

# 食糧

その科学と技術

Shokuryo - food science and technology -

50

(独) 農業・食品産業技術総合研究機構

食品総合研究所

NARO Food Research Institute (NFRI)

National Agriculture and

Food Research Organization (NARO)

2011.10

# まえがき

(独)農業・食品産業技術総合研究機構 食品総合研究所は、国民に安全で豊かな食生活の提供、食に関わる適正な科学情報の提供、食に関わる行政施策への貢献、わが国の食品産業の健全な発展への貢献を使命とし、食品に関わる基礎から応用に至る幅広い研究を実施しています。

放射線関連では、これまで照射食品の検知技術の開発等の研究を実施してきましたが、今回の原子力発電所の事故を受け、所内の関連分野の研究者が結集し「放射性物質影響ワーキンググループ」を立ち上げました。放射性物質の影響を受けた食品・農産物に関する研究情報、研究蓄積が十分ではなかったこともあり、放射性物質影響ワーキンググループ内での情報共有という観点から、チェルノブイリ事故に関連した英文論文を収集し、その和文要約の作成に着手しました。チェルノブイリ事故関連論文の和文要約が充実するに従い、その情報をワーキンググループ内のみならず、広く公開することが望ましいとの判断の下、食品総合研究所のホームページでその情報を公開してきました。

今回は、ホームページで公開している情報を印刷物としてとりまとめ「食糧50号」として刊行いたします。また、同じ内容をホームページからもダウンロード出来ますので、そちらも利用して戴ければ幸いです。

なお、今回の原子力発電所の事故に対応し、核種濃度の精密測定に必要なゲルマニウム半導体検出装置を平成23年6月に導入しました。生産現場から食卓までのフードチェーンを健全に保ち、消費者へ安全で信頼できる食品の提供が継続されるように、本装置を用いて関連研究に取り組んでいるところです。

食品に係る研究者や技術者だけでなく、食に関心をお持ちの多くの方々にも広く活用して戴くとともに、食品総合研究所の活動について少しでもご理解戴ければ幸いです。

平成23年10月

(独)農業・食品産業技術総合研究機構 食品総合研究所  
所長 林 清

# 目 次

	頁
・ 本書について	1
・ 協力者一覧	2
・ 文献紹介	
○分析・測定法及び生物モニターについて	
【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適応を示唆している	3
【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	4
【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	6
【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 およびストロンチウム-90 の迅速分析法	7
【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	8
【6】 放射線生物学：放射線防護の概念	9
【7】 内部被曝量測定に関する総説	9
【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	10
【9】 放射線検出器の歴史	11
【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	12
【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
【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
【13】 環境中のストロンチウム-90 の生物的モニターとしての鹿の角	14
○放射線被曝事故例について	
【14】 過去 60 年間の放射線事故	16
○日本からの報告	
【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 および他の放射性核種	17
【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

【17】	サメに着目した放射能レベルの調査研究について……………	18
【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
【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……………	19
【20】	環境放射能調査研究成果論文抄録集 (平成 21 年度)……………	20
【21】	漁場を見守る……………	21
【22】	平成 20 年度 環境放射能水準調査結果 ……………	22
【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 の濃度お よびそれらキノコの摂取による被曝量……………	22
【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……………	23
【25】	海産生物中の放射性セシウム濃度とその変動……………	24
【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……………	25

## ○核種の移動及び環境影響等について

【27】	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……………	27
【28】	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……………	27
【29】	チェルノブイリ事故からの生態学的な教訓……………	28
【30】	チェルノブイリ地方のシジユウカラ (Parus) 卵中の抗酸化物質と 孵化能……………	29
【31】	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……………	30
【32】	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……………	31
【33】	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 放射能分布および樹皮総合移行率 (bark aggregated transfer factor) に関する遡及的分析……………	32
【34】	チェルノブイリ放射性核種の分布と移動……………	33
【35】	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 ファイルおよび外部ガンマ線線量率の変動……………	34
【36】	ギリシャ周辺の海洋表層のセシウム-137 濃度……………	34
【37】	廃棄物処理場候補地の土壌からのセシウム-137 およびコバルト-60 の拡散移動に関する実験室における研究……………	35

## ○モデル・シナリオ・提言等について

【38】	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……………	37
------	---	----

【39】	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	38
【40】	放射能汚染事故における家庭およびケータリング業での対応策	39
【41】	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	39
【42】	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	40
【43】	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	41
【44】	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	41
【45】	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	42

## ○植物（農作物を除く）への移行及び影響等について

【46】	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	44
【47】	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	45
【48】	泥炭地植生におけるカリウム、放射性降下物セシウム-134、およびセシウム-137の土壌から植物への移行の季節的变化	45
【49】	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	46
【50】	植生へのヨウ素沈着および植生上におけるヨウ素の生物学的半減期の測定	47
【51】	セシウム -134 を含む模擬落下物のマツおよびオークへの残留	48
【52】	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	48
【53】	水耕栽培条件下で栽培されたヒマワリのセシウム-137 およびストロンチウム-90の吸収	49
【54】	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	50
【55】	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	51
【56】	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 およびストロンチウム-90の長期的な再循環に与える影響	52
【57】	植物におけるセシウム-134の取り込みの土壌特性および時間との関係	53
【58】	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	54

## ○地衣類・コケ類について

- [59] 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 およびセシウム-137 濃度レベルと起源 ..... 55
- [60] 25年間に及ぶ陸生および水生生物による放射性核種のモニタリング... 56
- [61] 天然およ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..... 57
- [62] 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 およびセシウム-137 の移行 ..... 57

## ○食物連鎖・生体濃縮等について

- [63] 放射線汚染食品と住民の被曝線量..... 59
- [64] トナカイにおける放射性セシウムの吸収、保持および組織分布：食事および放射性セシウム起源の効果..... 60
- [65] 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および農業分野における対応措置の有効性に関する考察..... 61
- [66] 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 ..... 62
- [67] 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..... 63
- [68] 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..... 64
- [69] チェルノブイリの放射性核種による食品および人体の汚染..... 65
- [70] 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..... 66
- [71] 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 およびストロンチウム-90 ..... 67

## ○野菜・果実について

- [72] セシウム、ストロンチウムおよ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..... 68
- [73] 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..... 68
- [74] 気体放射性ヨウ素および粒子状放射性セシウムの葉物野菜への乾性沈着..... 69
- [75] 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..... 70
- [76] 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 ... 71
- [77] 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..... 72

## ○穀物について

- [78] 秋まき小麦における放射性降下物セシウム-137 およびストロンチウム-90 の土壌から穀物への移行の品種内変動 ..... 73
- [79] 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..... 74
- [80] 春播き小麦6品種におけるセシウム-137 およびストロンチウム-90 の蓄積能比較..... 74

## ○キノコについて

- [81] 栽培キノコ及び培地中における放射性セシウム濃度..... 77
- [82] 糸状土壌細菌 *Streptomyces* sp. K202 株のセシウム蓄積特性..... 77
- [83] キノコにおける放射性核種セシウム-137 の蓄積..... 78
- [84] 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 ..... 79

## ○ミルク・乳製品について

- [85] オーストリアアルプス地帯の農業におけるセシウム-137 およびストロンチウム-90 のミルクへの移行 ..... 80
- [86] チェルノブイリ原子炉事故で放出されたヨウ素-131 およびセシウム-137 のミルクへの移行..... 80
- [87] 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..... 81
- [88] 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..... 82
- [89] 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..... 83
- [90] 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..... 84
- [91] 牛乳のヨウ素移行係数値の再評価..... 84
- [92] 放射性セシウムの食品への移行に関する時間的および空間的予測..... 85
- [93] 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 およびセシウム-137) のチーズ製品への移行..... 87

## ○畜産物・食肉等について

- [94] 放射性核種の畜産物への移行：移行係数の改訂推奨値..... 88

【95】	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	89
【96】	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	89
【97】	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	90
【98】	様々な放射性核種の畜産物への移行係数の算定	91
【99】	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	92
【100】	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 およびカリウム-40	92

## ○淡水・海水生物について

【101】	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	94
【102】	アリューシャン列島アムチトカ島およびキスカ島における海水魚 および海鳥中の放射性核種：基準の確立	94
【103】	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	96
【104】	小さな森林湖における魚類へのセシウム-137 の移行	96
【105】	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－	97

## ○線量規制等について

【106】	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	98
【107】	放射線防護に関する国際委員会の歴史	98
【108】	低線量と低線量率の意味すること	99

## ○実効半減期について

【109】	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 および銀-110m	101
【110】	陸上およ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	101
【111】	放射能汚染された牧草におけるストロンチウム-85 およびセシウ ム-134 の実効半減期	102
【112】	植物に堆積する放射性核種の環境半減期の調査	103
【113】	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	104
【114】	環境中のセシウム-137 の崩壊	105

【115】	放射性物質下降後の食品中セシウム含量の長期的減少	105
-------	--------------------------	-----

## ○防護措置等について

【116】	チェルノブイリの放射能で汚染された地域の防護措置	107
【117】	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	108
【118】	放射線防護剤の歴史と開発	108
【119】	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	109
【120】	放射線防護：現状と将来展望	110
【121】	牛乳中の安定同位体および放射性ヨウ素濃度：ヨウ素の摂取量の影 響	111
【122】	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および土 壌改良の効果	111
【123】	野菜へのセシウム-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	112
【124】	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	113
【125】	米国における放射線防護規定、勧告と規範の歴史	114
【126】	放射線防護剤：現状と今後の展望	114

## ○低減措置等について

【127】	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)	116
【128】	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	117
【129】	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	117
【130】	ラットのヨウ素131曝露に対するヨウ化カリウムおよび過塩素酸ア ンモニウム投与による改善効果の評価	118
【131】	北方林生態系での植物およ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	119
【132】	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 および亜鉛-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	120
【133】	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	121
【134】	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	122
【135】	“金属フェロシアン化物-陰イオン交換樹脂”による牛乳および水	

中のセシウム-137 とヨウ素-131 の同時吸着 .....	123
【136】 畜産物の放射性セシウム汚染低減を目的とした形態の異なるヘキサシアノ鉄酸剤のロシアでの利用.....	124
【137】 飲料水および淡水食材（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.....	126
【138】 チェルノブイリ放射性核種の体外排出.....	126
【139】 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.....	127
【140】 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.....	128
【141】 「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.....	129
【142】 「チェルノブイリ」事故下の子供にみられる、セシウム-137 量、循環器症状および食品との関係 —リンゴペクチン経口摂取後の予備調査結果—.....	130
【143】 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？.....	131
【144】 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およびリンゴペクチンの有効性の比較.....	131

## ○調理・加工について

【145】 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.....	133
【146】 葉物野菜の放射性核種の濃度（調理での低減について）.....	133
【147】 調理による葉物野菜、海藻のヨウ素-131 の低減.....	134
【148】 調理過程における汚染ニホンナマズからのセシウム-137 の除去.....	135
【149】 大麦からビールへのセシウム-137 の移行.....	136
【150】 ヨウ素-131 で汚染された野菜での放射能の保持と除去.....	136
【151】 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およびセシウムの除去 .....	137
【152】 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.....	138
【153】 ミルクからの放射能除去 — 総説 .....	138
・核種索引（50 音順）.....	140
・索引（50 音順）.....	143

## 本書について

本書では、東日本大震災以降に、比較的短期間で入手できた論文の中で、日本の現状に参考になると判断された国内外の153編の論文を引用して、それらの内容を紹介します。

引用論文はチェルノブイリ原発事故に関連するものが極めて多く、対象核種はセシウム-137が最も多くなっています。また、研究内容としても多岐に亘っています。

本書では、文献を以下の項目で分類しました。しかし、複数の項目や複数の核種に係わる文献も多いことから、「目次」とともに「核種索引」及び「索引」も作成しました。

- 分析・測定法及び生物モニターについて
  - 放射線被曝事故例について
  - 日本からの報告
  - 核種の移動及び環境影響等について
  - モデル・シナリオ・提言等について
  - 植物（農作物を除く）への移行及び影響等について
  - 地衣類・コケ類について
  - 食物連鎖及び生体濃縮等について
  - 野菜・果実について
  - 穀物について
  - キノコについて
  - ミルク・乳製品について
  - 畜産物・食肉等について
  - 淡水・海水生物について
  - 線量規制等について
  - 実効半減期について
  - 防護措置等について
  - 低減措置等について
  - 調理・加工について
- ・文献紹介における「タイトル」及び「著者名」の記載方法は元文献に従いました。
  - ・キーワードとしては元文献のキーワードを記載し、元文献にない場合は、新たに付け加えました。
  - ・本書に掲載された文献を参照される場合は、必ず元文献をご確認下さい。本書の記載は紹介であり、内容を保証するものではありません。

## 謝 辞

「Springer Science+Business Media」、「American Chemical Society」、「AOAC International」、「財団法人海洋生物環境研究所」、及び「一般社団法人日本原子力学会」から、自社が著作権を有する論文の図（または表）について、無料で改変及び転載の許可を頂きました。深謝いたします。

## 協力者一覧

### 文献収集・図表選択

川本 伸一（放射性物質影響ワーキンググループ長）

### 図表協力（50音順）

岡田 憲幸、斉藤 道彦、鈴木 忠直、堀田 博、安井 明美、柳本 正勝

### 文献紹介文等協力（50音順）

荒平 正緒美、安藤 聡、池羽田 晶文、池 正和、石川 祐子、五十部 誠一郎、岩浦 里愛、岩橋 由美子、植村 邦彦、大谷 敏郎、大倉 哲也、岡本 晋、奥西 智哉、亀谷 宏美、亀山 眞由美、河合 崇行、川本 伸一、岸根 雅宏、北岡 本光、北澤 裕明、北村 義明、木村 啓太郎、日下部 裕子、楠本 憲一、神山 かおる、小関 成樹、小竹 英一、後藤 真生、小西出 一保、小堀 俊郎、小堀 真珠子、齋藤 勝一、榊原 祥清、佐藤 里絵、清水 茂雅、白井 展也、進藤 久美子、鈴木 忠宏、関山 恭代、五月女 格、高橋 陽子、竹中 真紀子、田村 基、都築 和香子、徳安 健、等々力 節子、長尾 昭彦、中村 敏英、中村 宣貴、根井 大介、服部 領太、原口 和朋、尾藤 知香、日野 明寛、舟根 和美、逸見 光、細谷 幸恵、松倉 潮、曲山 幸生、町田 幸子、松木 順子、真野 潤一、門間 美千子、矢野 裕之、矢部 希見子、八巻 幸二、山本 和貴、吉田 充、與座 宏一、和田 有史、渡辺 純

### 編集委員

矢部 希見子、八巻 幸二、稲津 康弘、逸見 光、矢野 裕之、中村 宣貴、安藤 聡、岡本 晋

### （事務局）

田丸 政男、西田 信博（現、農研機構農村工学研究所）、折原 孝志、石井 馨

## 文献紹介

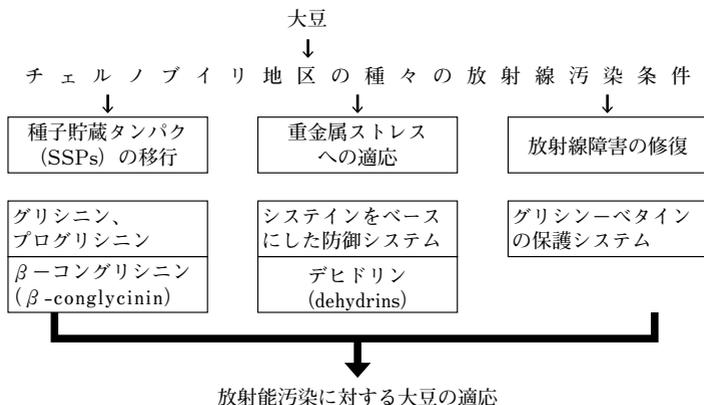
### ○分析・測定法及び生物モニターについて 【1】～【13】

#### 【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適応を示唆している

- 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. Berezna, L'ubomír Mátel, Terézia Salaj, Anna Pret'ová, 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ータンデム質量分析（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適応に関係すると示唆される、とされている。



**図1** チェルノブイリ事故の放射性物質汚染に対する植物の適応についての作業仮説

チェルノブイリ近郊の汚染農場および非汚染農場から収穫した完熟大豆種子（第1世代）の詳細な比較プロテオーム解析から、次のような植物の適応に関する作業仮説を立てている。すなわち、チェルノブイリ地区およびその土壤中の放射能に対する植物の適応メカニズムに、重金属ストレスへの適応、放射線障害修復、および種子貯蔵タンパクの移行が関与すると推察している。

[Journal of Proteome Research, 8, 2915-2922(2009). Copyright 2009 American Chemical Society より許可を得て改変・転載]

## **[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：<sup>134</sup>Cs、<sup>137</sup>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
- 分析法プロトコルを掲載

### **【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 337Bq/kg に対して 11.7 または 4.3%セシウム-137 濃度、210～1,130Bq/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 (註注: 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 <100Bq/kg とする試料やセシウム-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 およびセシウム-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 として記載)

**Table 996.05. Method performance for detection of Cs-134 and Cs-137 in foods by  $\gamma$  -ray spectrometric method<sup>a</sup>**

Sample	Cs level, Bq/kg	Mean, Bq/kg	s <sub>r</sub> , Bq/kg	RSD <sub>r</sub> , %	s <sub>R</sub> , Bq/kg	RSD <sub>R</sub> , %	r <sup>b</sup> , Bq/kg	R <sup>c</sup> , Bq/kg
<b>Cs-134</b>								
Herbs	ca 100	104	21	19.7	49	46.7	57	136
Honey <sup>d</sup>	ca 0-100	121	14	11.7	18	14.9	39	50
Milk <sup>e</sup>	ca 300	337	15	4.3	36	10.7	41	101
Water	ca 65	69	8	11.9	15	21.6	23	42
<b>Cs-137</b>								
Herbs	ca 1110	1130	54	4.8	80	7.1	152	225
Honey	ca 200-250	213	4.4	2.0	8.8	4.1	12	25
		236	17	7.3	17	7.4	48	49
Milk	ca 550	550	37	6.7	37	6.7	104	104
Water	ca 370	369	12	3.3	15	4.0	34	41

<sup>a</sup> Based on results received from 13 laboratories.

<sup>b</sup>  $r=2.8 \times S_r$ .

<sup>c</sup>  $R=2.8 \times S_R$ .

<sup>d</sup> Tested at low and high levels. Table presents statistical analysis from testing high level, results obtained from testing lower level were below determination level (<100 Bq/kg or <100 Bq/L) under given experimental conditions.

<sup>e</sup> Information presented in Bq/L except for RSD values.

### [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, Berezha 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 およびセシウム-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*) Kyivskiyi 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およ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および対照区) 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はあった」とされる。

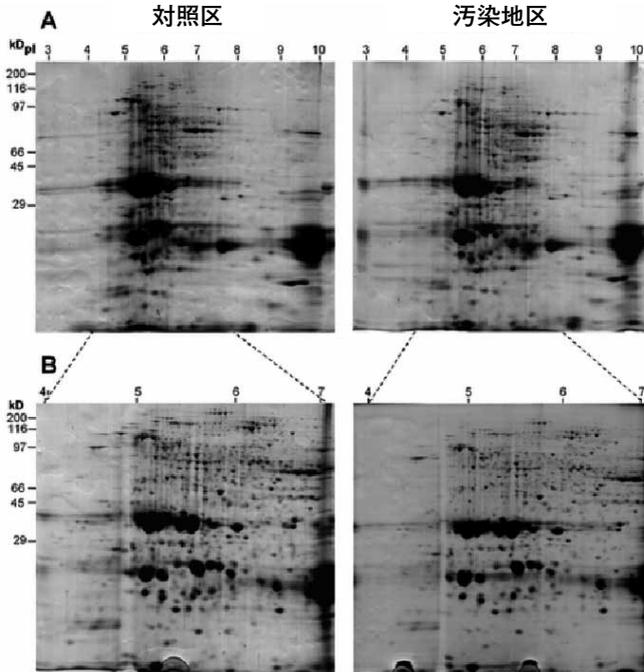


図2 汚染土壌と対照区で生育した植物のプロテオミクス解析

\*プロテオミクス解析は、最初 pH 範囲の広い (pH3～12 : A) 等電点ゲルストリップを用いて実施した。

次に pH3～12 ゲルのタンパク質バンドが密集している領域の解像度を上げるために、pH 範囲の狭い (pH4～7 : B) 等電点ゲルストリップを使用した。

[Environmental Science & Technology, 44, 6940-6946(2010)、Copyright 2010 American Chemical Society より許可を得て改変・転載]

#### 【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 およびストロンチウム-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およびストロンチウム-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およびセシウム-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、アメリカシウム-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およ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、内部被曝量測定のため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、アメリカシウム-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
- 引用を図表点数：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 100ml 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、アメリカシウム-241 以外は、どちらか一方に優先性を示した。トリウム-230 とアメリカシウム-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、アメリカシウム-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およびその技術に関する情報が記載されている。

## **[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：アメリカシウム-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、電子機器の個体差およ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、本論文では、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、アンプの増幅率およ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 0.014keV から 0.041keV 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およ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 2.5mm で約 0.30 (30%)、20mm 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）総量およ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 年および 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 およびセシウム-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 の総量を得たところ、約 1 万トンの沈殿物と 2.72GBq 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したことを示した。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）による沈殿物総量およびセシウム-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  $^{90}\text{Sr}$  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： $^{90}\text{Sr}$ , Antlers, Biomonitor, Radioactivity, Deer, Radium
- 索引用キーワード：生物的モニター、鹿、角
- 引用図表点数：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を検討している。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  $(70 \pm 43 \text{ (S.D.)}) \text{ Bq/kg}$  乾燥重量、変動幅は  $(16 \sim 218) \text{ Bq/kg}$  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、ストロンチウムおよびカリウム）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。

○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
- 引用を図表点数：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）およ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。

○日本からの報告	【15】～【26】
----------	-----------

### 【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 および他の放射性核種

- 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およびルビジウム-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98Bq/L、松葉(生重量あたり)では400Bq/kg、野菜(生重量あたり)で160Bq/kg、海藻(生重量あたり)で52Bq/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った。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 ~ 16,637L/kg (幾何平均 2,286L/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
- 引用を図表点数：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およ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 <sup>137</sup>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、海底土および魚類について、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、汚染変動およ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）はともにセシウム-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 の堆積レベルと時間的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 (0～10cm) 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. 食品およ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 84 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、海産生物およ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および過去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の濃度およびそれらキノコの摂取による被曝量

- 英語タイトル：Concentrations of <sup>137</sup>Cs and <sup>40</sup>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0.060～29Bq/kg(湿重量)、またカリウム-40で38～300Bq/kg(湿重量)であった。セシウム-137の幾何平均濃度は0.56Bq/kg(湿重量)であり、カリウム-40の平均濃度は92Bq/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3.1Bq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および $10\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ 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 ( $\text{sub-}\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ ) 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60MBq～600MBq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
- 引用の図表点数：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。

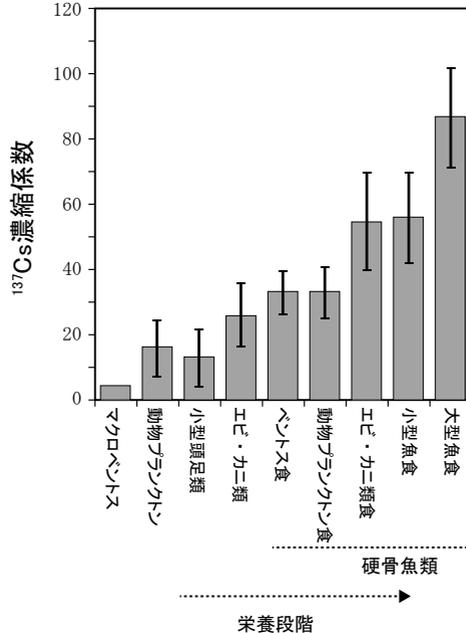


図 10 海産生物の栄養段階と  $^{137}\text{Cs}$  濃縮係数

[財団法人 海洋生物環境研究所より許可を得て改変・転載]

## 【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 の 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 8,000km の距離）の牛乳およ

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。雨水中で観察されたヨウ素-131 の濃度範囲は 5 月 4 日の 43.1Bq/L から 7 月 12 日の 15mBq/L であり、牛乳で観察された濃度範囲は 5 月 19 日の 21.8Bq/L から 7 月 14 日の 11mBq/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。成人およ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。

○核種の移動及び環境影響等について	【27】～【37】
-------------------	-----------

**【27】 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
- 引用の図表点数：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一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。

**【28】 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., Hrnccek 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。

### 【29】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している。1986年の5月に放射性セシウムおよ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によってきまり、これによりこのことは、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、植生および特に土壤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こり、羊の放牧を禁止すべき、特に脆弱な土壤型が特定された。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壤特性である。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、としている。

### 【30】 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を比較したところ、チェルノブイリ近郊では、卵黄全体の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、巢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巢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レベルの減少の関係を示唆している、としている。

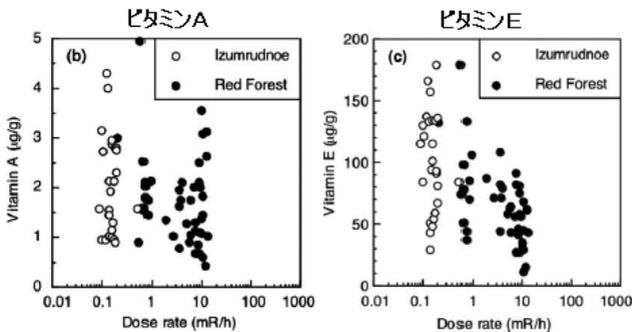


図1 卵黄中のビタミン含量と照射線量率の関係

[Anders Pape Moller 及び Copyright 2008 Springer Science+Business Media より許可を得て改変・転載]

### [31] 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、環境試料およ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およ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、0.1Bq/kg生体重を下回っている。大人のおもて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。本論文では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、いかに検出したかが示されている。

### 【32】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の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。

### **[33] 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 放射能分布および樹皮総合移行率（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32Bq/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堆積量と有意な相関があった。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堆積量および樹皮のセシウム-137残存比放射能（20Bq/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。

### 【34】 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30km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。

### 【35】 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およ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

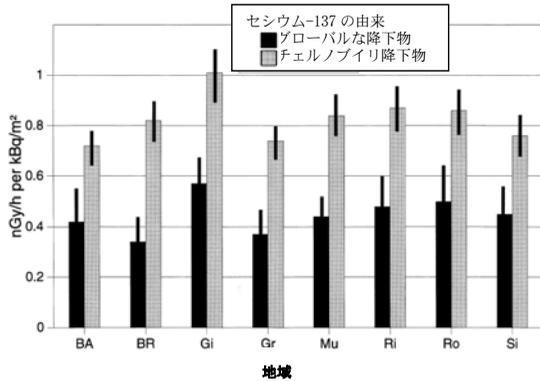
#### 【要約】

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 0～30cm の連続層で測定した結果を報告している。表層から 4～15cm 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  $2.7 \pm 1.4$  年/cm であり、チェ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）およ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。

### 【36】 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

**【35-追補】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および外部ガンマ線線量率の変動(図追加分)**



**図3 グローバルな放射性降下物(左カラム)およびチェルノブイリ事故放射性降下物(右カラム)に由来するセシウム-137による外部γ線被曝量(nGy/h)**

被曝量はグローバルな放射性降下物とチェルノブイリ事故放射性降下物が閉める個々の地域土壌での単位面積当たりの全セシウム-137濃度で示してある。

※地域の略称:BA, Bad Aibling;BR, Bad Reichenhall;Gi, Giglberg;Gr, Graben;Mu, Munchen;Ri, Ried;Ro, Rosenheim;Si, Simssee

[Wolfgang Schimmack 及び Copyright 1998 Springer Science+Business Media より許可を得て改変・転載]

- 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經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  $11\text{Bq}/\text{m}^3$ 、その他のギリシャ周辺の海域で平均  $5.2\text{Bq}/\text{m}^3$  で事故前の平均値  $1.5\text{Bq}/\text{m}^3$  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  $1\text{mSv}$  を下回っており、しかも海洋魚の DIL (Derived Intervention Level) 値 ( $1\text{mSv}$  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。

### 【37】 廃棄物処理場候補地の土壌からのセシウム -137 およびコバルト -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  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{60}\text{Co}$  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,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$
- 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およ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

リア州の土壤を再現した試験土壤の放射性物質の実効拡散係数およ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 およびコバルト-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 およびコバルト-60 の実効拡散係数およ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。

○モデル・シナリオ・提言等について	【38】～【45】
-------------------	-----------

### 【38】 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、アメリカシウム-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
- 引用を図表点数：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およ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（およ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、およびアメリカシウム-241 がそれぞれ  $1.7 \times 10^{14}$ 、 $1.2 \times 10^{13}$ 、 $2.8 \times 10^{10}$  および  $5.3 \times 10^9$  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、およ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。

### **[39] 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、食品流通および消費、食品安全および食品利用、ケータリング（配膳業）および宅配サービス、自然保全、環境影響の研究、およびマスコミに関わる、様々な組織およ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およ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および助言が、優先順位の高い取り組みであるとされている。

#### 【40】放射能汚染事故における家庭およ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およ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。調査結果およ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。

#### 【41】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、農園およ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および収入を考慮し、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、環境への拡散およ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。仮想的に環境拡散および堆積が起きた2つの類似したシナリオの6月上旬および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。

#### **【42】 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人当たりの最小およ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 およびヨウ素-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）での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。

#### **【43】 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】**

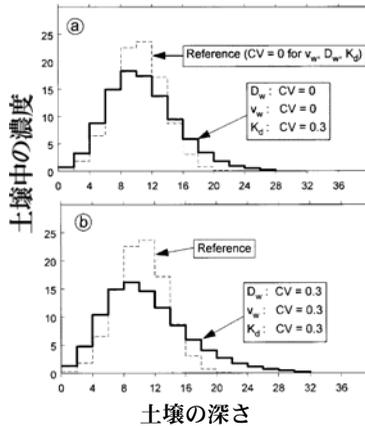
本論文では、土壌中における放射性核種の動態解明を目的として、実測値から得られた濃度分布について理論的に考察している。放射性降下物の土壌中の分布を測定すると、その濃度が正規分布に従わず、ピーク地点よりさらに深いところで予想外に高い濃度を示すことがしばしば観察される（テーリング現象）。対流-分散モデルに基づいたモンテカルロ法（乱数を用いたシミュレーション法）による計算から、テーリング現象が土壌の水力特性または吸着特性、あるいはその両者の不均一性（対数正規分布に従うと仮定）により説明できることを報告している。しかしながら、吸着特性のみを変数にした単純なシミュレーションからは、実測された濃度分布を再現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

本論文は、土壌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およ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。

#### **【44】 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

**【43-追補】土壤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(図追加分)**



**図1a,b 土壤中における放射性降下物の分布シミュレーション**

降下 10 年後における土壤中の分布がシミュレートされている。基準となる濃度分布(点線)は以下のパラメーターを用いてシミュレートされている。[ $D_w$ (拡散係数)=200 cm<sup>2</sup> year<sup>-1</sup>、 $v_w$ (平均孔げき水速度)=350 cm year<sup>-1</sup>、 $K_d$ (分配係数)=100 cm<sup>3</sup> g<sup>-1</sup>、 $e$ (水含有孔げき率)=0.35 cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>、 $\rho$ (土壌密度)=1.25 g cm<sup>-3</sup>] パネル a の実線では分配係数( $K_d$ )が水平方向に対して対数正規分布に従って変動[CV(変動係数)=0.3]すると仮定してシミュレートした結果が示されている。一方、パネル b の実線では拡散係数( $D_w$ )、平均孔げき水速度( $v_w$ )および分配係数( $K_d$ )のいずれもが水平方向に対して対数正規分布に従って変動[CV(変動係数)=0.3]すると仮定したシミュレーションの結果が示されている。吸着特性の不均一性等を考慮したモデル(実線)ではテーリング現象が再現される。

[Kurt Bunzl 及び Copyright 2001 Springer Science+Business Media より許可を得て改変・転載]

- 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
- 引用の図表点数：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つの数理モデルについて、統計学な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。

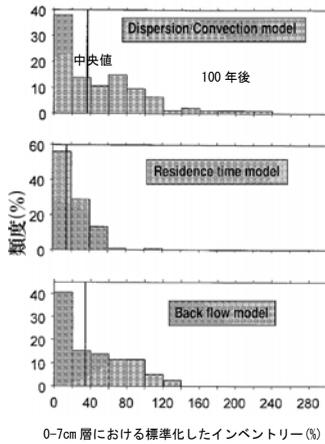
### 【45】 牧草地の土壌におけるセシウム -137 の垂直移動の空間的多様性と長期予測への影響

- 英語タイトル：Spatial variability of the vertical migration of fallout <sup>137</sup>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
- 引用の図表点数：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 ~ 7cm 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

**【45-追補】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(図追加分)**



**図9 3種類の移動モデルで予測した深さ0~7cmの層における100年後のセシウム-137の頻度分布**

※ここでは、空間的多様性及びセシウム-137の堆積量を考慮している。20年後、50年後の予測では予測結果にモデル間で有意差は見られないが、本図に示したように、100年後の予測の場合は、各モデル間で予測結果に有意差が見られる。

[Kurt Bunzl 及び Copyright 2000 Springer Science+Business Media より許可を得て改変・転載]

に、チェルノブイリ由来のセシウム-137が降下した牧草地でのセシウム-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。

○植物（農作物を除く）への移行及び影響等について	【46】～【58】
--------------------------	-----------

### 【46】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（ $K^+$ の初期濃度が高いおよび低い場合）の試験土壌について、カラムおよ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 ~ 1 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  $K^+$  および  $NH_4^+$  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、 $K^+$  および  $NH_4^+$  値の変化状態に依存する、と報告されている。

#### 【47】 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
- 引用を図表点数：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およ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。

#### 【48】 泥炭地植生におけるカリウム、放射性降下物セシウム -134、およびセシウム -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
- 引用を図表点数：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の比およ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とヌマガヤの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および4000～320Bq/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（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年中のカリウムおよびセシウム-137の濃度はむしろ一定であった（葉約10,000Bq/kg、茎約5000Bq/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およ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。ヌマガヤでも同様の傾向がみられた。CR値の季節的变化およ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の収着に関する分配係数Kd (*distribution coefficient Kd*) 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。

## 【49】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、また広範な土壌およ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。

### 【50】 植生へのヨウ素沈着およ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、摩擦速度およ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、クロー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2 cm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 3 cm 程度に増加すると推測される。なお、エアロゾルおよ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 および 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。

### 【51】セシウム-134 を含む模擬落下物のマツおよびオークへの残留

- 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
- 引用を図表点数：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。

### 【52】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（ $I_2$ ）と有機ヨウ化物（ $CH_3I$ ）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数値である、と報告している。

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

- 英語タイトル： $^{137}Cs$  and  $^{90}Sr$  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

り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およびストロンチウムの割合は減少した。一方、放射性セシウムおよ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 $K^+$ 及び $NH_4^+$ の影響、及びストロンチウム-90の吸収に対する $Ca^{2+}$ の影響について調べたところ、水耕液中に $10mM K^+$ 及び $12 mM NH_4^+$ 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 $8mM Ca^{2+}$ 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。

#### 【54】 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  $^{137}Cs$  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,  $^{137}Cs$ , Potassium, *P. sylvestris*
- 索引用キーワード：灰、肥料、植物、チェルノブイリ
- 引用の図表点数：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) 2~10mmに粒化したもの) をそれぞれ2種類の量 (3,500または3,700kg ha<sup>-1</sup>と10,500または11,000kg 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0~10cm層のセシウム-137濃度が10~20cm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10,500kg 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1kg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の高濃度化を起ささないことを示唆するものである。

## 【55】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 の 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（0.3mM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、 $K > Cs > Rb > Na > NH_4$ ）。一方、外部カリウムイオンが高濃度（0.5～1mM）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。

#### **[56] 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 およびストロンチウム-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 <sup>137</sup>Cs and <sup>90</sup>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 および 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 および 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 および 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 およびセシウム-137 を吸い上げる能力は、一年あたり最大 0.82% および 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。

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

- 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、ヒマワリおよび大豆について、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,  $\text{Bq kg}^{-1} \text{ plant} / \text{Bq kg}^{-1} \text{ soil}$ ）および 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およ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 およびフラックスは、ヒマワリの方が大豆よりも大きい、カリウム含量およ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

イオンおよ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、としている。

### 【58】 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
- 引用を図表点数：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。0.5mM ( $14\text{MBq}\cdot\text{l}^{-1}$ ) 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ーで、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ーの結果、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）に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 1mM 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 6mM で  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  が 3mM 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。

○地衣類・コケ類について	[59] ~ [62]
--------------	-------------

**【59】 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 およびセシウム-137 濃度レベルと起源**

- 英語タイトル：Level and origin of <sup>129</sup>I and <sup>137</sup>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
- 引用を図表点数：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。<sup>129</sup>I/<sup>137</sup>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。

## 【60】 25 年間に及ぶ陸生およ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。

## 【61】天然およ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, Daillant 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およ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およ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、放射性ウラン核種およ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。

## 【62】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およびセシウム-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
- 引用を図表点数：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 およびセシウム-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壤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。

○食物連鎖・生体濃縮等について	[63] ~ [71]
-----------------	-------------

### 【63】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。

表 4. ベラルーシ内の二つの研究拠点で生産された食品中の汚染放射性セシウムの放射能

生産方法	食 品	放射能 (kBq)	
		Ckhoiniki	Narovi' a
集団農場	牛乳	32000	55000
	肉	215000	25000
	ジャガイモ	9000	12000
	穀類	118000	225000
個人農家	牛乳	35000	65000
	肉	16500	18500
	ジャガイモ	12300	14800
	穀類		
天然物	きのこ	35000	55000
	イチゴ類 (berries)	5200	7300
	淡水魚	450	750

## 【64】 トナカイにおける放射性セシウムの吸収、保持および組織分布：食事およ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および保持について、異なる割合の地衣類、濃厚飼料およ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 ~ 23kBq であったのに対し、塩化セシウム-134 の摂取量は 70 ~ 1,160kBq 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 (それぞれ  $17.8 \pm 0.7$  および  $12.7 \pm 0.4$  日)。放射性セシウム半減期における尿および便排泄物の割合は、それぞれ約 60% および 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およ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。

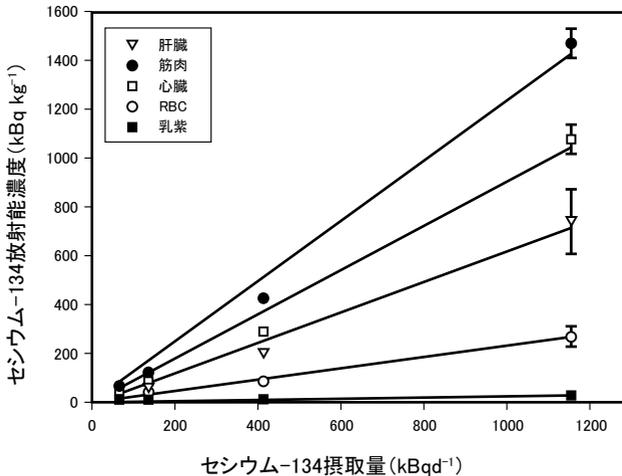


図4 一定量の<sup>134</sup>Csを171日間摂取させた後にと殺した子トナカイの各種組織の放射能濃度

所定の濃度の<sup>134</sup>Csに汚染させた地衣類を毎日給餌した。RBCは赤血球細胞。<sup>134</sup>Csが多く取り込まれる組織として、筋肉、心臓、肝臓の順であることを示している。

[Lavrans Skuterud 及び Copyright 2004 Springer Science+Business Media より許可を得て改変・転載]

#### 【65】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およ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 <sup>137</sup>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：Chernobyl, <sup>137</sup>Cs, foodchain, countermeasures SPADE, Doseassessment 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およ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。

### 【66】 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、きのおよびノロジカ (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～8,266Bq/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、気象条件およ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0.062m<sup>2</sup>/kgに変化した」と報告している。

## [67] 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
- 引用を図表点数：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およ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 ( $0.15$  および  $0.36\text{m}^2/\text{kg}$ , 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% および 93%) で冬季 (1~4 月) に算出した平均 Tag 値は、それぞれ  $0.78\text{m}^2/\text{kg}$  と  $0.84\text{m}^2/\text{kg}$  であり、トナカイ 1 頭の最大値は  $1.87\text{m}^2/\text{kg}$  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 および 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、中長期にわたり土壤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およ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。

### 【68】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およ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およ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*）およ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*）およびブラックバス（*Micropterus salmoides*）ではセシウム-133添加後170日よりも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。

### 【69】チェルノブイリ放射性核種による食品および人体の汚染

- 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
- 引用を図表点数：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、およ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、およびプレスト州において、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15～20Bq/kgより高く、最も高いレベルでは最大7,300Bq/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世紀にわたって続く、と予測されている。

## 【70】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、アメリカシウム-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
- 引用を図表点数：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、ネバダ核実験場およ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、アメリカシウム-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)超ウランおよ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収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。

### 【71】 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 およびストロンチウム -90

- 英語タイトル：Plutonium, <sup>137</sup>Cs and <sup>90</sup>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, <sup>137</sup>Cs, <sup>90</sup>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
- 引用を図表点数：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、クモおよ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 およびストロンチウム-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。

○野菜・果実について	【72】～【77】
------------	-----------

### 【72】セシウム、ストロンチウムおよ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、葉菜類および根菜類）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、ストロンチウムおよ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およ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。

### 【73】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、動的食物連鎖モデル

- 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。

### 【74】気体放射性ヨウ素およ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(ケールの一種)(*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 $0.5 \sim 0.9 \text{cm}^3 \text{g}^{-1} \text{s}^{-1}$ 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、 $0.09 \text{cm}^3 \text{g}^{-1} \text{s}^{-1}$ 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 $0.02 \text{cm}^3 \text{g}^{-1} \text{s}^{-1}$ 、セシウム-134は $0.003 \text{cm}^3 \text{g}^{-1} \text{s}^{-1}$ 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。

## [75] 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（ $1.57 \times 10^7$ 年の半減期）を評価する助けになる、と期待される。

### 【76】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  $^{137}\text{Cs}$  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および食用ベリー類4種（ビルベリー、クロマメノキ、コケモモ、ツルコケモモ）、およ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20km、標高約600m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330～1,590Bq/kg（乾物重）と高く、茎と根では210～430Bq/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0.5～10Bq/kg（乾物重）、森林開拓地から収集した混合植物体では2～260Bq/kg、平均61Bq/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±21Bq/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。これは湿地の土壤は、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壤に生育するが、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、土壤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。

### 【77】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。

○穀物について	【78】～【80】
---------	-----------

**【78】 秋まき小麦における放射性降下物セシウム-137 およびストロンチウム-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 <sup>137</sup>Cs and <sup>90</sup>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およびストロンチウム-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、栽培地の土壌および気候（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。

### **[79] 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
- 引用を図表点数：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。

### **[80] 春播き小麦6品種におけるセシウム-137およびストロンチウム-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
- 引用を図表点数：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 およびストロンチウム-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 およびストロンチウム-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。小麦粒およ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使用される春播き小麦品種では、セシウム-137 およびストロンチウム-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)およびセシウム-137(小麦粒および麦わら)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はないものの、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およびセシウム-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。

表 2 単位面積あたりの放射性物質蓄積量の品種間差

品種	<sup>137</sup> Cs の蓄積 (Bq/m <sup>2</sup> )				<sup>90</sup> Sr の蓄積 (Bq/m <sup>2</sup> )			
	穀粒	藁	合計	可食部 (%)	穀粒	藁	合計	可食部 (%)
Rostan	6	28	34	18	12	134	146	8
Quattro	4	29	33	13	11	191	202	5
Manu	5	28	33	15	12	125	137	9
Banty	6	31	37	17	17	169	186	9
Daria	6	34	40	15	13	185	199	7
Munk	6	22	28	21	19	158	177	10

[Yuri Putyatin 及び Copyright 2006 Springer Science+Business Media より許可を得て改変・転載]

\* 小麦 6 品種 (Rostan、Quattro、Manu、Banty、Daria、Munk) について、放射性核種の堆積がセシウム-137 で  $320 \pm 19.0\text{kBq/m}^2$  およびストロンチウム-90 で  $30 \pm 4.8\text{kBq/m}^2$  の圃場で栽培した。Quattro 品種が両放射性核種の可食部への移行が最も低いことが示されている。

○キノコについて	【81】～【84】
----------	-----------

### 【81】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 年および 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。

### 【82】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、その形態的特徴および 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およ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-133NMR 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およ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。

### 【83】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
- 引用の図表点数：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 はいろいろな土壌およ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-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。

#### 【84】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、土壤中の蓄積量、生育深度、蓄積
- 引用の図表点数：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月に土壤中のセシウム-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。この土壤中の高い放射能レベルは表層の6cm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、特に土壤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。

○ミルク・乳製品について	【85】～【93】
--------------	-----------

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

- 英語タイトル：<sup>137</sup>Cs and <sup>90</sup>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, environment
- 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 31.4kBq/m<sup>2</sup> であり、場所によっては 90kBq/m<sup>2</sup> 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 およびストロンチウム-90 のミルクへの移行係数 (fm) を、それぞれ  $0.0071 \pm 0.0009d/l$  および  $0.0011 \pm 0.0004d/l$  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。

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

- 英語タイトル：Transfer to milk of <sup>131</sup>I and <sup>137</sup>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、乾燥堆積および湿潤堆積 (wet deposition) がそれぞれヨウ素およ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。

### 【87】 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 およ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 0.29Bq/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 含量およ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 0.1Bq/kg 以下であった。チーズ中の自然カリウム-40 放射能の値（15～21Bq/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 20 と計算された。プルトニウム放射能は 0.3mBq/kg の検出限界以下であった、としている。

### 【88】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
- 引用を図表点数：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  $3.4 \pm 0.4 \cdot 10^3 \text{d/L}$ 、セシウム-137 では  $5.4 \pm 0.5 \cdot 10^3 \text{d/L}$  であった。これらとともに、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に比べて少ない、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、乳量および飼料タイプの影響は明白ではなかった、としている。

### 【89】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。

**[90] 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**

- 英語タイトル: Internal Exposure from the Ingestion of Foods Contaminated by <sup>137</sup>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70～100P（ペタ）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の摂食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（20Bq/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、牛乳汚染およ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。

**[91] 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 $1 \times 10^{-2} \text{d/l}$ 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 $0.6 \times 10^{-2} \text{d/l}$ 、ヤギ乳で $6 \times 10^{-2} \text{d/l}$ 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 $1 \times 10^{-2} \text{d/l}$ 、ヤギ乳で $0.5 \text{d/l}$ が適切であることが明らかになった、としている。

### 【92】放射性セシウムの食品への移行に関する時間的および空間的予測

- 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およ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 郡と Cumbria 郡) 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% および 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およ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。

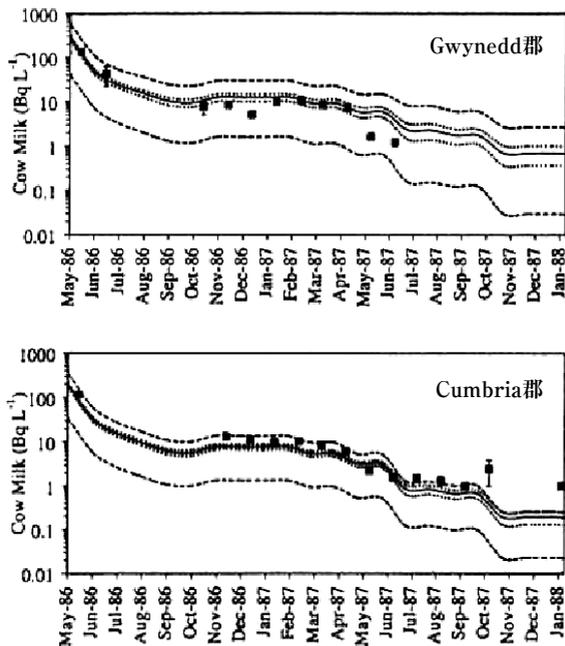


図 3 チェルノブイリ事故後の 1986 ~ 1988 年にかけての英国ウェールズ地方の Gwynedd 郡と Cumbria 郡の牛乳中の放射能濃度の実測値とモデルによる予測値。

黒四角が実測の月間平均値；実線はモデル予測の月間平均値；点線は空間寄与の不確実性によるモデル予測の標準誤差；破線はモデル予測の 25% および 75% 変動範囲。

[Neil Crout 及び Copyright 2001 Springer Science+Business Media より許可を得て改変・転載]

**【93】 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 およびセシウム-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, Papadopoulou 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 およびセシウム-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。

○畜産物・食肉等について	[94] ~ [100]
--------------	--------------

### 【94】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
- 引用の図表点数：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 (アメリカシウム、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。

### 【95】 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、アメリカシウム-241
- 研究対象：畜産物
- キーワード：sheep tissues, sheep milk, plutonium, americium, cesium, Ravenglass 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およびアメリカシウム-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。

### 【96】 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で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た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。

### 【97】 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)、若い北ドイツ荒地羊 (North German moorland sheep)、および牛の肝臓からは、2 ~ 20fCi/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）と北ドイツ荒地地羊の肝臓は80～100fCi/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、および若い荒地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（10～50pCi/Kg）、シャモアでは若干高い濃度（151pCi/Kg）であった。一方、荒地地羊では若い羊について3,690pCi/Kg、老いた羊について1,300pCi/Kgという高い値となった。これは荒地地羊の主なエサであるギリユモドキ（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。

## 【98】 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。

**【99】 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、家禽およ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。

**【100】 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 およびカリウム -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：radionuclides, 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ー

➤ 引用の図表点数：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ール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。

○淡水・海水生物について	【101】～【105】
--------------	-------------

### 【101】 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 viota, 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、およ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が、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、としている。

### 【102】 アリューシャン列島アムチトカ島およびキスカ島における海水魚およ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
- 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およ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およ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、エトピリカおよ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 およびアクチノイド（アメリカシウム-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 およびウラン-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およ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。1,000g 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、アメリカシウム-241、プルトニウム-239/240、ウラン-234、ウラン-235、ウラン-236 およびウラン-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ヨロコマの 0.780Bq/kg（湿重量）およびマダラの 0.602Bq/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 およびウラン-238 はこれらの生体試料からは決まって

検出されたが、アムチトカ島およ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。

### 【103】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：アメリカシウム-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
- 引用を図表点数：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、アメリカシウム-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。

### 【104】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。

### 【105】 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、およ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にも必要にあわせて記載されている。

○線量規制等について	【106】～【108】
------------	-------------

### 【106】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
- 引用を図表点数: 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。

### 【107】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。

### 【108】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0.2Gy以下、より高い場合は時間あたりの線量率が0.1Gy/h以下とし、リスク係数2を適用し、高線量の場合に比べ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100mGy以下、時間あたりの線量率を5mGy/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。

○実効半減期について	【109】～【115】
------------	-------------

**【109】** 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 および銀-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および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以内の土壤中に残存していた。牧草からみつけた少量の銀-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。

**【110】** 陸上およ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： $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ , ecological half-life, ecosystem
- 索引用キーワード：生態学的半減期、食品
- 引用図表点数：図 6 点、表 15 点

### 【要約】

本論文は、陸上およ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4.1～4.5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。

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

- 英語タイトル：Effective Half-times of  $^{85}\text{Sr}$  and  $^{134}\text{Cs}$  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、およ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（220m<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 140m<sup>2</sup> の区画にストロンチウム-85 およびセシウム-134 を各々 10mCi 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。

### 【112】 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、環境の半減期、堆積方法、文献値
- 引用図表点数：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  $T_w$  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  $T_w$  値により変化する。そのため、 $T_w$  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  $T_w$  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  $T_w$  値と堆積方法について調査した結果を報告している。

- 1)  $T_w$  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、およ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  $T_w$  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  $T_w$  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  $T_w$  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  $T_w$  値を選択しても、その結果にはばらつきが生じる。しかし、 $T_w$  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。

### 【113】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。

### 【114】 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
- 引用を図表点数：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  $0.0753y^{-1}$  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。

### 【115】 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。

○防護措置等について	【116】～【126】
------------	-------------

### 【116】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。

### 【117】 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
- 引用を図表点数：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。

### 【118】 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
- 引用を図表点数：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および晩発障害に対して

防護する可能性をもつ物質およ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) フラボノイド類およ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。

### **【119】 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  $1\text{mSv/a}$  を超える汚染地域を、セシウム-137 汚染濃度、内部被曝線量、およ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  $555\text{kBq/m}^2$  を超える地域では逆の傾向が見られた。これは、措置の縮小や停止およ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およ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、一部集落およ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、および蒔き直し)およ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。

## 【120】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(3), 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
- 引用を図表点数：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。この論文は信頼性が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。

## 【121】牛乳中の安定同位体およ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
- 引用の図表点数：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乳牛由来の牛乳中の安定ヨウ素およ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20mg/日に比べて、低摂取群(<1.5mg/日)では、放射性ヨウ素の移行が25%程度減少し、摂取量が10～500mg/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1000mg/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。

## 【122】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および土壌改良の効果

- 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
- 引用の図表点数：図 3 点、表 1 点

### 【要約】

本論文では、台湾原産の植物種（野菜 4 種および緑肥植物 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 汚染土壌および改良土壌（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、ハウレン草、レタス、大根、ナタネおよ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 100ppm 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。

### 【123】野菜へのセシウム -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
- 引用の図表点数：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。

## 【124】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。

## 【125】 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
- 引用を図表点数：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erの必要があった。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およ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。

## 【126】 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
- 引用を図表点数：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／放射能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、ゲイサーズバーグ、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およ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、および米国食品医薬庁 (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。

○低減措置等について	【127】～【144】
------------	-------------

### 【127】 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
- 引用を図表点数：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の報告をしている。供試した 2 種の土壌は、対照土壌 (317Bq/kg のウラン-238) 及び同じ土壌を重碳酸塩で洗浄したもの (69Bq/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) およびカラシナ (*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 25mmol/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。15,000kg/ha の細麦および 10,000kg/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% および 4.6% が除去可能である。重碳酸塩で洗浄した土壌および対照土壌では、要求される土壌放射活性減衰水準の 1.5 倍および 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。

## 【128】 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
- 引用を図表点数：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、ロシアおよ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。

## 【129】 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
- 引用を図表点数：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。湖水および魚介類中のセシウム-137含量は、地域の川およ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。湖水魚および森林中のきのこにおけるセシウム-137含量は、約10～20kBq/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、乳牛へのプルシャンブルー（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。

### 【130】 ラットのヨウ素-131曝露に対するヨウ化カリウムおよ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 ( $\text{NH}_4\text{ClO}_4$ ) to Ameliorate  $^{131}\text{I}$ - 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 PartA, 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： $^{131}\text{I}$  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】

原子炉事故および核テロの脅威は、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およ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およ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時間および3時間後に30mg/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、ヨウ化カリウムおよ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。

### 【131】北方林生態系での植物およ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(100kgK/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*) および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およびきのこへのセシウム-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、カリウム施肥区できのこの孢子嚢果 (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、植物およ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。

**【132】 アルギン酸カルシウム、フェリシアン化鉄 (II)、ヨウ化カリウムおよび 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 <sup>85</sup>Sr, <sup>137</sup>Cs, <sup>131</sup>I and <sup>141</sup>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
- 引用の図表点数: 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およ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 経口投与およびセリウム-141 腹腔内投与6日後、およびセリウム-141 経口投与1日後に、全身、胴体、消化管、肝臓、腎臓およ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、ヨウ素およ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)、ヨウ化カリウムおよび亜鉛-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。

### 【133】 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する論文を多数紹介している。

### 【134】 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
- 引用を図表点数：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。多くの前臨床および臨床試験で、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、および保管条件（温度）などの特定の化学的・物理的要因による PB の有効成分および市販医薬品の *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、保存温度およ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有効成分および医薬品の初期結合能力および想定した胃およ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および貯蔵条件下で品質予測および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。

### 【135】“金属フェロシアン化物-陰イオン交換樹脂”による牛乳および水中のセシウム-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、この樹脂による水およ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、鉄およ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。

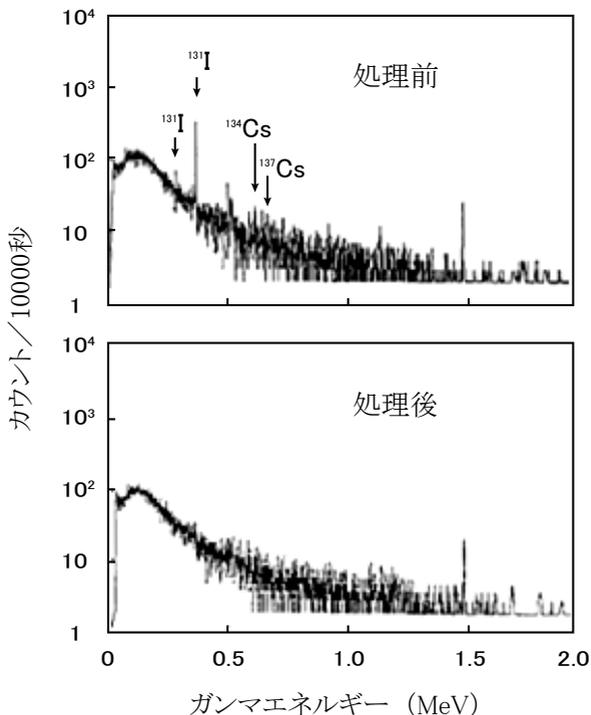


図4 “(NiFC) R” 処理前後のチェルノブイリ事故の放射性降下物質を含む雨水についてのゲルマニウム半導体検出装置を用いた $\gamma$ 線スペクトロメトリ解析結果

※“(NiFC) R” = ニッケルフェロシアン化物-陰イオン交換樹脂

カラム方法：直径1.2cm、3.0g“(NiFC) R”、流量：10ml/分

〔一般社団法人 日本原子力学会より許可を得て改変・転載〕

#### 【136】 畜産物の放射性セシウム汚染低減を目的とした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(bifega)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3~5g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30g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22kgの塩塊には0.22kg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30~60g(フェロシン量に換算すると3~6g/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。

### 【137】 飲料水および淡水食材（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、実用性およ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。湖水へ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。

### 【138】 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および人体の放射性核種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：15～20Bq/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。

### 【139】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。

#### **【140】 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、土壤改良、牧草、ナタネ、プルシアンブルー
- 引用を図表点数：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、土壤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壤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。

#### 【141】「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 <sup>137</sup>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 <sup>137</sup>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、ペクチンは役立たない」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」食物および偽薬（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  $25.8 \pm 0.8\text{Bq/kg}$  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  $11.3 \pm 0.6\text{Bq/kg-BW}$  であった、と報告している。

#### 【142】「チェルノブイリ」事故下の子供にみられる、セシウム-137 量、循環器症状および食品との関係 —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  $5\text{Ci/km}^2$  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  $5\text{Bq/kg-BW}$ （体重）以下、グループ2は  $38.4 \pm 2.4\text{Bq/kg-BW}$ 、グループ3は  $122 \pm 18.5\text{Bq/kg-BW}$ ）に分け、セシウム-137 量、子供の主な食物源および循環器症状との関連性を調査した。循環器症状、心電図の変化およ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。中程度および高い体内セシウム-137 量（グループ2および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および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、循環器症状およ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。

### 【143】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 <sup>137</sup>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が行われている。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。

### 【144】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およ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
- 引用を図表点数：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およ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および投与 11 日後の組織・器官（血液、肝臓、腎臓、脾臓、骨格および残りの胴体）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。

○調理・加工について	【145】～【153】
------------	-------------

### 【145】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、加工処理およ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 およびポロニウム-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 およびストロンチウム-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。

### 【146】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

➤ 引用の図表点数：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 およびセシウム-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。洗浄したハ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 およびセシウム-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）

### 【147】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  $^{131}\text{I}$  content in leafy Vegetables and seaweed by Cooking
- 著者名：Hisamitsu, 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
- 引用の図表点数：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  $^{131}\text{I}$  を含んだ試料を秋田市内で入手した。ヨウ素-131 の減少割合は生のハウレンソウに対して、洗浄したハ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)

#### 【148】調理過程における汚染ニホンナマズからのセシウム-137の除去

- 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
- 引用を図表点数：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。

### 【149】 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
- 引用を図表点数：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およ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。

### 【150】 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
- 引用を図表点数：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。

### 【151】 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およびセシウムの除去

- 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、いくつかの野菜およ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%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碎処理を行い、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。

### 【152】 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
- 引用の図表点数：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4 mm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、酢酸溶液中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。

### 【153】 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
- 引用図表点数：なし

### 【要約】

本論文はミルクおよ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、およびカード (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、およびセシウム-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。

## 核種索引

ア	文献番号
亜鉛-65	[8]
アクチニウム-227	[5]
アクチニウム-228	[5]
アメリカシウム-241	[5] [8] [10] [38] [70] [95] [102] [103]
イットリウム-88	[8]
イットリウム-90	[5]
イリジウム-192	[14]
ウラン	[7]
ウラン-234	[5] [87] [102]
ウラン-235	[5] [102]
ウラン-236	[102]
ウラン-238	[5] [62] [87] [102] [127]
<hr/>	
カ	
カドミウム-109	[8]
カリウム	[48]
カリウム-40	[5] [23] [62] [81] [84] [87] [100]
銀-110m	[109]
金-198	[14]
コバルト-57	[8]
コバルト-60	[8] [10] [14] [37] [95] [101] [102] [103]
<hr/>	
サ	
水銀-203	[8]
スズ-113	[8]
ストロンチウム	[41] [72] [94] [98] [107] [126]
ストロンチウム-85	[8] [111] [132]
ストロンチウム-89	[4] [112] [151] [153]
ストロンチウム-90	[3] [4] [13] [14] [19]~[22] [31] [34] [38] [53] [56] [69]~[71] [78]~[80] [85] [87] [100]~[103] [106] [110] [112] [116] [137] [140] [145] [152] [153]
セシウム	[29] [41] [46] [47] [49] [72] [92] [94] [98] [107] [118] [126] [128]
セシウム-131	[117]
セシウム-133(安定同位体)	[68]
セシウム-134	[2] [15] [24] [48] [51] [55] [57] [64] [69] [74] [93]

セシウム-137	[95] [106] [109] [111] [112] [123] [134] [146] [151] …… [1] ~ [3] [5] [8] [10] [12] [14] ~ [25] [27] [28] [30] ~ [39] [42] [44] [45] [48] [53] ~ [56] [58] [59] [61] ~ [63] [65] ~ [67] [69] ~ [71] [73] [76] [78] ~ [90] [93] [95] ~ [97] [100] ~ [106] [109] [110] [114] ~ [117] [119] [122] [129] [131] [132] [135] ~ [146] [148] [149] [152] [153]
セシウム-141	…………… [112]
セリウム-139	…………… [8]
セリウム-141	…………… [132]
セリウム-144	…………… [112]

タ

---

タリウム-207	…………… [5]
タリウム-208	…………… [5]
テクニチウム-99	…………… [102] [113]
天然ウラン	…………… [8]
トリウム-230	…………… [5] [8]
トリウム-231	…………… [5]
トリウム-232	…………… [5] [62]
トリウム-234	…………… [5]
トリウム崩壊系列	…………… [61]
トリチウム	…………… [20] [21] [101]

ナ

---

鉛-210	…………… [5] [145]
鉛-211	…………… [5]
鉛-212	…………… [5]
鉛-214	…………… [5]
ニオブ-95	…………… [95]

ハ

---

バリウム-133	…………… [10]
ビスマス-210	…………… [5]
ビスマス-212	…………… [5]
ビスマス-214	…………… [5]
プルトニウム	…………… [71] [94]

プルトニウム-238	.....	[34] [95] [102]
プルトニウム-239	.....	[5] [7] [20] [21]
プルトニウム-239, 240	.....	[38] [70] [87] [95] [97] [100] [102]
プルトニウム-240	.....	[20] [21]
プロトアクチニウム-234	.....	[5]
ベリリウム-7	.....	[11] [61]
放射性ウラン核種	.....	[61]
ポロニウム-209	.....	[8]
ポロニウム-210	.....	[5] [14] [145]

## マ

---

マンガン-54	.....	[8] [112]
---------	-------	-----------

## ヤ

---

ユーロピニウム-52	.....	[102]
ヨウ素	.....	[29] [41] [47] [50] [77] [94] [98] [107] [118] [126] [128] [133]
ヨウ素-129	.....	[59] [75] [99] [102]
ヨウ素-131	.....	[11] [14] [15] [20] [22] [26] [27] [30] [39] [42] [52] [60] [69] [74] [75] [86] [88] [91] [93] [112] [117] [121] [130] [132] [135] [137] [147] [150] [153]

## ラ

---

ラジウム-226	.....	[5] [7] [8] [14] [62]
ラジウム-228	.....	[5] [8]
ラドン-226	.....	[145]
リン-32	.....	[14]
ルテニウム	.....	[72]
ルテニウム-103	.....	[146]
ルテニウム-106	.....	[112]
ルビジウム-87	.....	[5]
ルビジウム-103	.....	[15]
ルビジウム-106	.....	[95]

核種標記無し	.....	[6] [9] [40] [43] [108] [120] [124] [125]
--------	-------	---

## 索引

ア	文献番号
ICRP	【108】
アカガシワ	【51】
雨水	【26】
アムチトカ島	【102】
アルファ線分光法	【8】
安定同位体	【99】
安定ヨウ素摂取量	【121】
イオン交換	【153】
伊方原子力発電所	【17】【18】
移行	【56】【62】【70】【71】【86】【87】 【88】【93】【95】【99】【103】【104】 【139】
移行因子	【29】
移行係数	【57】【76】【91】【94】【96】【98】 【121】
移行予測	【92】
移行率	【75】
意志決定	【38】
イチゴ	【151】
移動	【34】【44】【45】
イノシシ	【66】
陰イオン交換樹脂	【135】
飲料水	【137】
ウクライナ	【144】
海鳥	【102】
エアロゾル	【47】
英国高地生態系	【29】
栄養補助食品	【120】
EURAD (EUROpean Acid Deposition) モデル	【27】
液体シンチレーションカウンタ	【4】
餌	【133】
エネルギー値校正	【10】
塩性湿地植物	【95】
欧州	【87】
汚染	【41】【69】【72】【106】【122】【149】
汚染牛乳	【142】
汚染防護対策	【42】

温帯 【114】

## カ

ガイガーミュラー計数管	【9】
海産生物	【25】
海産生物試料	【21】
海水	【18】
海水魚	【102】
海水試料	【21】
海水表層	【36】
海藻	【147】
海底土試料	【21】
ガイドライン	【150】
海洋魚	【36】
海洋生物	【105】
海洋放射能調査	【21】
過塩素酸塩	【130】【133】
核実験	【35】
核燃料サイクル施設沖合海域	【21】
核廃棄物処理場	【37】
核爆発	【83】
確率的影響	【108】
河口	【12】
加工処理	【145】
家畜飼料	【106】
家畜製品	【99】
家庭	【40】
カラシナ	【127】
環境	【72】【149】
環境浄化	【119】【127】
環境大気	【5】
環境の半減期	【112】
環境防護	【124】
環境放射能	【22】
勧告	【125】
肝臓	【97】
乾燥沈着	【74】
缶詰	【152】
ガンマ線分光法	【8】
帰結	【128】
季節変動	【48】
規定	【125】

キノコ	[23] [66] [81] [83] [84] [129]	小麦	[75] [78] [80]
規範	[125]	根吸収	[46]
吸収	[45] [53] [55] [64] [123]		
吸収係数	[98]	サ	
吸収量	[57]		
急性障害	[118]	サーベイランス	[20] [31]
急性被曝	[14]	最大許容濃度設定	[42]
吸着	[16]	再浮遊過程	[19]
牛肉	[136]	細胞質	[82]
牛乳	[26] [88] [115] [121] [135] [136]	魚	[68] [148]
ギョリュウモドキ	[76] [131]	作物	[73]
魚類	[18] [103] [104]	サスケハナ原子力発電所	[60]
ギリシャ	[36]	サブライチェーン	[39]
菌類	[131]	サメ	[17]
空間放射線量率	[22]	珊瑚礁	[114]
クエン酸	[127]	残存率	[145]
果物	[115] [120]	サンプリング	[5]
クリーム	[93]	産卵	[30]
黒ボク土	[75]	残留	[51]
経口摂取	[132]	次亜ヨウ素酸	[52]
経時変化	[59]	鹿	[13]
ケータリング	[40]	試験室間共同試験	[2]
減少	[132]	事故原因	[14]
原子力事故	[106]	事故分析	[72]
原子力発電所等周辺海域	[21] [25]	シジュカラ	[30]
減衰	[111]	糸状土壌細菌	[82]
降雨	[11]	下ごしらえ	[148]
黄砂	[19]	実効拡散係数	[37]
高純度ゲルマニウムスペクトル 分析システム	[10]	実効吸収係数	[37]
甲状腺	[130]	実効半減期	[26] [51] [114]
甲状腺腫誘発地域	[77]	実行モデル	[38]
洪水	[46]	市販医薬品	[134]
国際放射線医学会議	[107]	シミュレーション	[43]
国際放射線防護委員会	[107]	修復	[128]
穀類	[79]	縮小モデル	[49]
コケモモ	[131]	樹皮	[33]
コケ類	[62]	循環	[56]
湖水魚	[129]	循環器症状	[142]
コスト	[41]	浄化	[122]
子供	[143]	消化管	[98]
子羊	[109]	小冊子	[40]
		消石灰	[123]
		除去	[111]

除去率 [146] [147]  
 植生 [47] [50]  
 食品 [42] [69] [92] [110] [138]  
 食品汚染 [28]  
 食品加工 [116]  
 食品中 [2]  
 植物 [45] [53] [54] [55] [70] [77] [131]  
 植物への移行 [52]  
 食物連鎖 [32] [65] [68] [72] [106] [149]  
 助言サービス [41]  
 除染 [141] [143] [144]  
 飼料 [41]  
 人工放射性核種 [25]  
 迅速分析 [4]  
 シンチレーションカウンタ [9]  
 水耕栽培 [53]  
 水田 [16]  
 スウェーデン [67]  
 酢漬け [152]  
 ストローブマツ [51]  
 スプレー洗淨 [151]  
 SPADE [65]  
 スリーマイル [60]  
 生育深度 [84]  
 生態学的半減期 [110]  
 生態系 [3]  
 生体利用効率 [64]  
 生物学的半減期 [50] [61] [85]  
 生物的モニター [13]  
 生物濃縮 [68] [105]  
 セシウム吸収 [58]  
 セシウム結合能 [134]  
 摂取基準 [121]  
 摂取評価 [65]  
 摂取保持率 [7]  
 摂取量 [23]  
 セラフィールド [96]  
 洗淨 [152]  
 専門家グループ [39]  
 線量係数 [7]  
 総説 [125]  
 組織 [95]

## タ

大気 [24]  
 大気降下物濃度 [19]  
 大気中粒子 [52]  
 対策 [41] [128]  
 ダイズ(大豆) [1] [57]  
 堆積方法 [112]  
 体内残留 [132]  
 卵 [94]  
 淡水魚 [137] [139]  
 淡水生物 [103]  
 淡水生物相 [101]  
 タンパク質 [1]  
 チーズ [87] [93]  
 地衣類 [59] [61]  
 チェルノブイリ [1] [3] [24] [28] [28] [29] [30] [32] [33] [34] [35] [36] [45] [46] [48] [54] [56] [59] [60] [61] [65] [67] [69] [71] [77] [80] [86] [88] [89] [90] [92] [93] [96] [109] [115] [117] [119] [128] [129] [130] [135] [138] [140] [141] [142] [143] [144] [149]  
 チェルノブイリ事故 [15]  
 チオシアネート [133]  
 地下核実験 [102]  
 畜産物 [94] [98] [136]  
 蓄積 [56] [61] [68] [82] [84]  
 地上核兵器実験 [59]  
 乳 [96]  
 地表水 [137]  
 調理 [146] [147] [148] [150]  
 調理過程 [145]  
 治療 [132]  
 沈着 [50]  
 角 [13]  
 Tw [112]  
 DNA損傷 [108]  
 低線量被曝 [108]  
 泥炭 [29]

泥炭地	[48]
東海村	[24]
動態	[43]
動態解析	[44]
動的食糧連鎖モデル	[73]
動燃事故	[24]
トウヒ	[33]
動物	[70] [97]
土壌	[16] [35] [43] [44] [45] [70] [73] [92] [113] [122] [123]
土壌-植物移行	[49]
土壌汚染	[63]
土壌改良	[80] [140]
土壌浄化	[116]
土壌植物間濃縮比	[113]
土壌中の蓄積量	[84]
土壌溶液	[46]
トナカイ	[67]
トマト	[151]
取り込み	[113]
ドリフト	[10]

## ナ

内部被曝	[7] [69] [90] [129] [138]
内部被曝線量	[119]
名古屋	[26]
ナタネ	[122] [140]
肉	[94]
2-コンパートメントモデル	[85]
2次元電気泳動	[1]
日本	[26]
乳牛	[88]
乳製品	[153]
ネットワーク構築	[39]
年間摂取量	[42]
年間預託実効線量	[36]
粘着紙	[11]
農業分野	[128]
農業防護対策	[117]
農産物	[63] [73]
濃縮係数	[103] [104]
濃縮比	[62]

農村集落	[119]
濃度	[12]
濃度比	[81]
ノロジカ	[66]

## ハ

灰	[54]
バイオインジケーター	[100]
排出量	[24]
排水	[4]
ハチミツ	[100]
葉物野菜	[74] [146] [147]
ハンガリー	[31]
半減期	[115]
半自然環境	[85]
晩発障害	[118]
羊	[95] [96]
ヒマワリ	[53] [57] [58]
費用対効果	[42]
肥料	[54]
品種間差	[80]
品種内変動	[78]
ファイトレメディエーション	[55]
フェリシアン化鉄	[134]
フェロシアン化物	[135]
フェロシン	[136]
孵化	[30]
プラセボ	[141]
フラックス	[57]
ブランディング	[152]
プルシアンブルー	[134] [140] [144]
プロテオミクス解析	[3]
文献値	[112]
分析法	[20]
分布	[34] [43]
平均残留半減期	[35]
米国食品医薬品局	[126]
ヘキサシアノ鉄酸	[136]
ペクチン	[138] [143]
ベラルーシ	[142] [143]
ベリー	[76]
崩壊定数	[114]

防護剤	[118]
防護措置	[116]
放射化学分析法	[8]
放射性核種移行	[101]
放射性核種除去	[151]
放射性核種濃度	[105]
放射性元素	[132]
放射性降下物	[11][35][43][76][97]
放射性セシウム濃度	[25]
放射線核種分析	[22]
放射線基準	[32]
放射線検出器	[9]
放射線事故	[14]
放射線生態学	[124]
放射線生物学	[6][124]
放射線被曝	[6]
放射線防護	[6][108][124]
放射線防護剤	[126]
放射線防除	[126]
放射線量	[23]
放射能	[1][5]
放射能汚染	[29]
放射能除去	[153]
牧草	[86][88][89][95][109][111] [140]
捕集効率	[11]
保持率	[64]
捕捉	[47]
保存	[153]
保存前処理	[151]
ポプラ	[58]
ポリリン酸	[82]

## マ

ミルク	[86][87][89][90][91][93] [94][95][133]
無脊椎動物	[71]
モニタリング	[5][17]
文部科学省	[20]

## ヤ

野外実験	[78]
野菜	[73][75][77][115][120][123] [150]
有機ヨウ化物	[52]
Julich原子力研究所	[50]
養殖	[139]
ヨウ素カリウム	[130]
ヨーロッパアカマツ植林	[56]
ヨシ	[58]
予測モデル	[101]
預託実効線量	[31]

## ラ

ライグラス	[127]
酪農	[41]
利益—コスト最適化	[38]
リモートセンシング	[12]
リンゴペクチン	[141][142][144]
冷凍	[152]
歴史	[125]
ロシア	[119]

食 糧 —その科学と技術—  
第 50 号

平成 23 年 10 月 28 日 印刷  
(非売品)

平成 23 年 10 月 28 日 発行

〒305-8642

茨城県つくば市観音台2-1-12

独立行政法人

農業・食品産業技術総合研究機構

食品総合研究所

所 長 林 清

URL : <http://nfri.naro.affrc.go.jp/>

印刷所 牛久印刷株式会社

〒300-1236

茨城県牛久市田宮町531-27