増大する。より高い線量では、異なる場所で生じるDNA損傷の相乗効果によって線量及びリスクの関係は2次曲線を示す。細胞には自己修復能力があるため、積算値が同じでも、繰り返し被曝した場合と一度に被曝した場合を区別して評価すべきである。1990年国際放射線防護委員会(ICRP)は、「低線量」とは吸収線量で0.2 Gy以下、より高い場合は時間あたりの線量率が0.1 Gy/h以下とし、リスク係数2を適用し、高線量の場合に比

ベリスクは半分であるとしている。しかし主として日本での生存被曝者のデータを元に線量とリスクの関係が決められているため、低い線量を長期間繰り返し被曝したときの評価ができていない。最近の論文では、低線量率でありながら積算値で上の ICRP 基準を超えた被曝事例が低線量影響評価から除外されているという問題がある一方、現在、原子力関連労働者の被曝データが蓄積されてきており、詳しい統計調査が可能になってきている。そこで、本総説では、低線量と低線量率のより良い定義を提示しており、低線量の基準値を、蓄積線量で 100 mGy 以下、時間あたりの線量率を 5 mGy/h 以下として確率的影響を評価することを提案している。

## ⑩ 実効半減期について 【134】 ～ 【140】

### 【134】 チェルノブイリの放射性降下物によって汚染された、北東スコットランドの牧草地で放牧されている、子羊中のセシウム-137、セシウム-134 及び銀-110m

- 英語タイトル：Cesium-137, <sup>134</sup>Cs and <sup>110m</sup>Ag in Lambs Grazing Pasture in NE Scotland Contaminated by Chernobyl Fallout
- 著者名：Martin C. J., Heaton B., Thompson J.
- 雑誌名：Health Physics, 56(4), 459-464(1989)
- 論文種別：原著論文
- 核種：セシウム-137、セシウム-134、銀-110m
- 研究対象：セシウム-137、セシウム-134、銀-110m
- キーワード：Chernobyl, Scotland, lamb; pasture
- 索引用キーワード：チェルノブイリ、牧草、子羊
- 引用の図表点数：図 2 点、表 5 点

#### 【要約】

本論文では、低地の牧草地に放牧されている子羊の組織中における放射性セシウムレベルの減少について、チェルノブイリの放射性降下物による汚染から 18 及び 115 日後に、子羊をと殺し調査した。この間に非汚染飼料を摂取していた個体におけるセシウムの放射能は、当初の 3.5%に減少したが、汚染された牧草地に放牧され続けていた個体では、その減少は当初の 13%であった。子羊が放牧されたこの地における、牧草中のセシウム-137 の濃度は、汚染から 11 から 110 日の間に半減期 22 日で減少した。なお、放牧される子羊により牧草地から除去される放射性セシウム核種の量は、全体のわずか 0.01%であり、（1 年後においても）40%以上が表層から 10mm 以内の土壌中に残存していた。牧草からみつかった少量の銀-110m は、半減期 8.9 日で減少した。また、この放射性物質は肝臓組織へ蓄積することが明らかになった、としている。

### 【135】 陸上及び水中生態系におけるストロンチウム-90 とセシウム-137 の生態学的半減期

- 英語タイトル：Ecological half-lives of <sup>90</sup>Sr and <sup>137</sup>Cs in terrestrial and aquatic ecosystems
- 著者名：Prohl G., Ehlken S., Fiedler I., Kirchner G., Klemm E., Zibold G.
- 雑誌名：Journal of Environmental Radioactivity, 91(1-2), 41-72(2006)
- 論文種別：原著論文
- 核種：ストロンチウム-90, セシウム-137
- 研究対象：農産物、畜産物、水産物、環境(土壌・水等)
- キーワード：<sup>137</sup>Cs, <sup>90</sup>Sr, ecological half-life, ecosystem
- 索引用キーワード：生態学的半減期、食品
- 引用の図表点数：図 6 点、表 15 点

#### 【要約】

本論文は、陸上及び水中生態系におけるストロンチウム-90 とセシウム-137 の生態学的半減期を明らかにすることを目的としている。ドイツ、デンマーク、オーストリア、スウェーデン各地で牛乳、穀物、果実、ジャガイモ、肉などの食品中におけるストロンチウム-90 とセシウム-137 の生態学的半減期を過去の調査結果などを統合して総合的に算出し、また、森林や安定した土壌、牧草地帯、さらには河川におけるストロンチウム-90 とセシウム-137 の生態学的半減期についても同様の手法で幅広く検討した。その結果、セシウム-137 は牛乳中で 1.9～9.5 年、小麦で 3.0～6.1 年、大麦で 2.5～4.5 年、ライ麦で 2.8～4.5 年、ジャガイモで 2.4～7.8 年、牛肉で 4.1～



45 年、豚肉で 1.8~15.9 年であった。またストロンチウム-90 は牛乳中で 6.3~77.1 年、小麦で 8.6~17.4 年、大麦で 5.2~18.6 年、ライ麦で 4.0~11.9 年、ジャガイモで 10.9~28.4 年であった。また森林中の各種樹木の葉におけるセシウム-137 の半減期は 1.3~11 年と大きな幅があった。土壌（深さ 10 センチ程度）ではセシウム-137 の半減期は土壌の性質によって大きく異なり、砂質の土壌では 3.7~50 年程度であったが、粘土質の土壌では 33~294 年と長時間を要することが明らかとなった。牧草地帯ではセシウム-137 の半減期は 1.3~55 年で、牧草の種類によって大きく異なり、葉物よりも草の方が短い傾向にあった。淡水系の河川では調査した 10 地点の大部分は 1 年以下であった。また各種魚類におけるセシウム-137 の半減期は短いものでは半年以内、長いものでは 6 年にも及ぶものがあった。本論文では、生態学的半減期は水系や土壌など汚染が均一ではない場合には、観察期間を相当に長く取ることが重要である、としている。

### 【136】放射能汚染された牧草におけるストロンチウム-85 及びセシウム-134 の実効半減期

- 英語タイトル：Effective Half-times of <sup>85</sup>Sr and <sup>134</sup>Cs For A Contaminated Pasture
- 著者名：Krieger HL, Burmann FJ
- 雑誌名：Health Physics, 17(6), 811-824(1969)
- 論文種別：原著論文
- 核種：ストロンチウム-85、セシウム-134
- 研究対象：畜産物、環境(土壌・水等)
- キーワード：pasture, rainfall, disappearance curve
- 索引用キーワード：牧草、除去、減衰
- 引用の図表点数：図 9 点、表 5 点

#### 【要約】

本論文では、放射能汚染された牧草からの放射線核種の減少、及び付着した放射能の降雨による除去効果について、3 種類の実験区画(220 m<sup>2</sup>)を用いて検討した結果を報告している。具体的には、Wisconsin 型の土壌断面高さ 10 インチ上に 2 インチの芝を移植したものをを用いた。1966 年の春に、自動散布機械を用いて 140 m<sup>2</sup> の区画にストロンチウム-85 及びセシウム-134 を各々 10 mCi 付着させた。区画の一部の牧草は、上部を自動的に覆うカバーで降雨を遮った。牧草の高さは区画ごとに 2 インチまたは 6 インチとした。遮蔽された区画の牧草は 1-8 日間隔で刈り取って、サンプルとした。ただし、開放部分は、75 日間の実験中にあった 20 回の降雨毎に採取した。乾燥重量当たりの放射能の統計的な分析に基づいて求めた減衰曲線は、2 種類の実効半減期を示した。遮蔽された部分の第一成分は、ストロンチウム-85 が約 10 日、セシウム-134 が約 15 日であった。両放射性同位元素の第二成分は 25 日から 50 日以上範囲であった。開放部分のサンプルは各降雨後、放射能が一様に低下した。ストロンチウム-85 とセシウム-134 の半減期の第一成分は、それぞれ平均 3-4 日であった。そのとき、開放部分の第二成分は 25 日から 50 日以上範囲であった、としている。

### 【137】植物に堆積する放射性核種の環境半減期の調査

- 英語タイトル：An examination of the environmental half-time for radionuclides deposited on vegetation
- 著者名：Miller CW, Hoffman FO
- 雑誌名：Health Physics, 45(3), 731-744(1983)
- 論文種別：原著論文
- 核種：ヨウ素-131、セシウム-141、セシウム-134、セリウム-144、ストロンチウム-90、ストロンチウム-89、ルテニウム-106、マンガン-54
- 研究対象：農作物、環境(土壌・水等)
- キーワード：Tw, Environmental removal process, Long lived radionuclide
- 索引用キーワード：Tw、環境的半減期、堆積方法、文献値
- 引用の図表点数：表 8 点

#### 【要約】

植物に堆積した後の放射性核種が環境から除去される過程は、放射性崩壊による初期汚染量の減衰と関係している。植物の放射能が自然に半減するまでにかかる時間は環境的半減期 Tw と呼ばれる。長寿命の放射性核種に関しては、植物からの汚染の除去は Tw 値により変化する。そのため、Tw 値は放射能が人体に及ぼす影響を評価するために重要なパラメーターである。根から植物への放射性核種の吸収が少なく、植物への初期堆積から収穫

までの期間が Tw 値と比較して長い場合においては、特に重要なパラメーターとなる。本論文では、様々な放射性核種について文献で報告されている Tw 値と堆積方法について調査した結果を報告している。

1) Tw 値のばらつきは、堆積する素材の物理化学的性質、植物のタイプ、生育型、気候、季節、及び実験方法にある程度関連している。

2) 通常、成育中の植物の Tw 値は、生育休止期において報告された値より低い。

3) ヨウ素の蒸気と微粒子の Tw 値は、他の元素の微粒子で報告された値より小さい。

4) 植物の重量ベースで算出される Tw 値は、土地面積ベースで算出される値より小さい。この違いは、生育による希釈効果に起因する。

5) 長寿命核種による汚染を評価するために Tw 値を選択しても、その結果にはばらつきが生じる。しかし、Tw のばらつきは、環境中放射性物質の評価で用いられる他の多くのパラメーターと比較して小さいとされる。

## 【138】刈り取った植物の放射線評価における高い土壌植物間濃縮比の影響についての検討

- 英語タイトル：An examination of the effect in radiological assessments of high soil-plant concentration ratios for harvested vegetation
- 著者名：Schwarz G, Hoffman FO
- 雑誌名：Health Physics, 39, 983-986(1980)
- 論文種別：原著論文
- 核種：テクニチウム-99
- 研究対象：農産物、環境(土壌・水等)
- キーワード：soil, soil-plant concentration ratio
- 索引用キーワード：取り込み、土壌、土壌植物間濃縮比
- 引用の図表点数：図 4 点

### 【要約】

本論文では、植物の根菌土壌からの放射性核種の取り込み効果を確認するために、実験モデルを構築し、影響を調査している。その結果、土壌から植物への放射性核種の取り込みが高いほど、また収量が高い植物ほど土壌の正常化の速度が速いこと、その一方で、半減期の短い核種では、放射性核種の取り込みが高い植物の土壌正常効果への貢献は低いことを報告している。

## 【139】環境中のセシウム-137 の崩壊

- 英語タイトル：Decay of environmental <sup>137</sup>Cs
- 著者名：Cehn JI
- 雑誌名：Health Physics, 93(4), 325(2007)
- 論文種別：総説
- 核種：セシウム-137
- 研究対象：環境(土壌・水等)
- キーワード：Decay constant, Coral atoll, Temperate zone
- 索引用キーワード：崩壊定数、実効半減期、珊瑚礁、温帯
- 引用の図表点数：図 1 点

### 【要約】

Palms らは、25 年間のモニターの結果、付着生物のセシウム-137 のレベルを経時的に調査し、この核種はゆっくりと崩壊することを明らかにした。Palm の論文の確かなデータは、核実験により生じた核分裂物質の崩壊の定量的な評価を可能にした。25 年分のセシウム-137 のデータから得られた崩壊定数は  $0.0753 \text{ y}^{-1}$  であった。この崩壊定数は、実効半減期が 9.2 年であり、セシウム-137 の半減期 (30 年) より短いことを表している。Palm らの研究は温帯において実施されたが、Robison ら (2003) は、太平洋諸島の珊瑚環礁において樹木の葉中のセシウム-137 について調査を行い、実効半減期が 8.5 年であることを報告した。温帯と珊瑚環礁とを比較すると生態系は大きく異なるが、実効半減期の値は良く一致した。仮に他のデータでもこの実効半減期が同様であるなら、興味深いことである。また、Robison らは、セシウム-137 は、土壌から地下水への移行により、樹木の根圏から減少すると推察しており、Palm らの実験においても同様な機構が働いたと考えられるとしている。

## 【140】放射性物質下降後の食品中セシウム含量の長期的減少

- 英語タイトル：Long-term effective decrease of cesium concentration in foodstuffs after nuclear fallout
- 著者名：Muck K
- 雑誌名：Health Physics, 72(5), 659-673(1997)
- 論文種別：総説
- 核種：セシウム-137
- 研究対象：農産物、畜産物
- キーワード：Fall out, Contamination, Environmental transport
- 索引用キーワード：チェルノブイリ、野菜、果物、牛乳、半減期
- 引用の図表点数：図 18 点、表 3 点

#### 【要約】

放射性物質の降下後の長期間における体内への取り込みに関係する様々な食品中の放射能の長期的減少についての総説である。本総説では、中央ヨーロッパの様々な国における減少程度をチェルノブイリ事故と過去の核実験とで比較した。また、核物質降下直後の短期的減少と最初の摂取被曝量に相当する 1 年間の経時変化についても記載した。初期の減少は、主として植物の生長による希釈に起因する。実効半減期は、成長期でのレタスやホウレンソウでは 4.2 日、牧草では 10.5 日、牛乳では 33 日であった。局所的な放射性物質降下、植物の違い、個々の動物の代謝の個体差による違いを除くため、食品のサンプリングは非常に広い地域、多数の試料で行った。長期的内部被曝と関係する 2 年目以降の放射能の減少は、初期よりはゆっくりであったが継続した。それぞれの食品における半減期は、牛乳 1.4～2.2 年、野菜 1.4～2.7 年、芋類 2.0～2.6 年、穀類 3.0～3.4 年、果実 1.2～1.6 年であった。また、牛乳の半減期は地域により異なり、オーストリア 708 日、ドイツ 663 日、チェコ 538 日であった。この半減期は、核実験の際の 4.5～4.9 年より大幅に短かった。これは、核実験の際の放射性物質の降下は何年にもわたったのに対し、チェルノブイリ事故の際は 1 回の短期間の降下であったことで説明できる、としている。

## ⑰ 防護措置等について 【141】 ～ 【151】

### 【141】チェルノブイリの放射能で汚染された地域の防護措置

- 英語タイトル：Protective Measures for Activities in Chernobyl's Radioactively Contaminated Territories
- 著者名：Alexey V Nesterenko, Vassily B Nesterenko
- 雑誌名：Annals of the New York Academy of Sciences, 1181, 311-317(2009)
- 論文種別：原著論文
- 核種：セシウム-137、ストロンチウム-90
- 研究対象：食品、農産物、畜産物
- キーワード： $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ , protective measures
- 索引用キーワード：セシウム-137、ストロンチウム-90、防護措置、土壌浄化、食品加工
- 引用の図表点数：表 4 点

#### 【要約】

チェルノブイリ事故以降、放射能で汚染された地域の状況を調査した論文である。放射性核種の内部吸収によってベラルーシ、ウクライナ、ロシアの汚染地域住民の放射能レベルは確実に増加しており、放射性核種で汚染された地域の人々の健康を守るため、農業、林業、畜産、漁業に関して特別な保護が必要である。フェロシアン、ゼオライト、ミネラル塩の食品添加物は食肉中の放射性核種の減少に有効な処置である。農作物では、ストロンチウム-90 の拮抗剤として石灰/カルシウム、セシウム-137 の拮抗剤としてカリ肥料、ストロンチウム-90 と可溶性リン酸塩を形成するリン酸肥料を使用することで放射性核種が大幅に減少する。有機肥料と無機肥料を投入した牧草畑のディスク耕作 (Disk tillage) と再深耕は、鉍質土壌で生育した牧草のセシウム-137 とストロンチウム-90 を 1/3～1/5 に減少させる。放射性核種含有量を減らす食品加工法としては、穀物種子の洗浄、じゃがいものデンプンへの加工、炭水化物を含む食品の糖への加工、牛乳をバターやクリームへ加工する方法があり、さらに簡単な調理法によっても食品中の放射性核種を減少させることができる。ベラルーシでは、放射性核種の分散を防ぐため森林の植樹を行い、天然の隔壁として効果をあげている。放射性核種の問題解決には 150～300 年を要すると考えられ、防護措置を何世代にもわたって行う必要がある、としている。

## 【142】チェルノブイリの事故後の 20 年間にわたる農業防護対策の実施：学んだ教訓

- 英語タイトル：Twenty years' application of agricultural countermeasures following the Chernobyl accident: lessons learned
- 著者名：Fesenko SV, Alexakhin RM, Balonov MI, Bogdevich IM, Howard BJ, Kashparov VA, Sanzharova NI, Panov AV, Voigt G, Zhuchenka YM
- 雑誌名：Journal of Radiological Protection, 26, 351-359(2006)
- 論文種別：総説
- 核種：セシウム-131、セシウム-137、ヨウ素-131
- 研究対象：食品、農産物
- キーワード：Chernobyl, agriculture, countermeasures
- 索引用キーワード：チェルノブイリ、農業防護対策
- 引用の図表点数：図 3 点、表 2 点

### 【要約】

チェルノブイリ事故後の農業防護対策とその結果についてまとめた総説である。チェルノブイリ NPP（原子力発電所）の事故は、原子力エネルギーのこれまでの歴史上で最も深刻なものであるが、被災地での汚染食料の摂取が、住民の重要な放射線被曝源となった。ベラルーシ、ロシア、ウクライナの被災地域では、人々の被曝低減及び農業への影響軽減を目的として、広範囲にわたるさまざまな防護対策が実施された。本総説では、これら 3 地域で 20 年間にわたって実施された防護対策で得られた重要なデータを初めて要約すると共に、この経験から学んだ重要な教訓も記述している。

## 【143】放射線防護剤の歴史と開発

- 英語タイトル：History and development of radiation-protective agents
- 著者名：Weiss JF, Landauer MR
- 雑誌名：International Journal of Radiation Biology, 85, 539-573(2009)
- 論文種別：総説
- 核種：セシウム、ヨウ素
- 研究対象：放射線防護
- キーワード：radioprotectors, radiotherapy, antioxidant
- 索引用キーワード：急性障害、晩発障害、防護剤
- 引用の図表点数：なし

### 【要約】

種々の放射線事故シナリオに使用するため、理想的な防護剤の探索が 60 年以上行われてきた。この総説では、電離放射線の急性障害及び晩発障害に対して防護する可能性をもつ物質及び方法について評価し、主に、（１）WR-2721 などのアミノチオール系防護剤の線量低減効果、（２）SOD（スーパーオキシドディスムターゼ）などの抗酸化酵素あるいはその模倣薬について、投与にともなう放射線防護効果、（３）抗酸化栄養素（ビタミン A、C、E、 $\alpha$ -トコフェロールなど）の放射線防護効果を概説している。また、（４）フラボノイド類及びポリフェノール類などの植物化学物質の放射線防護効果について、これまでの研究例を取りまとめている。

## 【144】チェルノブイリ事故後の長期にわたるロシア連邦の農村集落での住民被曝と防護措置実施に関わる重要な要因

- 英語タイトル：Important factors governing exposure of population and countermeasure application in rural settlements of Russian Federation in the long term after the Chernobyl accident
- 著者名：Fesenko S, Jacob P, Alexakhin R, Sanzharova NI, Panov A, Fesenko G, Cecille L
- 雑誌名：Journal of Environmental Radioactivity, 56, 77-98(2001)
- 論文種別：原著論文
- 核種：セシウム-137
- 研究対象：農産物、畜産物、環境(土壌・水等)
- キーワード：countermeasures, Chernobyl, rural settlements, remediation, Russia

- 索引用キーワード：チェルノブイリ、ロシア、農村集落、環境浄化、セシウム-137、内部被曝線量
- 引用の図表点数：図 3 点、表 11 点

#### 【要約】

本論文では、チェルノブイリ事故後のロシア連邦の農村集落での住民被曝と防護措置実施に関わる要因について報告している。ロシア連邦のチェルノブイリ事故後の年間被曝量が 1mSv/a を超える汚染地域を、セシウム-137 汚染濃度、内部被曝線量、及び森林との隣接度により分類した。最大汚染地域を例外として、内部被曝線量は植物根の吸収できるセシウム-137 量の低下に伴い減少した。セシウム-137 汚染濃度が 555kBq /m<sup>2</sup> を超える地域では逆の傾向が見られた。これは、措置の縮小や停止及び立ち入り制限措置が継続している地域の森林産物の消費増加により説明可能である。27 集落を対象に過去の措置効果の評価及び住民への被曝とその経時変化を支配する最重要な要因の特定を検討した。最大 40% の被曝線量を低減する措置の効果は長期的には低下傾向にあった。農村集落における継続的な環境浄化の必要性を、一部集落及び全汚染地域に対して評価したところ、措置は少なくとも 2045 年まで重要な要因であることがわかった。根圏の改良（耕起、すき起こし、及び蒔き直し）及びセシウム結合物質（フェロシン）の動物への投与による内部被曝線量低下の大きな効果が特定の集落で認められた。森林から離れたところにある集落では汚染濃度で標準化した内部被曝線量と集落周辺の泥炭層の割合の相関に直線関係が見られた。森林近辺の集落では、この関係は弱く、内部被曝線量は森林食品産物による影響を強く受けていることが示唆された。ミルクは未だロシア農村集落での内部線量に最も関与の大きい製品であるが（森林から離れた集落では 70% 以上の寄与率である）、森林近辺の集落ではキノコによる内部被曝線量に対する影響がミルクによる影響と同程度であることが報告されている。

### 【145】放射線防護：現状と将来展望

- 英語タイトル：Radiation Protectants: Current Status and Future Prospect
- 著者名：Hayes D
- 雑誌名：Health Physics, 90, 276(2006)
- 論文種別：総説
- 核種：なし
- 研究対象：防護技術
- キーワード：neutraceutical, anticarcinogenic, fruits, vegetables
- 索引用キーワード：野菜、果物、栄養補助食品
- 引用の図表点数：なし

#### 【要約】

2004 年度「放射線防護と測定に関する国際会議（NCRP）」において発表され、“Health Physics” の 2005 年 11 月号で報告された論文「放射線防護：現状と将来展望」には、“The neutraceutical approach” の項目がある。この論文において、健康補助食品(dietary supplements)は、栄養補助食品(neutraceutical)と記載され、保護効果は大きくは無いが無毒で、極めて認容性が良好であるものとして分類されている。この論文は信用すべきであり完成度が高いが、果実と野菜による放射線防護に関する議論に欠けている。実験室レベル、並びに、疫学的レベルの事実が、それを証明している。例えば、疫学調査においては、広島と長崎の原爆からの生存者を対象にした、放射線誘発ガンに対する果実と野菜の保護効果に関する明瞭な事実が、最近報告されている。果実と野菜の抗ガン作用は、多数の弱い抗ガン作用を持つ成分の組み合わせによる相乗効果によるものであり、これが、同時に低い毒性となっている、としている。果実と野菜の放射線誘発ガンに対する保護機能に関しては、2005 年に Hayes らによる総説が発表されている。

### 【146】牛乳中の安定同位体及び放射性ヨウ素濃度：ヨウ素の摂取量の影響

- 英語タイトル：Stable and radioiodine concentrations in cow milk: dependence on iodine intake
- 著者名：Voigt G, Kiefer P
- 雑誌：Journal of Environmental Radioactivity, 98(1-2), 218-227(2007)
- 論文種別：原著論文
- 核種：ヨウ素-131
- 研究対象：畜産物
- キーワード：Stable iodine, Radioiodine, Cow milk, Transfer coefficient
- 索引用キーワード：安定ヨウ素摂取量、牛乳、移行係数、摂取基準

- 引用図表点数：図 3 点、表 5 点

【要約】

放射性ヨウ素の牛乳への移行を低減する措置としての安定ヨウ素の利用可能性を検討するため、異なる量の安定ヨウ素で飼育した牛乳由来の牛乳中の安定ヨウ素及び放射性ヨウ素濃度を調べた論文である。通常の乳牛の安定ヨウ素の平均摂取量の 20 mg/日に比べて、低摂取群 (<1.5 mg/日) では、放射性ヨウ素の移行が 25%程度減少し、摂取量が 10-500 mg/日の範囲では何ら効果が認められなかった。一方、安定ヨウ素の摂取量が 1000 mg/日以上では、2 桁の減少を達成できた。放射性ヨウ素の移行を顕著に低減するには、通常の安定ヨウ素摂取量の約 100 倍の投与摂取が必要であるが、このような過剰摂取により牛乳中の安定ヨウ素濃度がヒトの摂取基準を越える結果をもたらした。しかしながら、牛乳経路を介した安定ヨウ素の供給は、緊急事態におけるヒトの被曝線量低減のための予防策として有効である可能性がある、としている。

【147】セシウム-137 汚染土壌浄化を目的とする台湾原産植物種の評価とセシウム-137 の土壌から植物への移行におけるカリウム添加及び土壌改良の効果

- 英語タイトル：Screening plant species native to Taiwan for remediation of <sup>137</sup>Cs-contaminated soil and the effects of K addition and soil amendment on the transfer of <sup>137</sup>Cs from soil to plants
- 著者名：Chou FI, Chung HP, Teng SP, Sheu ST
- 雑誌名：Journal of Environmental Radioactivity, 80, 175-181(2005)
- 論文種別：原著論文
- 核種：セシウム-137
- 研究対象：農産物、環境
- キーワード：<sup>137</sup>Cs-contaminated soil, Phytoremediation, Transfer factor, Green manure, Taiwan
- 索引用キーワード：土壌、汚染、浄化、ナタネ
- 引用図表点数：図 3 点、表 1 点

【要約】

本論文では、台湾原産の植物種（野菜 4 種及び緑肥植物 2 種）による、汚染土壌からのセシウム-137 除去の可能性について検討している。セシウム-137 汚染土壌及び改良土壌（セシウム-137 汚染土壌に園芸土壌を混合）においてキャベツ、ホウレン草、レタス、大根、ナタネ及びクローバーを栽培し、植物体への本放射性核種の移行を調べた。このうち、セシウム-137 の移行係数（transfer factor）が高かったナタネについては、土壌へのカリウム添加が植物へのセシウム-137 移行に及ぼす影響を検討した。改良土壌で栽培した植物は、汚染土壌で栽培した植物よりも高いバイオマス生産性を示し、中でもナタネ地上部はバイオマス生産性が最も高く、セシウム-137 の移行係数も最大であった。また、現地において肥料として通常使用される 100 ppm 濃度の塩化カリウムを添加した土壌で栽培したナタネではセシウム-137 の移行が抑制された、と報告している。本論文は、台湾における一般的な緑肥植物であるナタネが、セシウム-137 汚染土壌浄化に適した植物である可能性を示すものである。

【148】野菜によるセシウム-134 の取り込みは酸性土壌に施用される消石灰に影響される

- 英語タイトル：<sup>134</sup>Cs uptake by four plant species and Cs-K relations in the soil-plant system as affected Ca(OH)<sub>2</sub> by application to an acid soil
- 著者名：Massas I, Skarlou V, Haidouti C, Giannakopoulou F
- 雑誌名：Journal of Environmental Radioactivity, 101, 250-257(2010)
- 論文種別：原著論文
- 核種：セシウム-134
- 研究対象：農産物、環境
- キーワード：Cesium, Liming, Soil, Plant, Uptake, Calcium, Pottasium
- 索引用キーワード：土壌、野菜、吸収、消石灰
- 引用図表点数：図 1 点

【要約】

本論文は、酸性土壌に消石灰（水酸化カルシウム）を施用した場合に、大根、キュウリ、大豆、ひまわりが取り込むセシウム-134 の量について検討したものである。各々可食部と非可食部についてセシウム-134 濃度と消石灰施用量との相関を検討し、全体的な傾向として消石灰を多く施用した時にセシウム-134 の吸収が低下することを見出している。その低下率はひまわり種子における 1/1.6 から大豆の非可食部における 1/6 の間に分布していた。

消石灰の施用により植物中のカリウム濃度も減少したが、その割合はセシウム-134 ほど顕著ではなかった。この結果は、土壌の石灰化がセシウム-134 吸収に及ぼす影響が、カリウム吸収に及ぼす影響よりも強いことを示唆するものであった。この観察結果について、土壌マトリックスや植物内でのイオン間相互作用という観点から議論し、消石灰の施用に伴うカルシウム濃度の上昇により土壌マトリックスへ固定されるセシウム-134 量が増加、結果として植物に取り込まれるセシウム-134 が減少したものと考察している。

本論文は、野菜へのセシウム-134 の取り込みが酸性土壌への消石灰の施用程度によって変わることを示したものである。

#### 【149】放射線生態学、放射線生物学そして放射線防護：枠組みと問題点

- 英語タイトル：Radioecology, radiobiology, and radiological protection: frameworks and fractures
- 著者名：Pentreath RJ
- 雑誌名：Journal of Environmental Radioactivity, 100, 1019-1026(2009)
- 論文種別：総説
- 核種：なし
- 研究対象：防護技術
- キーワード：Radiological protection, General public, Natural environment, Radioecology, Radiobiology
- 索引用キーワード：放射線防護、環境防護、放射線生物学、放射線生態学
- 引用の図表点数：図 2 点

##### 【要約】

本論文では、環境防護の枠組み構築の方法論について述べている。一般人の放射線防護体系は古くから存在し、今でも ICRP(国際放射線防護委員会)によって、現在の被曝状況と予測される今後の被曝状況を包括するように改良が加えられている。しかしながら、環境防護に関しては、ようやく体系的な取り組みが始まったばかりである。環境防護の枠組みの構築にあたっては、スケールは異なるが、人の防護体系と同様の枠組みを軸として展開するべきで、それは放射線生物学に基づくと共に放射線生態学の中心をなすものでなければならない、としている。

#### 【150】米国における放射線防護規定、勧告と規範の歴史

- 英語タイトル：A Review of the History of U. S. Radiation Protection Regulations, Recommendations, and Standards
- 著者名：Jones CG
- 雑誌名：Health Physics, 88(6), 697-716(2005)
- 論文種別：総説
- 核種：なし
- 研究対象：放射線防護
- キーワード：Reviews, Safety standards, Regulations, Health physics society
- 索引用キーワード：総説、規定、勧告、規範、歴史
- 引用の図表点数：表 2 点

##### 【要約】

米国における放射線防護規定、勧告、規範の歴史に関する総説である。1895 年にレントゲンによりエックス線が発見されて 3 年後、キューリー夫妻によりラジウム元素が分離された。電離放射線の医学、科学、そして工学における利用の可能性への期待が巻き起こった。他の新技術と同様に、人類の進歩にとって、放射線技術の利用はその利益と潜在的な有害性の双方をはかりにかけが必要があった。初期においては、放射線の危険性は十分理解されていなかった。数十年を経て学会や業界団体が増加し、電離放射線の利用のために標準化された手引書と勧告の確立が必要とされるようになった。現在では、職業労働者、一般人、そして環境を保護するため、米国放射線防護基準と勧告が多様化し、複雑化している。本総説では、放射線と放射性物質の安全な利用を保障するための放射線防護基準と規定の発展と適用の歴史について取りまとめられている。また、米国の放射線防護政策の基である国際的及び米国内の科学的勧告・管理組織の発展と役割について解説されている。

#### 【151】放射線防護剤：現状と今後の展望

- 英語タイトル：Radiation protectants: Current status and future prospects
- 著者名：Seed TM



- 雑誌名：Health Physics, 89(5), 531-545(2005)
- 論文種別：総説
- 核種：セシウム、ストロンチウム、ヨウ素
- 研究対象：防護技術
- キーワード：National council on radiation protection and measurements, radiation, ionizing, health effects, terrorism
- 索引用キーワード：放射線防除、放射線防護剤、米国食品医薬品局
- 引用図表点数：図2点、表4点

#### 【要約】

放射線防護剤の現状と今後の展開をまとめた総説である。今日の高まりつつある核/生物学的/化学的脅威の環境では、意図しない電離放射線被ばくの健康危害リスクから、特別な高リスク集団だけでなく、広く一般の人々も守るための安全かつ効果的な措置を持つ必要がある。未だ満たされていない夢は、想定される或いは現実の核/放射線事故発生前に副作用がなくて容易に経口投与できるグローバルに有効な薬を保有することである。そのような理想的な放射線防護剤は未だなく、その開発と人への使用認可は今後の大きな課題である。アミノチオール (aminothiols) 族の代表種の薬剤、例えば Amifostine (MedImmune 社、ゲイサースバーグ、メリーランド州) は、正常組織の放射線照射や放射線作用を持つ化学物質への曝露に対する強力な細胞保護剤 (cytoprotectant) であることが証明されている。Amifostine は、現在臨床的に使用されているが、薬物毒性、限られた時間の保護作用及び薬剤管理の難しさなどの要因から、臨床以外での有効利用が制限されている。新しい安全で効果的な放射線防護剤 (radioprotectant) 探索が、次のような研究開発戦略のもと、現在、精力的に行われている。(1) 新規化学物質や天然物の大規模スクリーニング、(2) 効果があるが毒性のある既知の放射線防護剤の再構成/再構築、(3) 本質的に毒性がない、適度に保護作用を持つ栄養補助食品 (nutraceutical) の利用、(4) 放射線防護の相乗効果を促進するために、異なる保護作用メカニズムを持ち、毒性がある薬剤の低服用量による組み合わせ、(5) 曝露後の治療法での保護効果に期待できることを前提に、毒性を低減させる代償として、薬効の低レベル化の受け入れ。これらの戦略のどれが最終的に成功するかを予測することは難しいが、有用な保護剤が市場に現れる確率が高くなることは確かである。このような状況は、放射線防護への関心の復活、連邦政府機関による技術革新に対する支出の増加、及び米国食品医薬品局 (FDA) の新しい承認ガイダンス策定への動きにより作り出されている、としている。

### ⑱ 低減措置等について 【152】 ～ 【169】

#### 【152】 低レベルウラン汚染土壌のクリーンアップのための植物を利用した環境浄化 (phytoextraction)

- 英語タイトル：Phytoextraction for clean-up of low-level uranium contaminated soil evaluated
- 著者名：Vandenhove H, Van Hees M
- 雑誌名：Journal of Environmental Radioactivity, 72, 41-45(2004)
- 論文種別：原著論文
- 核種：ウラン-238
- 研究対象：環境 (土壌・水等)
- キーワード：Uranium, Phytoextraction, Citric acid, Ryegrass, Indian mustard, Clean up
- 索引用キーワード：ウラン、環境浄化、クエン酸、ライグラス、カラシナ
- 引用図表点数：図5点、表4点

#### 【要約】

核燃料サイクルからの流出(spill)はウランによる土壌汚染を招いた。放出レベル程度の小規模汚染の場合には、低コストで効率的な浄化措置が推奨される。本論文では、核燃料処理で生じる低レベルウランで汚染した砂質土壌を、植物吸収によって必要な放出限界を達成できるかどうかを検討するために実行された研究結果を報告している。供試した2種の土壌は、対照土壌 (317 Bq/kg のウラン-238) 及び同じ土壌を重炭酸塩で洗浄したもの (69 Bq/kg のウラン-238) であり、試験用植物としてライグラス (細麦; *Lolium perenne* cv. Melvina) 及びカラシナ (*Brassica juncea* cv. Vitasso) を用いた。これら植物体による土壌放射活性の年間除去率は0.1%以下であった。収穫1ヶ月前に25 mmol/kg のクエン酸を添加することにより、ウラン吸収能力が500倍高まった。15,000 kg/ha

の細麦及び 10,000 kg/ha のカラシナにより、それぞれ年間当たりの土壌放射活性の最大 3.5%及び 4.6%が除去可能である。重炭酸塩で洗浄した土壌及び対照土壌では、要求される土壌放射活性減衰水準の 1.5 倍及び 5 倍を示すことから、放出限界に達するには 10~50 年かかると予想される。しかし、クエン酸を土壌へ添加することにより、乾物生産量は減少する、としている。

### 【153】チェルノブイリ事故後 20 年間における農業分野での対応措置に関する総合的レビュー

- 英語タイトル: An extended critical review of twenty years of countermeasures used in agriculture after the Chernobyl accident
- 著者名: Fesenko SV, Alexakhin RM, Balonov MI, Bogdevitch IM, Howard BJ, Kashparov VA, Sanzharova NI, Panov AV, Voigt G, Zhuchenka YM
- 雑誌名: Science of the Total Environment, 383, 1-24(2007)
- 論文種別: 総説
- 核種: セシウム、ヨウ素
- 研究対象: 農産物、畜産物
- キーワード: Chernobyl NPP, Agriculture, Consequence, Countermeasures, Remediation
- 索引用キーワード: チェルノブイリ、農業分野、帰結、対策、修復
- 引用の図表点数: 図 10 点、表 12 点

#### 【要約】

チェルノブイリ原発事故によって多大な影響を受けたベラルーシ、ロシア及びウクライナの各国では、農業分野においても様々な対応措置が講じられてきた。本総説では、1986 年から 2006 年までの 20 年間における農業分野での対応措置について、鍵となるデータを収集すると共にその有効性について検証し、最終的に、これらの対応策により内部被曝を 30~40%低減出来たものと結論している。

### 【154】チェルノブイリ汚染地域における湖岸住民の内部被曝の主要因は湖水魚である

- 英語タイトル: Lake fish as the main contributor of internal dose to lakeshore residents in the Chernobyl contaminated area
- 著者名: Travnikova IG, Bazjukin AN, Bruk GJ, Shutov VN, Balonov MI, Skuterud L, Mehli H, Strand P
- 雑誌名: Journal of Environmental Radioactivity, 77, 63-75(2004)
- 論文種別: 原著論文
- 核種: セシウム-137
- 研究対象: 水産物、畜産物
- キーワード: Chernobyl, internal exposure, lake fish, mushrooms
- 索引用キーワード: チェルノブイリ、湖水魚、キノコ、内部被曝
- 引用の図表点数: 図 2 点、表 4 点

#### 【要約】

1986 年のチェルノブイリ事故後の 1996 年に、ロシアの 2 地域住民を対象とした、摂食パターンと体内被曝に関する調査が行われた。その結果、排水設備のない泥炭湖岸に位置するロシアのブリャンスク地域の Kozhany 村に居住する成人が、セシウム-137 の重大な汚染を受けていることが明らかとなった。湖水及び魚介類中のセシウム-137 含量は、地域の川及び流水湖と比較して 2 桁高く、チェルノブイリ放射能汚染から 10 年経過した後も、高い汚染レベルの状態を保っていた。湖水魚及び森林中のきのこにおけるセシウム-137 含量は、約 10-20 kBq/kg であり、ロシアの暫定許容基準値を 20-40 倍超えていた。湖水魚の摂食が、Kozhany 村住民の内部被曝の主な要因(寄与率 40-50%)となっていた。本論文によると、乳牛へのプルシアンブルー (Prussian blue) 投与、調理前のキノコや湖魚の本調理前煮沸、という単純な対策をとることにより、放射性物質の降下後、10 年が経過した時点でも、住民のセシウム-137 内部被曝線量を半減することが出来たとされる。

### 【155】ラットのヨウ素-131 曝露に対するヨウ化カリウム及び過塩素酸アンモニウム投与による改善効果の評価

- 英語タイトル: Evaluation of Potassium Iodide (KI) and Ammonium Perchlorate (NH<sub>4</sub>ClO<sub>4</sub>) to

#### Ameliorate <sup>131</sup>I- Exposure in the Rat

- 著者名：Harris CA, Fisher JW, Rollor EA 3rd, Ferguson DC, Blount BC, Valentin-Blasini L, Taylor MA, Dallas CE
- 雑誌名：Journal of Toxicology and Environmental Health Part A, 72, 897-902(2009)
- 論文種別：原著論文
- 核種：ヨウ素-131
- 研究対象：ヨウ素-131
- キーワード：<sup>131</sup>I exposure, radioprotectant, potassium iodide, ammonium perchlorate, thyroid gland
- 索引用キーワード：チェルノブイリ、ヨウ素カリウム、過塩素酸塩、甲状腺、ヨウ素-131 曝露
- 引用の図表点数：図 2 点、表 3 点

#### 【要約】

原子炉事故及び核テロの脅威は、放射能汚染に関連する有害な健康リスクについての懸念を高めた。ヨウ化カリウム (KI) は、一般的な放射性核分裂生成物であるヨウ素-131 曝露の治療のために、米国食品医薬品庁で現在承認されている唯一の薬剤介入である。ヨウ化カリウムは有効であるが、その放射線防護効果を最大限に発揮するためには、放射性曝露の前もしくは曝露後出来るだけ早く（数時間以内に）投与されるべきである。チェルノブイリ原子炉事故の際には、何千人もの人々に放射能汚染が生じたが、ヨウ化カリウムはすぐには投与されず、投与の遅れは小児甲状腺癌の発生率を高めた。過塩素酸塩は、ヨウ化物の甲状腺取り込みを妨げ、甲状腺から遊離ヨウ化物を放出する能力を持つため、ヨウ素-131 の毒性に対するもう一つの薬剤放射線防護剤として提案された。この論文は、放射性ヨウ化物（ヨウ素-131）による甲状腺曝露を抑えるヨウ化カリウム及び過塩素酸アンモニウムの能力を比較する目的で、ラットのヨウ素-131 曝露に対するヨウ化カリウム及び過塩素酸アンモニウム投与による改善効果について報告している。ラットにヨウ素-131 トレーサー経口投与後、0.5 時間及び 3 時間後に 30 mg/kg の過塩素酸アンモニウムもしくはヨウ化カリウムを投与した。対照群と比較し、両薬剤処理とも同程度ヨウ素-131 の甲状腺曝露を抑え、65～77% 低減させた。過塩素酸アンモニウムは、安定ヨウ化物と比較して、全身放射線防護効果が高かった。ヨウ化カリウム投与動物は、15 時間後、尿中に 30% のヨウ素 131 を排泄したのみであったのに対し、過塩素酸アンモニウムを投与したラットでは、47% であった。つまり、ヨウ化カリウム及び過塩素酸アンモニウムは、ヨウ素-131 曝露後最大 3 時間まで、ヨウ素-131 の甲状腺曝露を抑えることができることを示唆している。過塩素酸アンモニウムは、身体からのヨウ素-131 除去能力が高いため、ヨウ化カリウムよりも防護剤として優れているかも知れない、としている。

### 【156】北方林生態系での植物及び菌類中のセシウム-137 レベルに関するカリウム単独施肥の長期的効果

- 英語タイトル：Long-term effects of single potassium fertilization on <sup>137</sup>Cs levels in plants and fungi in a boreal forest ecosystem
- 著者名：Rosen K, Vinichuk M, Nikolova I, Johanson K
- 雑誌名：Journal of Environmental Radioactivity, 102(2), 178-184(2011)
- 論文種別：原著論文
- 核種：セシウム-137
- 研究対象：農産物、環境(土壌・水等)
- キーワード：bilberry, fungi, heather, lingonberry, potassium, radiocaesium
- 索引用キーワード：放射性セシウム、カリウム、菌類、植物、ギョリュウモドキ、コケモモ
- 引用の図表点数：図 5 点、表 2 点

#### 【要約】

本論文では、中央スウェーデンの森林生態系において、1992 年のカリウム単独施肥 (100 kg K/ha) によるセシウム-137 移行への長期的効果を検証した結果を報告している。3 種の低成長多年生低木であるギョリュウモドキ (*Calluna vulgaris*)、コケモモ (*Vaccinium vitis-idaea*)、コケモモ (*Vaccinium myrtillus*) 及び 4 種の野生のきのこ (*Cortinarius semisanguineus*, *Lactarius rufus*, *Rozites caperata*, *Suillus variegatus*) について、セシウム-137 の放射能濃度を測定した。カリウム施肥後 17 年が経過した施肥区での植物及びきのこのセシウム-137 の移行は、コントロールの非施肥区のものに比べ大幅に低下していた。セシウム-137 の放射能濃度は、カリウム施肥区でこの孢子嚢果 (sporocarps) で 21–58%、また植物では 40–61% コントロールと比較して低かった。その効果はすべての種において統計的に有意で顕著であったが、研究期間を通じて、セシウム放射能濃度の減少は、植物の方がきのこに比べて一貫していた。菌類や植物中のセシウム-137 放射能濃度のカリウム施肥による低減効果は、

時間の経過とともに減少したが、施肥 17 年後の 2009 年でも効果を維持していた。これらの成果は、森林へのカリウム施肥は、植物及び菌類への放射性セシウム蓄積を低減するために適切かつ有効な長期的措置であることを示唆している、としている。

### 【157】アルギン酸カルシウム、フェリシアン化鉄 (II)、ヨウ化カリウム及び亜鉛-DTPA 同時経口摂取によるラット中のストロンチウム-85、セシウム-137、ヨウ素-131、セリウム-141 体内残留の減少

- 英語タイトル Reduction of  $^{85}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{131}\text{I}$  and  $^{141}\text{Ce}$  retention in rats by simultaneous oral administration of calcium alginate, ferrihexacyanoferrate (II), KI and Zn-DTPA
- 著者名: Kargacin B, Kostial K
- 雑誌名: Health Physics, 49(5), 859-864(1985)
- 論文種別: 原著論文
- 核種: ストロンチウム-85、セシウム-137、ヨウ素-131、セリウム-141
- 研究対象: 防護技術
- キーワード: reduction, retention, oral administration, radionuclides, therapeutic agents
- 索引用キーワード: 経口摂取、放射性元素、体内残留、治療、減少
- 引用を図表点数: 表 2 点

#### 【要約】

本論文では、アルギン酸カルシウム、フェリシアン化鉄 (II)、ヨウ化カリウム混合物及びキレート剤としてのジエチレントリアミン 5 酢酸亜鉛(亜鉛-DTPA)の同時経口摂取が、放射性ストロンチウム、セシウム、ヨウ素、セリウムの体内残留にどのような効果を及ぼすかを調べている。7 週齢雌ラットに、これらの解毒剤を実験開始から 3 日間投与し、放射性元素は実験 2 日目に投与した。ストロンチウム-85、セシウム-137、ヨウ素-131 経口投与及びセリウム-141 腹腔内投与 6 日後、及びセリウム-141 経口投与 1 日後に、全身、胴体、消化管、肝臓、腎臓及び各重要臓器の放射性元素の残留を調べた結果、四薬品同時経口摂取により、経口摂取の放射性ストロンチウム、セシウム、ヨウ素及び腹腔内投与の放射性セリウムの体内残留が減少した。亜鉛-DTPA は混合物中の解毒剤の効果を低下させず、また、混合物は亜鉛-DTPA の効果に有意な影響を与えなかった。以上の結果から、アルギン酸カルシウム、フェリシアン化鉄 (II)、ヨウ化カリウム及び亜鉛-DTPA 同時経口摂取は、特に環境中放射能濃度が長期間上昇する場合の事後治療に有用な可能性がある、としている。

### 【158】乳畜ミルク中の放射性ヨウ素を減少させる方策に関するレビュー

- 英語タイトル: A Review of Countermeasures to Reduce Radioiodine in Milk of Dairy Animals
- 著者名: Howard J.B., Voigt G., Segal G.M., Ward M.G.
- 雑誌名: Health Physics, 71(5), 661-673(1996)
- 論文種別: 原著論文
- 核種: ヨウ素
- 研究対象: 食品、畜産物
- キーワード: iodine, milk, fallout, food chain
- 索引用キーワード: ミルク、餌、過塩素酸塩、チオシアネート
- 引用を図表点数: 図 2 点、表 3 点

#### 【要約】

ミルクの放射性ヨウ素による汚染を防ぐための方策についてまとめた総説である。放射能汚染していない餌を乳畜に与えることが、ミルクの放射性ヨウ素汚染を防ぐ最も効果的な手段である。また、地上に降下する他の放射性核種汚染への防護措置としても一定の効果が期待できる。他に、放射能の物理的減衰に十分な期間日持ちする乳製品に、ミルクを加工することも効果的である。ミルク中の放射性ヨウ素を低減するには、餌に添加剤を与えるという代替手法も効果がある。非放射性ヨウ素の投与は現場で実際に利用できる選択肢であるが、ミルク中の放射性ヨウ素レベルをせいぜい 3 分の 1 程度にしか低減できない。特に反芻動物の場合、既に大量のヨウ素を餌から摂取しているため、非放射性ヨウ素剤の効果を期待するには、十分に高い量(乳牛には少なくとも 1 日 1g)を与えなければならない。今のところ、異なる反芻動物種で設定された非放射性ヨウ素の最適投与量を他の反芻動物種に適用しても良いかどうか判断するにはデータが足りない。過塩素酸塩やチオシアネートなどの他の化合物もミルクや甲状腺への放射性ヨウ素移行を低減する。これらの化合物も非放射性ヨウ素と同程度の効果がある

と思われる。しかし、これらの化合物を放射性ヨウ素に適した添加剤として考えるには、ヒトや反芻動物への効果や悪影響（＝毒性の有無）に関する情報が不十分である。本総説では、動物種によって放射性ヨウ素がどの程度ミルクへ移行するのか、ヨウ素剤の経口投与でどの程度抑えられるのか、過塩素酸カリやチオシオン化カリを投与した際の動態や効率に関して、それぞれ図表を引用して説明している。また、本文内では、ヨウ素剤やその他添加剤のリスクやベネフィットに関した論文を多数紹介している。

## 【159】セシウムとフェリシアン化鉄（プルシアンブルー：Prussian blue）の結合に関する定量解析

- 英語タイトル：Quantitative determination of cesium binding to ferric hexacyanoferrate: Prussian blue
- 著者名：Faustino PJ, Yang Y., Progar JJ, Brownell CR, Sadrieh N., May JC, Leutzinger E., Place DA, Duffy EP, Houn F., Loewke SA, Mecozzi VJ, Ellison CD, Khan MA, Hussain AS, Lyon RC.
- 雑誌名：Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis, 47(1), 114-125(2008)
- 論文種別：原著論文
- 核種：セシウム-134
- 研究対象：セシウム-134
- キーワード：Prussian blue, Cesium binding, pH-profile, GI model, Particle size, Moisture, Atomic emission, Spectroscopy, Product quality
- 索引用キーワード：プルシアンブルー、フェリシアン化鉄、市販医薬品、セシウム結合能
- 引用の図表点数：図 11 点、表 3 点

### 【要約】

不溶性のプルシアンブルー（PB）としても知られているフェリシアン化鉄（ $\text{Fe}_4\text{III}[\text{FeII}(\text{CN})_6]_3$ ）は、市販医薬品 Radiogardase の有効成分である。Radiogardase は、放射能拡散兵器のような重大な放射線事故において、放射性セシウムやタリウムによる内部被曝の医学的防護薬として FDA から承認されている。多くの前臨床及び臨床試験で、PB は金属陽イオンの排泄を高める治験試薬として評価されている。しかし、様々な物理的・化学的条件下で不溶性 PB へのセシウム結合能を詳細に検討した *in vitro* での研究報告は殆どない。本研究の目的は、培地の pH、粒子サイズ、及び保管条件（温度）などの特定の化学的・物理的要因による PB の有効成分及び市販医薬品の *in vitro* での結合能を評価することである。In vitro での実験条件に関して、PB がヒト消化管（GI）で遭遇する環境条件を反映するために、pH1～9 の範囲で試験を行った。セシウム結合の測定は、胃腸管滞留時間を考慮して、1～24 時間の範囲とし、妥当性が確認された原子発光分光法（AES）を用いて行った。その結果、セシウムの PB 有効成分と医薬品への結合において、pH、露出時間、保存温度及び粒径が重要な役割を果たしていることが示された。セシウム結合能は、胃内の pH と同等である 1～2 において最低であり、生理的 pH である 7.5 で最高となった。乾燥貯蔵条件は、PB からの水分損失を生じ、その結果、胃内滞留時間に比例して、PB のセシウム結合能力は低下した。PB のセシウム結合能は粒子サイズの違いによっても影響を受けた。また、幾つかの PB 有効成分と医薬品では、セシウム結合能がバッチ差による影響を受けた。特定の物理化学的特性は、PB 有効成分及び医薬品の初期結合能力及び想定した胃及び消化管滞留時間条件下での全体的な結合能力に影響を与えることが示唆された。これらの物理化学的特性は、医薬品の特定の製造及び貯蔵条件下で品質予測及び PB の臨床効果を高める条件設計のために利用することができる、としている。

## 【160】"金属フェロシアン化物－陰イオン交換樹脂"による牛乳及び水中のセシウム-137 とヨウ素-131 の同時吸着

- 英語タイトル：Simultaneous Adsorption of Cs-137 and I-131 from Water and Milk on "Metal Ferrocyanide-Anion Exchange Resin"
- 著者名：Watari K., Imai K., Ohmomo Y, Muramatsu Y, Nishimura Y, Izawa M, Baciles LR
- 雑誌名：Journal of Nuclear Science and Technology, 25(5), 495-499(1988)
- 論文種別：原著論文
- 核種：セシウム-137、ヨウ素-131
- 研究対象：畜産物、環境（土壌・水等）
- キーワード：adsorption, cesium-137, iodine-131, rain water, milk, ferrocyanides, resins, ion exchange materials
- 索引用キーワード：陰イオン交換樹脂、フェロシアン化物、牛乳、チェルノブイリ
- 引用の図表点数：図 4 点、表 1 点

#### 【要約】

陰イオン交換樹脂マトリックス中で金属フェロシアン化物を沈殿させて作られる"金属フェロシアン化物－陰イオン交換樹脂"は様々な種類の水溶液中のセシウムイオンを選択的に吸着するために使われている。この樹脂は、金属フェロシアン化物と陰イオン交換樹脂両方の性質を併せ持っている。本論文では、この樹脂による水及び牛乳中の放射性セシウムと放射性ヨウ素の同時吸着について検討している。その結果、銅、鉄及びニッケルフェロシアン化物などの"金属フェロシアン化物－陰イオン交換樹脂"は、大量の試料溶液からの定量的な放射性セシウムと放射性ヨウ素の迅速かつ簡便な濃縮に使用できることを明らかにしている。本論文では、チェルノブイリ原発事故後、日本で収集された雨水と牛乳中のセシウム-137 とヨウ素-131 の除去についても述べられている。

### 【161】 畜産物の放射性セシウム汚染低減のための形態の異なるヘキサシアノ鉄酸剤のロシアでの利用

- 英語タイトル: The use of hexacyanoferrates in different forms to reduce radiocaesium contamination of animal products in Russia
- 著者名: Ratnikov AN, Vasiliev AV, Alexakhin RM, Krasnova EG, Pasternak AD, Howard BJ, Hove K, Strand P
- 雑誌名: Science of the Total Environment, 223(2-3), 167-176(1998)
- 論文種別: 原著論文
- 核種: セシウム-137
- 研究対象: 畜産物、放射線防護
- キーワード: Chernobyl, radiocaesium, countermeasures, hexacyanoferrate, animals, Russia, chemical methods, radiocesium, foods, boli
- 索引用キーワード: 畜産物、ヘキサシアノ鉄酸、牛乳、牛肉、フェロシン
- 引用の図表点数: 図 2 点、表 6 点

#### 【要約】

本論文は畜産物の放射性物質の汚染低減を目的としている。ヘキサシアノ鉄酸は、家畜の放射性セシウムの取り込みや牛乳や牛肉への移行を低減する放射性セシウム結合剤として知られている。ロシアではセシウム-137 と結合するフェロシン ( $5\% \text{KFe}[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  と  $95\% \text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  の混合物であるヘキサシアノ鉄酸塩製剤)を開発し、1989 年から 1992 年にかけて、形態の異なるフェロシンについて、セシウム-137 結合剤としての有効性をはじめ、潜在的毒性、牛乳の生産率への影響、家畜の健康への影響、日常の農作業での使いやすさを調べた。フェロシン剤は、高純度 (98%) 粉末、徐放性のこぶ胃用の大粒丸薬 (rumen boli) (フェロシン含有量 15%)、塩塊 (salt lick) (フェロシン含有量 10%)、10%フェロシンをしみこませたおが屑 (bifege) の 4 種の形態で提供されているが、どの形態のフェロシンを投与しても、乳牛、羊、豚から畜産加工品への放射性セシウムの移行を抑制した。高濃度フェロシン粉末を乳牛 1 頭あたり毎日 3~5 g 投与した場合には、セシウム-137 の牛乳への移行を 90%減少させることができた。フェロシン大型丸薬 (1 個あたりフェロシンを 30 g 含有) の 1 頭あたり 3 個の単回投与では、セシウム-137 の移行を 2 ヶ月間で 50~75%低下させた。10%フェロシンを含有する塩塊 (1 回に与える 22 kg の塩塊には 0.22 kg のフェロシンが含まれている) は 10 日間で 50%低下させた。一方、おが屑を 1 日 30~60 g (フェロシン量に換算すると 3~6 g/日) ずつ与えた場合は、セシウムの移行を 90~95%低下させた。おが屑は現場での取り扱いも容易で効果も高かった。1994 年に集団農場や個人農場で大規模試行した場合には、顕著な効果が認められなかったため、1996 年に注意深く制御した条件下で 4 種のフェロシン剤について再度比較評価を行い、1989-1992 年に行った実験の結果 (大きな低減効果) は妥当であることを示した。また、ヘキサシアノ鉄酸塩製剤を原則として毎日投与することなど、推奨方法通りに実施することが重要であることを報告している。

### 【162】 飲料水及び淡水食材 (淡水魚など) からの放射線被曝を低減させる措置に関する批評的総説

- 英語タイトル: A critical review of measures to reduce radioactive doses from drinking water and consumption of freshwater foodstuffs
- 著者名: Smith JT, Voitsekhovitch OV, Hakanson L, Hilton J
- 雑誌名: Journal of Environmental Radioactivity, 56, 11-32(2001)
- 論文種別: 総説
- 核種: セシウム-137、ヨウ素-131、ストロンチウム-90

- 研究対象：水産物、農産物
- キーワード：surface water, drinking water, freshwater fish
- 索引用キーワード：地表水、飲料水、淡水魚
- 引用の図表点数：図 3 点、表 8 点

#### 【要約】

放射性降下物がもたらされた後の地表水からの放射線被曝を低減させる、多くの実施可能な措置がある。地表水域の放射能汚染について、政策立案者の意志決定に参考可能な選択肢を批評している。飲料水における放射能を減少させる最も効果的で実行可能な方法は、浄水及び流通段階における管理である。本論文は、飲料水供給経路において、放射線量を減少させる方法として、川及び貯水池での放射能濃度を低減するための介入措置は、実用性及び効果の面で期待できないことを主張する総説である。淡水魚摂取を禁じることは効果があるが、調理前の段階で、魚に含まれる放射能を低減させる幾つかの実行可能な措置がある。湖水ヘカリウムを添加することは、状況によっては有望と考えられるが、湖を石灰処理したり生態系操作（biomanipulation）したりすることは、放射性セシウム低減には効果がないことがわかった。著者らが知る限り、未検証ではあるが、湖に石灰をまくことは魚中の放射性ストロンチウムを低減させるのに有効となると予想され、またストロンチウムで汚染された魚から骨を除去することは、最も効果的な調理方法であるが、塩漬けしたり冷凍したりすることでも、魚中の放射性セシウム濃度を抑えることができると期待される。本総説では、国民への正確な情報提供は、対策措置推進のための重要な要素であることが強調されている。

### 【163】チェルノブイリ放射性核種の体外排出

- 英語タイトル：Decorporation of Chernobyl Radionuclides
- 著者名：Nesterenko VB, Nesterenko AV
- 雑誌名：Annals of the New York Academy of Science, 1181, 303-310(2009)
- 論文種別：原著論文
- 核種：セシウム-137
- 研究対象：防護技術
- キーワード：Chernobyl, Radionuclides, decorporation, apple, pectin
- 索引用キーワード：チェルノブイリ、放射性核種、食品、内部被曝、ペクチン
- 引用の図表点数：図 4 点、表 4 点

#### 【要約】

本稿は、BELRAD 研究所が 11 年間携わってきた放射能汚染地区の食料及び人体の放射性核種量のモニタリングの知見を基に、体内からの放射性物質の除去に効果的な対策を提言したものである。

チェルノブイリ事故から 22 年経過しているが、重度の汚染地域においては、汚染された食品の摂取が避けられないために線量限度は年間 1mSv を越えて設定されている。BELRAD 研究所は、子供たちの内部被曝を効果的に低減するためには、公的に定められた許容線量（例：15-20 Bq/kg）の 30% に達した段階で治療介入を行うことが必要であると提唱している。ベラルーシの重度汚染地域居住者の Cs-137 体内蓄積量を計測したところ、公式の報告書においては年間摂取量を実際の 1/3～1/8 に過小評価していることが示された。また、BELRAD 研究所は、治療を目的として 16 万人以上のベラルーシの子供を対象に 1996 年から 2007 年の間にリンゴペクチン添加食品を摂取させてきた。これらの結果を基に、セシウム-137 の体外への排出に効果的な方法としてのペクチン摂取の有効性について言及している。

### 【164】香港での淡水養殖魚の放射能汚染に対する各種防護対策による摂取線量の低減

- 英語タイトル：Dose reduction associated with various countermeasures in freshwater fish contamination in Hong Kong
- 著者名：Poon CB, Au SM.
- 雑誌名：Journal of Radiological Protection, 20, 197-204(2000)
- 論文種別：原著論文
- 核種：セシウム-137
- 研究対象：水産物
- キーワード：Dose reduction, countermeasures, freshwater, fish
- 索引用キーワード：淡水魚、養殖、移行

- 引用の図表点数：図 2 点、表 2 点

#### 【要約】

本論文では、香港で放射能事故が起こったと仮定した際の淡水養殖魚の摂食による摂取線量と、淡水魚養殖場での対策による摂取線量の削減効果の試算を行い、その結果を報告している。香港における淡水魚養殖の形態に基づいて作成されたモデルから、放射能事故後最初の一年間の淡水魚摂食による線量移行係数は  $1.15 \text{ mSv MBq}^{-1} \text{ m}^2$  と試算された。養殖淡水魚に由来する摂取線量の削減対策として、(A) 養殖の休止、(B) 汚染水の除去、(C) 堆積物の除去が考えられ、これらの対策の実施時期に応じた削減線量が試算された。養殖の再開時期と摂取線量の関係について詳細に調べたところ、事故から 6 カ月後に再開した場合のその後一年間の摂取線量は、事故後短期間で養殖を再開した場合の半分になると試算されている。また、養殖魚中の放射線濃度から、その魚を摂食した場合の摂取線量の見積りが可能な計算式が導き出されている。以上の結果は、政策決定者が放射能事故により汚染された淡水養殖魚の摂食で生じる摂取線量を抑制する上で役立つ、としている。

### 【165】ベラルーシにおけるセシウム-137、ストロンチウム-90 汚染農地の修復対策とその実践

- 英語タイトル：Remediation strategy and practice on agricultural land contamination with  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  in Belarus
- 著者名：Bogdevitch I.
- 雑誌名：Published in: Eurosafe. Paris, 2003, 25&26, November 2003, Environment and Radiation protection, Seminar 4, 83-92
- 論文種別：総説
- 核種：セシウム-137、ストロンチウム-90
- 研究対象：環境
- キーワード：Chernobyl accident, Belarus, agricultural countermeasures, remediation
- 索引用キーワード：チェルノブイリ、土壌改良、牧草、ナタネ、プルシアンブルー
- 引用の図表点数：表 5 点

#### 【要約】

ベラルーシ国内では、チェルノブイリ原発事故によるセシウム-137、ストロンチウム-90 に汚染された農地が存在し、そこで収穫された農産物は内部被ばくの原因となると共に汚染地域社会の活力低下をもたらしている。本論文では、この問題に対処するために有効な農業上の対策について、過去に報告のあるデータに基づいて効率性と受容性の観点から総括を行っている。具体的には、土壌改良による牧草栽培、セシウム吸着剤の飼料への添加、施肥、ジャガイモ栽培、ナタネのような工芸作物栽培への土地利用の転換に関して検討が行われている。

筆者は、優先すべき対策は、放射性物質の低減とともに、放射能が基準値を超えない農作物の生産による汚染地域住民の収入増加につながるものであるべき、とした上で、最も有効な対策は徹底的な土壌改良による牧草栽培 (radical improvement of meadows) であり、放射性核種を約 1/3 に低減可能である、としている。さらに、セシウム-137 吸着剤であるプルシアンブルーの飼料への添加投与についても、低コストで畜産物へのセシウム-137 の移行を 1/3 程度に低減できる有効な手法である、と報告している。

### 【166】「チェルノブイリ」事故下の子供がリンゴペクチンを摂取することで体内のセシウム-137 量は減少する

- 英語タイトル：Reducing the  $^{137}\text{Cs}$ -load in the organism of "Chernobyl" children with apple-pectin
- 著者名：Nesterenko VB, Nesterenko AV, Babenko VI, Yerkovich TV, Babenko IV.
- 雑誌名 Swiss Medical Weekly, 134, 24-27(2004)
- 論文種別：原著論文
- 核種：セシウム-137
- 研究対象：農産物、防護技術
- キーワード：“Chernobyl” children, reduction of the  $^{137}\text{Cs}$  load in the organism, controlled trial, oral Apple-Pectin vs. Placebo
- 索引用キーワード：チェルノブイリ、リンゴペクチン、プラセボ、除染
- 引用の図表点数：表 2 点

#### 【要約】

標準的な放射線防護措置の補完として、子供の体へのセシウム-137 摂取を減少させるために、特にウクライナ



ではリンゴペクチン調製品が与えられている。「子供が放射線学的に汚染されていない食べ物を摂取していてもペクチン摂取は有効かどうか」、また、「この多糖類は腸内でセシウム-137に結合し、腸内吸収を妨げるだけなのか」という疑問が持ち上がったが、「放射線学的に汚染されていない食べ物を摂取できるなら、ペクチンは役立つ」とみられている。本研究では、放射能汚染されたホメリ州に住む64人の子供を対象に、15～16%のペクチンを含む乾燥粉末りんご抽出物とプラセボ粉末を用いて、無作為（ランダム）化された二重盲検対照試験を実施した。被験者のセシウム-137量の平均は約30Bq/kg-BW（体重）であった。試験は、サナトリウム・シルバースプリングに1カ月滞在した子供に対しても同時に実施された。この汚染されていない放射線環境下の施設では、放射線学的に「汚染されていない」食物が子供に与えられた。ペクチン粉末を摂取した子供におけるセシウム-137レベルの減少は平均62.6%であったのに対し、「汚染されていない」食物及び偽薬（プラセボ）を摂取した子供におけるセシウム-137レベルの減少は13.9%であり、統計学的有意差があった（P値は1%以下）。このセシウム-137の減少レベルには医学的な関連があり、プラセボグループの全ての被験者は20Bq/kg-BW以下（Bandazhevskyによって特定の病理学的な組織の損傷に関連の可能性があると考えられている値）にはならず、平均 $25.8 \pm 0.8$  Bq/kgであった。リンゴペクチンを摂取したグループにおける最高値は15.4Bq/kgであり、平均値は $11.3 \pm 0.6$  Bq/kg-BWであった、と報告している。

### 【167】「チェルノブイリ」事故下の子供にみられる、セシウム-137量、循環器症状及び食品との関係 - リンゴペクチン経口摂取後の予備調査結果 -

- 英語タイトル: Relationship between Caesium ( $^{137}\text{Cs}$ ) load, cardiovascular symptoms, and source of food in “Chernobyl” children – preliminary observations after intake of oral apple pectin
- 著者名: Bandazhevskaya GS, Nesterenko VB, Babenko VI, Babenko IV, Yerkovich TV, Bandazhevsky YI.
- 雑誌名: Swiss Medical Weekly, 134, 725-729(2004)
- 論文種別: 原著論文
- 核種: セシウム-137
- 研究対象: 農産物、防護技術
- キーワード: Chernobyl nuclear power accident, caesium contamination, cardiovascular symptoms, hypertension, apple pectin
- 索引用キーワード: チェルノブイリ、ベラルーシ、汚染牛乳、循環器症状、リンゴペクチン
- 引用の図表点数: 図3点、表2点

#### 【要約】

チェルノブイリ原子力事故から17年が経過し、現在のベラルーシ南部住民の放射能汚染の大半は、長寿命の放射性同位体の取込みにより引き起こされている。この地域の子供達のセシウム-137レベルの変動は、摂取食物源（特に個人農家で生産された汚染牛乳の消費）に依存している。本論文では、ベラルーシの農村地域（セシウム-137汚染が $5\text{Ci}/\text{km}^2$ 以上）の子供を体内セシウム-137量に応じ、3つのグループ（グループ1は $5\text{Bq}/\text{kg-BW}$ （体重）以下、グループ2は $38.4 \pm 2.4\text{Bq}/\text{kg-BW}$ 、グループ3は $122 \pm 18.5\text{Bq}/\text{kg-BW}$ ）に分け、セシウム-137量、子供の主な食物源及び循環器症状との関連性を調査した。循環器症状、心電図の変化及び動脈性高血圧の出現頻度は、体内セシウム-137量の高い子供の方が、非常に低い子供に比べ有意に高かった。中程度及び高い体内セシウム-137量（グループ2及び3）の子供に16日間リンゴペクチンを摂取させると、セシウム-137量は有意に減少した（グループ2及び3においてそれぞれ39%、28%減少）。心電図の変化は改善したが、循環器症状及び高血圧はどのグループでも変化がなかった、と報告している。

### 【168】現在のベラルーシの子供におけるセシウム-137体内放射線量に関する研究－体内放射線量はさらに減少できるか？

- 英語タイトル: Studies on the current  $^{137}\text{Cs}$  body burden of children in Belarus—Can the dose be further reduced?
- 著者名: Hill P, Schlager M, Vogel V, Hille R, Nesterenko AV, Nesterenko VB.
- 雑誌名: Radiation Protection Dosimetry, 125(1-4), 523–526(2007)
- 論文種別: 原著論文
- 核種: セシウム-137
- 研究対象: 農産物、防護技術
- キーワード: Chernobyl, Belarus, Pectin, children, Decontamination

- 索引用キーワード：チェルノブイリ、ベラルーシ、ペクチン、子供、除染
- 引用の図表点数：図 2 点、表 1 点

#### 【要約】

チェルノブイリ原子炉事故後、ベラルーシの広い地域は放射性降下物質で汚染された。放射線量の長期的モニタリングと検証は、現在も進行中である。特別な関心がある住民グループは、汚染地域に住む子供たちである。セシウム-137 の体内放射線量が高いため、1mSv の年間線量限界を時として超えることがある。このような状況で、食品汚染対策に加え、可能な被曝線量の低減手段に関する評価研究行われている。特に、ベラルーシの科学者達は、被曝線量の低減効果が期待されるペクチン製剤（ビタペクト）の臨床応用に注目している。本論文では、ペクチン製剤の効果を検証するために、対照にプラセボを用いた二重盲検試験を実施している。放射能汚染を受けた子供の複数グループに、2 週間サナトリウムに滞在してもらい、ビタペクトを服用させた。同数の対照群におけるグループにはプラセボ製剤を服用させた。それぞれのグループのセシウム-137 体内被曝線量を試験前後に測定した結果、ビタペクト服用グループの被曝線量の平均減少率は 33%、プラセボ製剤を服用したグループの平均減少率は 14%であった。プラセボ群の低下は、非汚染食料の供給に起因すると考えられる。消化管において、ペクチンは化学的にセシウムのような陽イオンと結合し、糞便中への排せつを増加させることが知られている。この前提と代謝プロセスに基づく理論計算値は、実験的に示されたペクチン治療後の人体の放射性セシウムの保有率と質的に一致する、と報告している。

### 【169】 ラットにおけるセシウム-137 除染に関するプルシアンブルー及びリンゴペクチンの有効性の比較

- 英語タイトル：Comparison of Prussian blue and apple-pectin efficacy on <sup>137</sup>Cs decorporation in rats
- 著者名：Galla BL, Taranb F, Renault D, Wilka J-C, Ansoborlo E.
- 雑誌名：Biochimie, 88, 1837-1841(2006)
- 論文種別：原著論文
- 核種：セシウム-137
- 研究対象：農産物、防護技術
- キーワード：Cesium Prussian blue Pectins Decorporation
- 索引用キーワード：プルシアンブルー、リンゴペクチン、チェルノブイリ、ウクライナ、除染
- 引用の図表点数：図 3 点

#### 【要約】

セシウム-137 は、1986 年にウクライナで起きたチェルノブイリ原子力発電所の爆発の後に環境を汚染した最も重要な核分裂生成物の 1 つである。本論文では、2 種類のキレート剤であるプルシアンブルー及びリンゴペクチンについて、ラットを用いたセシウム-137 除染の有効性の比較を行っている。セシウム-137 溶液をラットに 5kBq ずつ静脈注射し、その後（セシウム汚染直後より）、プルシアンブルーもしくはリンゴペクチンを添加した飲料水を 11 日間与えた（1 日 400mg/kg 相当）。キレート剤の有効性は、セシウムの糞便排泄量及び投与 11 日後の組織・器官（血液、肝臓、腎臓、脾臓、骨格及び残りの胴体）の蓄積量で評価した。プルシアンブルー処理後、排泄糞便中のセシウム濃度は 5 倍増加しており、測定した主器官におけるセシウム保持率の減少と相関していた。一方、リンゴペクチンを処理したラットと未処置のラットとの間には有意差は認められなかった、と報告している。

### ⑬ 調理・加工について

### 【170】 ～ 【178】

### 【170】 加工処理が食品における放射性物質の含量に及ぼす影響

- 英語タイトル：Effect of Processing on Radionuclide Content of Food Implications for Radiological Assessments
- 著者名：Green N. and Wilkins B. T.
- 雑誌名：Radiation Protection Dosimetry, 67(4), 281-286(1996)
- 論文種別：原著論文
- 核種：ラドン-226、ポロニウム-210、鉛-210、セシウム-137、ストロンチウム-90

- 研究対象：食品
- キーワード：加工処理、調理過程、残存率
- 索引用キーワード：加工処理、調理過程、残存率
- 引用図表点数：表 7 点

#### 【要約】

これまでに公表されたデータをもとに、加工処理及び調理過程が食品における放射性物質の含量に及ぼす影響を評価した論文である。魚介類では、放射性物質（ラドン-226、鉛-210 及びポロニウム-210）の 40 %以上が骨とともに除去された。緑色野菜の文献データは実験条件の違いによりばらつきが大きく、例えば洗浄処理後の残存率は 10 %～90 %（セシウム-137）、10 %～100 %（ストロンチウム-90）であった。穀物類については、放射性物質の 50 %以上がふすまに含まれている。魚介類、肉類ならびに野菜類では、煮沸処理後の放射性物質（セシウム-137 及びストロンチウム-90）の残存率は 20 %～90 %に分布した。乳製品ではバターは残存率は低かった。放射性物質の残存性を調査するにあたり、可食部と非可食部を正當に評価することが重要である、としている。

### 【171】葉物野菜の放射性核種の濃度（調理での低減について）

- 英語タイトル：Radionuclide contents of leafy vegetables; their reduction by cooking
- 著者名：Hisamatsu, S., Takizawa, Y. and Abe, T..
- 雑誌名：Journal of Radiation Research, 29, 110-118(1988)
- 論文種別：原著論文
- 核種：ルテニウム-103、セシウム-134、セシウム-137
- 研究対象：農産物
- キーワード：除去率、<sup>103</sup>Ru、<sup>134</sup>Cs、<sup>137</sup>Cs、葉物野菜、調理、チェルノブイリ
- 索引用キーワード：除去率、葉物野菜、調理
- 引用図表点数：図 1 点、表 5 点

#### 【要約】

葉物野菜での調理後のルテニウム-103、セシウム-134 及びセシウム-137 の減少割合 (Decontamination ratio\*) を求めた論文である。チェルノブイリ原子力発電所の事故に伴って放出された放射性核種を含んだ試料を秋田市内で入手した。洗浄したホウレンソウのルテニウム-103 の減少割合は未洗浄の同様な試料に比べて、 $0.84 \pm 0.21$  であった。水で茹でた後の葉物野菜や山菜のルテニウム-103 の減少割合は洗浄後の同様な試料に比べて、平均して  $0.72 \pm 0.20$  であった。その結果、葉物野菜においては、未洗浄の試料に比べて、洗浄、ボイル処理を施した全体の減少割合は  $0.52 \pm 0.20$  となった。同様にセシウム-134 及びセシウム-137 に対する試料の洗浄後の減少割合は、それぞれ  $0.65 \pm 0.42$ 、 $0.64 \pm 0.17$ 、水で茹でた後の減少割合はそれぞれ、 $0.50 \pm 0.15$ 、 $0.53 \pm 0.13$  であった。洗浄、ボイル処理を施した全体の減少割合はそれぞれ、 $0.33 \pm 0.24$ 、 $0.34 \pm 0.12$  となった。これらの結果は、原子力安全委員会によって実測値として明記されている減少割合 0.5 と同様な数値となった。

(\*本文中の説明では (処理後の濃度) / (処理前の濃度) として計算)

### 【172】調理による葉物野菜、海藻のヨウ素-131 の低減

- 英語タイトル：Reduction of <sup>131</sup>I content in leafy Vegetables and seaweed by Cooking
- 著者名：Hisamatsu, S., Takizawa, Y. and Abe, T.
- 雑誌名：Journal of Radiation Research, 28, 135-140(1987)
- 論文種別：原著論文
- 核種：ヨウ素-131
- 研究対象：農産物、水産物
- キーワード：除去率、ヨウ素-131、葉物野菜、海藻、調理
- 索引用キーワード：除去率、ヨウ素-131、葉物野菜、海藻、調理
- 引用図表点数：図 1 点、表 5 点

#### 【要約】

葉物野菜や海藻(クロモ)を試料として、含まれているヨウ素-131 の調理による減少割合 (decontamination ratio\*) を求めた論文である。チェルノブイリ原子力発電所の事故に伴って放出された放射性核種 <sup>131</sup>I を含んだ試料を秋田市内で入手した。ヨウ素-131 の減少割合は生のホウレンソウに対して、洗浄したホウレンソウにおいて  $0.83 \pm 0.21$  であった。さらに試料の葉物野菜と山菜においては、ヨウ素-131 の減少割合は、洗浄した試料に対して、

水で茹でた試料において平均で  $0.51 \pm 0.19$  となった。洗浄、ボイル処理を施した葉物野菜の全体の減少割合はそれぞれ  $0.42 \pm 0.19$ 、となり、海藻においては  $0.68$  となった。

(＊本文中の説明では (処理後の濃度) / (処理前の濃度) として計算)

### 【173】調理過程における汚染ニホンナマズからのセシウム-137 除去

- 英語タイトル: Removal of  $^{137}\text{Cs}$  in Japanese Catfish during Preparation for Consumption
- 著者名: M. A. Malek, M. Nakahara and R. Nakamura.
- 雑誌名: Journal of Radiation Research, 45, 309-317(2004)
- 論文種別: 原著論文
- 核種: セシウム-137
- 研究対象: 水産物、食品
- キーワード: Removal,  $^{137}\text{Cs}$ , Catfish, Dressing, Cooking
- 索引用キーワード: セシウム-137、調理、下ごしらえ、魚
- 引用の図表点数: 図 2 点、表 5 点

#### 【要約】

本論文では、セシウム-137 で汚染された魚の除染方法について報告している。下ごしらえ (dressing) や調理法によって魚からどの程度放射能が除去されるのかを調べるために、セシウム-137 で汚染されたニホンナマズを使用した。下ごしらえ中に、洗浄によって生魚に含まれていたセシウム-137 放射能のうち 6.0% が除去された。この洗浄魚から非食部 (例えば、骨、ひれ、内蔵、肝臓、腎臓) を切除し、可食部を洗浄することによって、さらに放射能の 30.3% が除去された。さまざまなスパイス、植物油、野菜を使って、東南アジアや東アジア諸国で一般的に行われている調理法で、魚カレーを作った。調理過程で、下ごしらえした魚に含まれていたセシウム-137 放射能のうち 61.6% が除去された。このような一般的な下ごしらえと調理過程によって、最初に生魚に存在したセシウム-137 放射能の 74.7% が除去された。調理中に魚肉片から溶け出た放射能はカレーの成分全体に分布していることがわかった。平均すると、下ごしらえした魚に存在した放射能の 38.5% が、調理後の魚肉片に残っていた。カレーのルーには下ごしらえした魚の放射能の平均 34.8% が含まれていた。具の野菜には 4.0% (カリフラワー) から 7.2% (ジャガイモ) が含まれていた。魚からの放射能の多くが通常の家庭での料理の過程で除去されると結論してよいかもしれないと示唆している。

### 【174】大麦からビールへのセシウム-137 の移行

- 英語タイトル: The transfer of  $^{137}\text{Cs}$  from barley to beer
- 著者名: Prohl G., Muller H., Voigt G., Vogel H..
- 雑誌名: Health Physics, 72, 111-113(1997)
- 論文種別: 原著論文
- 核種: セシウム-137
- 研究対象: 食品
- キーワード: food chain,  $^{137}\text{Cs}$ , Chernobyl, Contamination, Environmental
- 索引用キーワード: 食物連鎖、セシウム-137、チェルノブイリ、汚染、環境
- 引用の図表点数: 図 2 点

#### 【要約】

チェルノブイリ事故の結果、セシウム-137 で汚染された大麦からビールが醸造されてきている。醸造のすべての工程及び製造プロセスのすべての副産物について、セシウム-137 の放射能を測定した。その結果、大麦のセシウム-137 の約 35% がビール中に回収された。加工品と生原料との濃度比として定義される加工処理率 (processing factor) は、麦芽が 0.61、小麦胚芽 3.3、ビール粕 0.1、ビール 0.11 となった、としている。

### 【175】ヨウ素-131 で汚染された野菜での放射能の保持と除去

- 英語タイトル: Retention and removal of  $^{131}\text{I}$  from contaminated vegetables
- 著者名: Thompson J.C. Jr., Howe S. M..
- 雑誌名: Health Physics Pergamon Press, 24(March), 345-351(1973)
- 論文種別: 原著論文

- 核種：ヨウ素-131
- 研究対象：食品、農産物
- キーワード：vegetable, prepatation
- 索引用キーワード：野菜、調理、ガイドライン
- 引用図表点数：表 5 点

#### 【要約】

本論文では、原子力発電、核燃料リサイクル施設、その他の場所で放射能汚染が起きた際の有効なガイドラインを策定するために、隔離条件下で、ヨウ素-131 をヨウ化ナトリウム溶液として食用植物に散布した際にどの程度保持されるか、さらにその汚染が除去できるかについて検討した結果を報告している。葉物植物が放射性ヨウ素を最も高く保持するため、放射能漏れの際に一番注目すべきものであった。散布した放射性ヨウ素の 75～90%は、ほとんどの野菜で通常の調理過程で除去することが可能であったことから、出荷・使用制限の対象になるのは極めて高い汚染時のみに限定されると考えられる。重大な放射能漏れ事故の際に放射性ヨウ素の体内への取込を防ぐためには、一番危機的な状況下では放射能漏れ以前に調製された食品に極力切り替えることが良いと考えられる。様々な植物に対して放射性ヨウ素を除去するための体系的な知見は、適切な行動を取る際の一助となるであろう、としている。

### 【176】野菜と果実の保存前処理における放射性ストロンチウム及びセシウムの除去

- 英語タイトル：Removal of Radioactive Strontium and Cesium from Vegetables and Fruits during Preparation for Preservation
- 著者名：Ralls JW, Maagdenberg HJ, Guckeen TR, Mercer WA.
- 雑誌名：Journal of Food Science, 36(4), 653-656(1971)
- 論文種別：原著論文
- 核種：セシウム-134、ストロンチウム-89
- 研究対象：農産物
- キーワード：Strawberry, Tomato, Preparation for preservation, Spray rinsing, Removal of radionuclide
- 索引用キーワード：イチゴ、トマト、保存前処理、スプレー洗浄、放射性核種除去
- 引用図表点数：表 10 点

#### 【要約】

意図的なストロンチウム-89 とセシウム-134 の汚染実験で、いくつかの野菜及び果物の保存前処理による放射性物質の低減効果を評価した論文である。作物に利用される多くの前処理の組み合わせに対して、一般的な凍結、脱水、または缶詰などの加工処理条件で汚染させた放射能の 60～95 パーセントを除去できた。サヤエンドウのスプレー洗浄は、サヤと種子の機械的分離中に種子を汚染する放射性物質を大幅に除去できた。一方、イチゴについては、スプレー洗浄による外部汚染ストロンチウム-89 の除去効果は低く、内部汚染の放射能に関してはさらに除去効果が低かった。また、イチゴについては、炭酸ナトリウムと塩化カルシウム溶液による粉砕処理を行い、種子やアルカリ土類炭酸塩除去のための遠心分離後にクエン酸で酸性化することで、低放射能の（少し塩辛い）ジュースが得られた。この処理によるイチゴジュース中のアスコルビン酸量の低下は僅かであった。セシウム-134 で汚染したトマトピューレをイオン交換樹脂で処理後に遠心分離すると、放射能の低い上清画分が得られた。内部的汚染したトマトとジャガイモの放射能は、イオン交換樹脂を加えたこれらの懸濁液を振とうすることによって、かなり低減することができる、としている。

### 【177】実験室レベルの加工操作での野菜からの放射性ストロンチウム、セシウムの除去

- 英語タイトル：Removal of Radioactive Strontium and Cesium from Vegetables during laboratory Scale Processing
- 著者名：Weaver CM, Harris ND
- 雑誌名：Journal of Food Science, 44(5), 1491-1493(1979)
- 論文種別：原著論文
- 核種：セシウム-137、ストロンチウム-90
- 研究対象：農産物
- キーワード：processing, decontamination, pickling, canning, freezing, blanching
- 索引用キーワード：酢漬け、缶詰、ブランチング、冷凍、洗浄
- 引用図表点数：表 4 点

#### 【要約】

本論文では、施設内での放射性物質添加の養液栽培野菜を用いて、いくつかの加工処理での放射性ストロンチウム（ストロンチウム-90）やセシウム（セシウム-137）の除去効果を検討した結果を報告している。もっとも除去効果の高かったのは、キュウリの酢漬け処理と缶詰処理の組み合わせで、放射性セシウム（セシウム-137）で94%、放射性ストロンチウム（ストロンチウム-90）で64%であった（※このキュウリの酢漬け処理は4mm厚でのスライスで行われており、このサイズでの洗浄のみのデータ（コントロール）がないため、酢酸溶液での移行促進効果なのか、表面積が広がったことでの拡散移行のみの効果かは不明）。缶詰処理は、豆類とケールにおいて両方の放射性物質で、かなりの除去効果が認められた。冷凍処理での除去効果が有意に認められたのは、ケールを処理した際の放射性セシウム（セシウム-137）のみであった。サツマイモのブランチング処理においては、放射性物質の皮部から内部への移行が認められたことから、暴露された芋などは加熱処理前に剥皮を行うべきである。加工の前処理（洗浄処理等）においては、豆類でのセシウム-137以外では有意な除去効果が認められなかった、としている。

#### 【178】 ミルクからの放射能除去 — 総説

- 英語タイトル：Decontamination of radioactive milk — a review
- 著者名：Patel AA, Prasad SR
- 雑誌名：International Journal of Radiation Biology, 63(3), 405-412(1993)
- 論文種別：総説
- 核種：ヨウ素-131、セシウム-137、ストロンチウム-90、ストロンチウム-89
- 研究対象：食品、畜産物
- キーワード：milk, decontamination, storage, ion exchange
- 索引用キーワード：乳製品、放射能除去、保存、イオン交換
- 引用の図表点数：なし

#### 【要約】

本論文はミルク及び乳製品に含まれる放射性同位体の除去に関する報告の総説である。消費者の放射能リスクを最小化する処理法として、本論文では次の項目を挙げている。1) 保存法：冷蔵・冷凍下、または濃縮・粉末の形態での保存により、短い半減期の放射性核種の放射能を除去することができる。（ヨウ素-131（半減期8日）ならば2カ月で99%減少する。）従って、ヨーグルトの保存やチーズの熟成は、放射能除去の有効な手段である。また、比較的長い半減期のストロンチウム-89（半減期50日）の有する放射能の非活性化には、ミルクパウダーやハードチーズに加工してからの保存が有効である。2) 分配法：放射性ストロンチウム、放射性ヨウ素、放射性セシウムは主にミルクの水溶層に存在する。従って、ミルクをバターに加工すること、及びカード（フレッシュチーズ）の製造工程における乳凝固手法の改良を行うことにより、製品中の放射性核種の濃度を減少させることが出来る。3) イオン交換法：高コストではあるが、大規模な自動化されたプラントでのイオン交換処理により、ミルクに含まれる放射性核種（ストロンチウム-90、ヨウ素-131、及びセシウム-137）を90%以上除去できる。またミルクからの放射性核種の除去と関連して、本論文ではミルクの電気透析等の処理手法についても短く記載されている。

#### ② 消費者行動について 【179】 ～ 【188】

#### 【179】 食物連鎖の放射線汚染後における食の安全及びその管理の受容

- 英語タイトル：Food safety and acceptance of management options after radiological contaminations of the food chain
- 日本語タイトル：食物連鎖の放射線汚染後における食の安全及びその管理の受容
- 著者名：C. Turcanu, B. Carle, F. Hardeman, G. Bombaerts, K. Van Aeken
- 雑誌名：Food Quality and Preference, 18, 1085-1095(2007)
- 論文種別：原著論文
- 核種：
- 研究対象：放射線汚染対策、社会的反応
- キーワード：Radioactive contamination, Food countermeasure, Public acceptance, Consumer's

behaviour

- 引用 の 図 表 点 数 : 図 3 点、表 4 点

#### 【要約】

本論文では、汚染の影響に関して検討する場合、汚染による影響の科学的測定だけでなく社会によるその認識も重要であるということに着目し、牛乳が放射線汚染された場合の社会的認識の測定を試みている。調査は、2006年3月から4月にかけてベルギーで1063人の大人を対象に実施された。調査項目は、危機の認識、食品の公的基準値への信頼、公的対策に対する態度を調べるものとなっており（予め因子分析により項目を分類している）、それぞれの項目に対して賛成か反対かを5段階で回答するよう求めている。さらに、放射線汚染の程度が低い場合と高い場合という2条件を設定し、両者を比較している。その結果、高い場合には、牛に清潔な飼料を与え、汚染された牛乳は廃棄することが望ましい対策であると認識している一方、基準値以下の汚染に関しては廃棄よりも通常の消費が望まれることを報告している。しかしながら、このような認識ではあるが、実際の行動としては、その汚染が基準値以下であっても少しでも汚染された可能性のある食品は購入されにくい。結論として、対策の最も重要な鍵は社会的信用の確立であると述べている。

### 【180】ベルギーにおける放射性汚染後の農業分野での対策に対する当事者グループの態度： ベルギーEC-FARMINGグループ内における総合議論

- 英語タイトル：Attitude of a group of Belgian stakeholders towards proposed agricultural countermeasures after a radioactive contamination: synthesis of the discussions within the Belgian EC-FARMING group
- 著者名：C.M. Vandecasteele, F. Hardeman, O. Pauwels, M. Bernaerts, B. Carle, L. Sombre
- 雑誌名：Journal of Environmental Radioactivity, 83, 319-332(2005)
- 論文種別：原著論文
- 核種：
- 研究対象：放射性汚染対策、当事者による評価、政治的構造
- キーワード：Radioactive contamination, Countermeasures, Stakeholders, EC-FARMING project
- 引用 の 図 表 点 数 : 図 1 点、表 1 点

#### 【要約】

放射性汚染が生じた場合の農業分野での対策は科学的根拠だけでなく各国の独自性を反映したものでなければならぬ。この独自性には、農業生産の構造、地域的一国国際的経済状況、管轄と責任の所在などといった政治形態などが含まれる。本論文では、ベルギーの農業システムと政治状況の中でも最も重要な特性について言及している。特に、農業における放射性汚染対策について、ベルギーの政治的構造を国、自治体、共同体のレベルに分け、各レベルによって同じ対策に対する評価が異なることを指摘している。また、ベルギーに影響を及ぼした過去の事例としてダイオキシン汚染（1999年）を取り上げ、それが農産物の消費、価格等に与えた影響について検討している。放射性汚染が生じた場合の対策としては、かなり広いマージンをとって商品の移動を制限、あるいは廃棄処分するケースが多いが、このような対策に対する各レベルでの反応を検討している。これが最適な対策として選択される背景には、消費者、販売者ともに要求が高いことがあるとしている。ベルギーでは、2003年の国王令により、放射線汚染対策を統一的に管轄する機関（Federal Agency for Nuclear Control）が設置され、対策のマネジメントに関してはCGCCR(the creation of a Governmental Co-ordination and Crisis Center)及び経済社会理事会（ECOSOC）の下部組織が社会環境の側面を専門に扱うことになっている。

### 【181】食の品質と安全性—消費者知覚と公衆衛生の観点から

- 英語タイトル：Food quality and safety – consumer perception and public health concern
- 著者名：A. Rohr, K. Luddecke, S. Drusch, M.J. Muller, R.v. Alvensleben
- 雑誌名：Food Control, 16, 649 - 655(2005)
- 論文種別：原著論文
- 核種：
- 研究対象：安全性、品質、消費者の認識
- キーワード：Consumer perceptions, Food safety, Risk communication
- 引用 の 図 表 点 数 : 図 1 点、表 8 点

#### 【要約】

そもそも「食の品質」という用語は確固とした定義があるものではないが、食の安全性という観点がここ 10 年間で「食の品質」を決める重要な要因となってきている。本論文は、2002 年に、キール（Kiel、ドイツ）市民 449 名を対象として、実際に消費者が食の安全性と食の品質をどのように認識しているのかについて調査している。過去に行った同様の消費者調査と比較した結果、10 年間で食の品質は向上していると感じられていることが明らかとなったことから、食に関連する健康リスクについては、不確かさから生じる不安は低減しているようであるとしている。さらに、食の安全に支払う対価に関して、価格に敏感な群と安全に敏感な群という 2 群に消費者が分類されることを示している。食品リスクについて、原発のランキングは 5 位（1997 年）から 8 位（2002 年）に下がっている。また、食の生産者に対する信憑性は、1997 年から 2002 年にかけて、依然低いレベルではあるものの増加している。本論文では、生産者は、その社会倫理的責任の一部として、より積極的に安全性に関して消費者とコミュニケーションをとるべきであるとしている。ただし、調査の結果は、消費者は不安を感じるほど政府などの公式見解などよりも環境団体あるいは口コミなどを信じやすい傾向を示している。

## 【182】チェルノブイリ事故後の発がんリスクに対する心理的反応

- 英語タイトル：Psychological Reactions to Cancer Risks After The Chernobyl Accident
- 著者名：L. Sjoberg, BM. Drotiz
- 雑誌名：Medical Oncology & Tumor Pharmacotherapy, 4(3/4), 259-271(1987)
- 論文種別：原著論文
- 核種：
- 研究対象：チェルノブイリ事故、心理的反応、心理的要因
- キーワード：Risk perception, Attitude, Cancer risks, Nuclear power, Chernobyl accident
- 引用の図表点数：図 4 点、表 5 点

### 【要約】

本論文では、スウェーデンにおけるチェルノブイリ事故に対する心理的な反応を調査している。序論では、心理的反応を示唆するものとして、事故後酒の消費量が増えたこと、ニュージーランドへの移住希望者が増加したことを挙げている。調査対象は、放射性物質の落下が最大の地域（Gravle）、その南に位置するストックホルム、落下が最小の地域（Bohus）である。まず、インタビュー調査を行い、自分で対処できない上に必要な情報が不足していると感じている（90%）ことが、不安などの心理的ストレスを増加させていることが明らかとなった。引き続き、インタビュー調査結果の妥当性の検討及びフォローアップを目的として DM による調査を行っている。特に原発に対する反応について、60%が事故後に原発反対になったこと、全体として反対数が事故後には事故前に比べて倍増したこと、放射性物質の落下が多い地域の方が少ない地域よりも反対であること、女性の方が男性よりも反対が多いこと、農家には反対が多いこと、逆に反対が多くないのは青年層であった。また、このような傾向は 1 カ月経過した後も変化していなかった。最後に、放射性汚染を避けるための情報を発信する目的で行われるマスメディアを用いたキャンペーンについて、それが市民の態度に及ぼす効果は小さく、行動に及ぼす効果はさらに小さいと述べている。これは禁煙などの健康増進の目的で行われるキャンペーンの効果と同様であるとしている。

## 【183】チェルノブイリ：リスクと不確実さのもとで生きる

- 英語タイトル：Chernobyl: Living with risk and uncertainty
- 著者名：P. Abbott, C.Wallace, M. Beck
- 雑誌名：Health, Risk & Society, 8(2), 105-121(2006)
- 論文種別：原著論文
- 核種：
- 研究対象：放射性汚染下での実生活体験
- キーワード：Nuclear accident, risk society, situations at risk of illness, biographical disruption
- 引用の図表点数：図 0 点、表 0 点

### 【要約】

チェルノブイリ原発事故（1986 年）は、'risk society' の特徴をドラマティックに示している。この事故が引き起こす結果は依然として定まっていない、つまり原因も複雑であり、将来どのように進展するかも予測不能であると言えよう。その影響を補填するものは何もないし、それが及ぶ範囲も限定できないほど広範である。本論文は、その被害地域の住人が経験した災害の生きた記録について報告（ケーススタディ）している。2003 年に



チェルノブイリ近郊にあたるロシア、ウクライナ、ベラルーシの地域で行われた調査をまとめると下記の通りである。住人たち（回答者）は将来に対して見通しが立たず非常に不安に思っている。彼ら自身が既に汚染されているのかさえ確実ではなく、どこへ行くべきか、そして何を食べるかという判断にも常に危険が伴っている。恐れ、噂、専門家のそれぞれが災害の実際あるいは潜在的影響を警告するが、住人たちは何れも信頼してはいない。多くの住人は、経済的事情から、例えば危険と分かっている地域でも、しなければならないことをし、したいことをする（極貧状況では、汚染された食品でもないよりはいい）。以前の報告とは異なり、現在、住人たちは事故に関する問題とソビエト連邦崩壊による問題とを区別しようとはしていない。むしろ両者がともに住人の間に根深い諦めを生んでいるようである。多くの住人が政府を情報も支援も対策もないと非難するが、それらを得ようとするような集団的積極的行動はほとんど表面化していない。このような状況は、過去の研究で見られた、被害者が、その原因を災害に帰属し、その結果、次第に災害を取り巻く状況に対するアクションとして政治的になっている状況とは対照的である。

## 【184】ベラルーシにおけるチェルノブイリ事故による長期的心理的苦痛のマルチレベル分析

- 英語タイトル：A multilevel analysis of long-term psychological distress among Belarusians affected by the Chernobyl disaster
- 著者名： G.P. Beehler, J.A. Baker, K. Falkner, T. Chegerova, A. Pryshchepava, V. Chegerov, M. Zevon, E. Bromet, J. Havenaar, H. Valdismarsdottir, K.B. Moysich
- 雑誌名：Public Health, 122, 1239-1249(2008)
- 論文種別：原著論文
- 核種：
- 研究対象：ベラルーシ、チェルノブイリ事故、心理的影響、
- キーワード：Belarus, Chernobyl nuclear accident, Radiation accidents, Cross-sectional studies, Psychological stress
- 引用の図表点数：図 0 点、表 4 点

### 【要約】

チェルノブイリ原発事故による放射性汚染及び政治的社会的不安定状況はベラルーシに深刻な影響を与えて続けている。本論文では、事故後 20 年を経過した時点での精神衛生への長期的影響について調査している。これに先立ち、1996～2000 年にかけてチェルノブイリから 100 km の Gomel と 200 km の Mogilev において小児白血病の経験がある家族を対象とした調査が行われており、その子の母親が医者による面接を受けている。今回は、2002～2003 年に、その中から再サンプルした家族を対象として、各家庭で医者による構造化面接（1.5～2.5 時間）を実施している。心理的苦痛の測定には、Brief Symptom Inventory（簡易症状評価尺度）を用いている。心理的苦痛の説明要因について個人レベルと家庭レベルからの検討を行っている。階層的線形重回帰分析の結果から、心理的苦痛のうち不安と沈鬱の 20%が家庭レベル、すなわち居住地域、白血病患者の有無などの要因で説明できるのに対して、心理的苦痛から生じる身体症状は 8%しか家庭レベルでは説明できないと報告している。また、個人レベルの要因のうち、性別、家事などに伴う持続的なストレス、自らによる対処法の有無（Locus of control）が心理的苦痛に関与していることを示している。

## 【185】英国における放射性リスク情報源に対する信用度

- 英語タイトル：Public trust in sources of information about radiation risks in the UK
- 著者名： S. Hunt, L. J. Frewer, R. Shepherd
- 雑誌名：Journal of Risk Research, 2(2), 167-180(1999)
- 論文種別：原著論文（或いは総説）
- 核種：
- 研究対象： 放射性リスク、情報源、信用度
- キーワード：Radiation risk, sources of information, trust
- 引用の図表点数：図 4 点、表 4 点

### 【要約】

本論文は、専門家以外からの放射性リスク情報に対する信頼度について、情報源の違いという観点から検討している。1960 年代以降、政府機関に対しては、公衆に対する全般的関心が薄いという認識が浸透し、その信頼度が低下していることが知られている。ここでは、実際の情報源（National Radiological Protection Board；国立放射線防護委員会、British Nuclear Fuels Ltd；英国核燃料会社、Department of Health；保健省…）に加

えて、尤もらしい名称の架空の情報源 (British Radiation Safety Agency ; 英国放射能安全・保安院) を含む 18 の情報源を設定し、それらの信頼度について検討している。年齢と社会経済的背景について均等化した調査対象に対して、①どの程度その名称を聞き覚えがあるか (Familiarity, 3 段階)、②その情報が信用できるか (Trust, 6 段階)、③その情報源は既得権益を持っていると思うか (Reporting Bias, 6 段階)、④どの程度事実を知っていると思うか (Degree of Knowledge, 6 段階)、という 4 項目についての評定を求めている。その結果、Familiarity (親近度) が低い架空の情報源が、Reporting Bias が小さく (より中立・公平と思われており)、事実をよく掴んでおり、信用できる情報源と認識されていることが示された。これらから、信頼を得る条件として、①政府や企業からの独立性、②専門分野における高い技術、③公共問題に対する高い関心、という 3 点が重要であると指摘している。

## 【186】チェルノブイリ事故後のリスク認知と不安

- 英語タイトル : Risk Perception and Worries After The Chernobyl Accident
- 著者名 : BM. Drottz-Sjoberg, L. Sjoberg
- 雑誌名 : Journal of Environmental Psychology, 10, 135-149(1990)
- 論文種別 : 原著論文)
- 核種 :
- 研究対象 : リスク認知、チェルノブイリ原子力発電所事故、
- キーワード : Risk perception, Chernobyl accident
- 引用の図表点数 : 図 1 点、表 6 点

### 【要約】

本論文は、スウェーデンにおけるチェルノブイリ事故に対する反応を報告している。調査対象は、Gavleborg (最も被害が大きい)、Stockholm、Bohus (最も被害が小さい) の各地域に住む、①農家、②18~20 歳、③チェルノブイリ事故発生と同じ時期に生まれた子どもの親、④25~35 歳の子どものない男性、各 100 名ずつであった。質問紙調査の結果、原子力発電所あるいは放射性物質による汚染に対する恐怖感が格段に増加し、それらを安全とする専門家の意見とは対立するものとなった。一方、原子力発電所の経済的利点については、「利点がある」という認識が多かった。同様の原発に対する信用低下はスリーマイル島事故の後にも起きている。また、18~20 歳の男性は放射性リスク回避を重要視していないが、食品との関係が深い農家、主婦などの群は放射性リスクに非常に敏感であった。筆者らは、そのようなリスクに敏感な群の特徴は、他者の生命に対する責任が強いということであると指摘している。また、今後は、同様に生命との関係の深い医者なども含めてリスク認知を検討すべきとしている。

## 【187】汚染地域の持続的回復と長期的マネジメントの倫理的要因

- 英語タイトル : An ethical dimension to sustainable restoration and long-term management of contaminated areas
- 著者名 : D. Oughton, EM. Forsberg, I. Bay, M. Kaiser, B. Howard
- 雑誌名 : Journal of Environmental Radioactivity, 74, 173-183(2004)
- 論文種別 : 原著論文 (或いは総説)
- 核種 :
- 研究対象 : 汚染地域、長期的マネジメント
- キーワード : Countermeasures, Radioactivity, Ethics, Restoration, Value matrix, Justification
- 引用の図表点数 : 図 0 点、表 1 点

### 【要約】

本論文は放射線汚染地域の回復のための対策案の評価について検討している。各対策案の評価は、政策の決定において重要な意味を持つ。評価基準については、STRATEGY (Sustainable Restoration and Long-Term Management of Contaminated Rural, Urban and Industrial Ecosystems; 汚染された農村、都市、及び産業生態系の持続的回復と長期的マネジメント) プロジェクトでも検討されているが、それらは多岐に渡っているため全てを同時に満たすことは困難な場合があるのも事実である。各対策の倫理的評価としては、①それを自ら行うことが可能かどうか (逆に強制的なものか)、②労働者あるいは地権者の同意、③汚染物質、コストの分配、④不測の事態に対する債務補償、⑤家畜などの動物に対する福利、⑥公共施設の変則的使用に対する評価、⑦リスクの不確定性、⑧生態系の変化による環境リスク、⑨廃棄物問題、⑩コストなど、を挙げている。対策の採用可

否は、場合によって異なり、また、対策自身のみでなく他の対策との兼ね合いにも依存する。筆者らは、これらを概観する方法として value matrix を提案している。Value matrix とは、各対策を片方の次元に、予め定めた 3 つの尺度を他方の次元に配置したものである。この方法を用いることで、政策決定に重要な多くの観点を網羅しながら対策を決定することが可能であるとしている。この効果は、実際に STRATEGY プロジェクトでも認定されているということである。

## 【188】汚染区域で生きる：当事者関与の教訓

- 英語タイトル：Living in contaminated territories: A lesson in stakeholder involvement
- 著者名： J. Lochard
- 雑誌名：Current Trends in Radiation Protection, 11, 211-219(2004)
- 論文種別：原著論文
- 核種：
- 研究対象： 放射性汚染対策、当事者、評価
- キーワード：Countermeasures, Stakeholder
- 引用の図表点数：図 0 点、表 0 点

### 【要約】

本論文は、チェルノブイリ原発事故放射線汚染対策について、その決定過程への当事者の関与を求めた ETHOS project について論じている。事故発生直後、緊急的対策がトップダウン的に当事者の関与なしに実施された結果、実際の地価、工業、農業生産力等の全てを含む発生地域の価値が低下してしまった。ここで取り上げる ETHOS project の目的は、チェルノブイリの被害地域の持続的な復興である。第一段階（1996～1998 年）では、まず被害状況の評価を実施している。その際、評価にバイアス（bias）を与えるような、コスト、期間などの解決法に関する先入観を持たないこととし、個々の状況が大きく異なるという理由から平均量ではなく実測値を用いている。さらに、当事者と共同で対策の「成功の基準」を設定している。そこには、①放射性を防止する文化の育成、②関係当事者による自治、③プロジェクト参加者の教育、④現場での実際の変化、⑤持続性、パートナーシップ、信頼、という 5 つのトピックが含まれた。第 2 段階（1999～2001 年）では、①地域の健康増進、②複数レベルの管轄（local 市町村, regional 広域, national 国）の関与、③実践的に放射線を防御する文化の確立、を目的とし、具体策として、学校教育、汚染のない食糧の生産、放射線モニタリングシステムを導入している。特に、モバイル機器などを用いた身近な場所での放射線測定が有効であることを指摘している。結論として、全ての関係者を巻き込む形での対策決定が、自治を促進し、当事者の自信にもつながるという意味で非常に重要であると指摘している。

The ETHOS project; 1996 年設立。Fourth Euratom Framework Programme (FP4, 1994～1998) の支援を受け実施される。チェルノブイリ事故によって汚染された地域での生活向上を目的とする。事故直後の中央集権的対策からの脱中心化アプローチの実践が特徴である。このアプローチは、ベラルーシの Olmany 村で開発、テストが進められた。

## VIII. 終わりにあたって

6次産業化促進技術検討専門部会取り纏め役 川本伸一

本事業の目的は災害時の緊急対応の中で、食品産業が食品の安全性を確保していくために必要とする技術情報を整理していくことにあり、実際には、平成23年3月に発生した福島原発事故発生から約11ヶ月にわたる緊急対応を振り返り、チェルノブイリ原子力発電所事故(1986年4月)を先行事例としながら、関連する技術情報を取り纏めようとしたものである。

最初のアプローチとして、(社)農林水産・食品産業技術振興協会(旧農林水産先端技術産業振興センター)の安全性・品質保証部会議論の中から、食品産業のポリシーとして、「*基本的に、行政による「継続的なモニタリング」と「規制値を超えた食品を流通させない取組み」によって、食品の安全を確保する*」が確認された。続いて、同部会によるアンケート(担当:主として唐澤委員)の結果をもとに、食品企業がこの問題への対処に必要とする産業ニーズを読み取りながら、平成23年10月7日に開催された6次産業化促進技術検討委員会において、本事業の中で取り上げるべき関連技術情報を下記4点に絞り込むこととした。このアンケートを実施した時期は原発事故発生から半年近く経過した時点であり、食品への放射性物質(半減期が8日と短いヨウ素-131の影響はなくなり、半減期の長い放射性セシウムが主な問題核種となっていた)の影響がマスコミで頻繁に取り上げられ、特に食品の放射能測定値と検出限界に関する消費者の関心が高く、食品産業が消費者に対する対応に苦慮していた時期でもあった:

- A) チェルノブイリ原発事故以降に実施された各種研究・調査報告の文献情報整理
- B) 我が国の分析法の概要と資料リストの整理
- C) 欧州におけるモニタリング態勢の把握:特に分析法の標準化やデータ解析に係わる調査
- D) チェルノブイリ事故を教訓にしたグローバル企業の対応例についての調査

関連する分野のエキスパートから構成された専門部会における活発な議論と役割分担をもとに、A)については、チェルノブイリ事故後に行われた研究のうち、特に食品関連で重要と思われる「動態解明・汚染実態」等の科学技術論文及び「事故に対する消費者行動・心理」に関する科学論文計188編の日本語要約がインデックス付きで纏められ(担当:主として、川本委員、和田委員、堀口委員)、B)我が国の分析法に関しては、確定法・スクリーニング法を含めた通知・ガイドライン等の概要が整理された(担当:主として等々力委員)。C)では欧州視察で収集したEU(欧州連合)におけるモニタリング態勢の情報として、特に分析法の標準化やデータ収集・解析に係わるレベルの高さが浮き彫りになった(担当:主として北村委員、柚木委員、根井委員)。D)の意図するところはチェルノブイリ原発事故直後、欧州の食品産業を襲った緊急事態に対して、当時の食品企業がどのように向かい合いながら問題を解決し、その教訓を事後の品質保証体制整備に生かしたか等々の経過を振り返り、今日の我が国の対応の中に生かしていくことである。しかしながら、当時との情報環境の違いなどから、調査は困難を極める状況となった。そこで、欧州のグローバル企業の代表例としてスイスに本社を置くネスレ社に的を絞り、ネスレ日本株式会社生産本部食品法規部部長渡辺 寛氏に可能な限りの情報追跡をお願いすることとした。当該専門部会活動は実質的に3ヶ月半という限られた時間ではあったが、本報告書のベースとなる最終的な取り纏め案は、委員会と専門部会による合同会議(平成24年2月3日)において確認されたものである。

今回の原発事故による放射性物質への食品影響は、チェルノブイリ事故と同様に長期化することが予想され、食品産業も時間経過に伴う状況の変化に応じて適切な対策をとっていく必要がある。本事業は、今回の原発事故による緊急対応時において食品の安全性を確保していくために求められる各種技術情報を収集し、より客観的に整理して提示することを目的としたものであり、事態の先行きが読めない中、今後

の対応に関する強い提言は差し控えることとした。我が国の放射能分析法に係わる情報も暫定規制値に対応した 2 月初旬までの情報の収載に止まっている。平成 24 年 4 月から施行予定の新基準値に対するスクリーニング法も含めた分析法に関する通知も出される予定であり、食品産業には新たな情報収集に継続して取り組んで頂くようお願いしたい。

今後は、行政による継続的なモニタリングをベースに、生産者のさらなる努力と消費者の理解のもと、放射性物質汚染の観点からより安全性が確保された食品の定常的な供給体制確立が急がれ、そこにおいては、放射線測定検査の質を高めることによって検査結果に対する信頼性を高めていくことが重要となる。食品産業へのアンケートによると、新基準値施行など状況が変化したときのために、「精度の高い簡易測定機器を用意する必要がある」との意見は強いが、現状では、新基準値に比べて、安価で十分な精度が得られる測定器は存在しない。もちろん Na(Tl)よりエネルギー分解能が良いシンチレータも入手可能であり、今より性能の良い製品が出ることも期待できるが高価格となる。現実的な対応は、現状の測定器で長時間測定をしたり、シールドを厚くして遮蔽効果を高めたりした改良品や、試料体積を 2~3kg まで大きくしても測れるように構造を変えた製品を使いこなして行くことが先決ではなかろうか。さらに、今回の欧州専門機関訪問で確認されたことは、JRC-IRMM においては、測定精度の高さとともに、彼らが作製する試料が欧州各国の国家標準と等価 (equivalent) であり、これが EU 全体の分析の質を高く維持する上での基盤になっているものと考えられた。この分析基盤を我が国のそれに置き換えると、IRMM の役割は(財)日本分析センターが担っており、国家標準は(独)産業技術総合研究所が維持している。日本分析センターは計量法に基づくトレーサビリティ制度による校正によって国家標準にトレーサブルとなっており、その分析技術は世界的にも認められている。さらに、標準物質を用いた都道府県の分析所との比較試験をとおして、国内分析レベルを向上させて来た実績も大きい。我が国として、今後取り組むべき課題の一つは、震災による原発事故後に一気に増えた"測定"そのものの管理ではなかろうか。測定機器の管理、測定事業者の管理、測定依頼者の解釈力等々、EU ではこれらが高いレベルで総合的にシステム化されているとの印象を強く受けた。日本においても、規格、認証、教育、規制等々官民一体となった「測定検査の質を高めていく」ための取り組みが急がれよう。食品産業が現状及び今後の放射性物質の食品影響への対策を講じる上で、本報告書が参考となれば幸いである。

最後に、今回の 6 次産業化促進技術対策事業の実施にあたり、ご支援、ご協力を頂いた各方面の皆様方に厚く感謝申し上げます。特に、チェルノブイリ原発事故以降に実施された各種研究・調査報告の文献情報整理は先に食品総合研究所をあげての努力で完成された文献集をベースにして追加編集したものであり、オリジナルの邦文要旨作成に参画された研究所の皆様方の貢献なしには本報告書は体をなさないことを申し述べ、お礼に代えさせていただきます。さらに、専門チームの EU 研究機関への派遣に際しては、駐日 EU 代表部の皆様、さらには現地訪問先の皆様方には大変お世話になりました。加えて、グローバル企業の対応例を追跡する中で、ネスレ様からは社内情報を快く開示して頂くなど、本事業に絶大なるご支援・ご協力を賜りました。併せて厚くお礼申し上げます。

## IX. 6次産業化促進技術検討委員会・専門部会委員名簿

6次産業化促進技術検討委員会委員名簿（敬称略・五十音順）	
石井健二	日本食品添加物協会シニアアドバイザー
岩田修二	元 サントリー（株）
鬼武一夫	日本生活協同組合連合会品質保証本部安全政策推進室室長
北村清司	（財）日本分析センター 精度管理室長
小島 正美	毎日新聞東京本社生活報道部編集委員
林 清（委員長）	（独）農業・食品産業技術総合研究機構食品総合研究所所長
門馬信二	福島県農業総合センター所長
山添 康	東北大学大学院薬学研究科医療薬科学専攻薬物動態学分野教授

6次産業化促進技術検討委員会専門部会委員名簿（敬称略・五十音順）	
唐沢昌彦	味の素(株)品質保証部製品評価グループ専任部長（社内異動により12月末で辞任）
川本伸一（纏め役）	（独）農業・食品産業技術総合研究機構食品総合研究所食品安全研究領域長
等々力節子	（独）農業・食品産業技術総合研究機構食品総合研究所食品安全研究領域上席研究員
根井大介	（独）農業・食品産業技術総合研究機構食品総合研究所食品安全研究領域
堀口逸子	順天堂大学医学部公衆衛生学教室
柚木 彰	（独）産業技術総合研究所計測標準研究部門量子放射科放射能中性子標準研究室 室長
渡辺 寛	ネスレ日本(株)食品法規部部長
和田有史	（独）農業・食品産業技術総合研究機構食品総合研究所食品機能研究領域食認知科学ユニット主任研究員

社団法人 農林水産・食品産業技術振興協会 イノベーション事業部

6次産業化促進技術対策事業事務局

古川忠康（コーディネーター）

桐生勝之

高橋優子

廣澤孝保（統括責任）

平成 23 年度 6 次産業化促進技術対策事業

## 災害時の緊急対応における食品の安全性確保

～東京電力福島第一原子力発電所事故による緊急時対応に係わる技術情報整理～

平成 24 年 3 月 発行

---

実施主体：事務局

社団法人 農林水産・食品産業技術振興協会（JATAFF）  
〒107-0052 東京都港区赤坂 1-9-13 三会堂ビル  
TEL 03-3586-8644 FAX 03-3586-8277

---

本書より転載・複製する場合には（社）農林水産・食品産業技術振興協会の許可を得て下さい。