

○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。

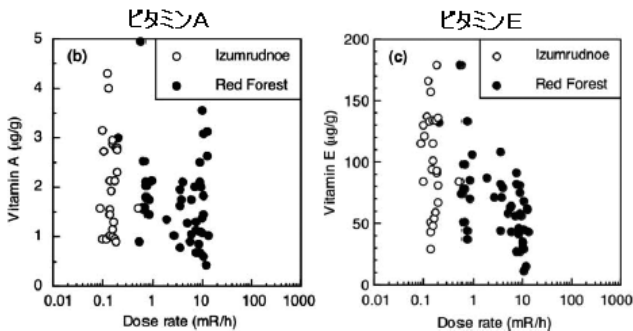


図1 卵黄中のビタミン含量と照射線量率の関係

[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}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}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 ¹³⁷Cs 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 ± 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 ± 0.07) nGy/h per kBq/m² 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 ¹³⁷Cs 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)

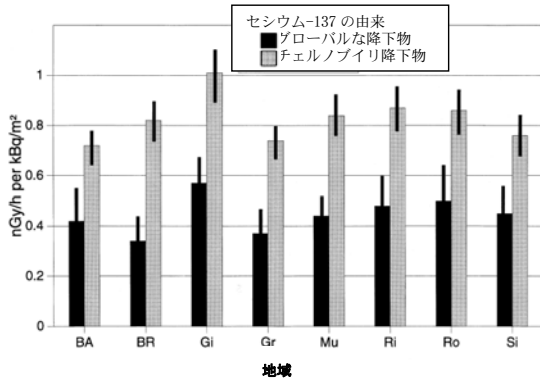


図3 グローバルな放射性降下物(左カラム)およびチェルノブイリ事故放射性降下物(右カラム)に由来するセシウム-137による外部γ線被曝量(nGy/h)

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 1mSv を下回っており、しかも海洋魚の DIL (Derived Intervention Level) 値 (1mSv 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}Cs and ^{60}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}Cs , ^{60}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値的、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。