

福島第一原発事故による周辺生物への影響に関する研究会

2016年8月3日（水）、4日（木）
京都大学原子炉実験所 事務棟大会議室

プログラム

<報告 20 分、質疑 5 分>

◇ 8月3日（水）

13:30~15:10 座長 鈴木 譲

1. 福本 学（東京医科大学）

低線量放射線の健康影響に関する研究と福島被災動物研究

2. 渡辺 嘉人（放射線医学総合研究所）

福島第一原発周辺におけるモミの形態変化の調査

3. 堀口 敏宏（国立環境研究所）

東日本大震災及び福島原発事故後の東日本沿岸における潮間帯生物の
種数と棲息密度

4. 児玉 圭太（国立環境研究所）

東日本大震災・原発事故後の福島県沿岸域における底棲魚介類の群集
構造

<休憩 15:10-15:25>

15:25~16:50 座長 齊藤 剛

5. 三浦 富智（弘前大学大学院保健学研究科）

福島県浪江町に生息するアカネズミにおける放射線生物影響研究

6. 大沼 学（国立環境研究所）

EGS5を使用したアカネズミの被ばく量推定について

7. 大平 拓也（新潟大学農学部）

被災アカネズミにおける精巢の EPMA 分析

8. 山田 文雄（森林総合研究所）（コメント発表 10 分間）

森林における小型哺乳類（ノネズミ類および食虫類）の放射性セシウム

<休憩 16:50-17:05>

17:05~18:20 座長 福本 学

9. 漆原 佑介（放射線医学総合研究所）

福島県内野生ニホンザルへの被ばく影響評価

10. 鈴木 譲（元東京大学水産実験所）

放射能汚染地域に生息するコイの健康調査 2013-2015

11. Randeep Rakwal（筑波大学体育系）

Transcriptomic, proteomic and metabolomic profiling of low-level
gamma irradiated rice at Iitate village, Fukushima

（懇親会 19:00~ 日根野駅前 関空ジョイテルホテル）

◇ 8月4日(木)

9:30~10:45 座長 秋元信一

12. 秋元 信一(北海道大学農学研究院)

福島汚染土壌が昆虫の発生に与える影響

13. 阪内 香(琉球大学大学院理工学研究科)

ヤマトシジミの外部照射実験-経過報告-

14. 平良 渉(琉球大学大学院理工学研究科)

モンシロチョウにおける内部被曝実験

<休憩 10:45-11:00>

11:00~12:15 座長 夏堀雅宏

15. 平谷 佳代子(岩手大学農学部)

福島県の帰還困難区域内における黒毛和牛の病理

16. 夏堀 雅宏(北里大学獣医学部)

牛(黒毛和牛)における放射性セシウムの体内動態

17. 夏堀 雅宏(北里大学獣医学部)

福島県警戒区域内で継続飼育される黒毛和牛の被ばく状況

<昼休み 12:15-13:30>

13:30~14:45 座長 鈴木正敏

18. 井上 一彦(鶴見大学探索歯学講座)

福島原発事故により放出された放射性核種(^{90}Sr , ^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$)の
ヒト乳歯への蓄積に関する研究 第1報

19. 鈴木 正敏(東北大学加齢医学研究所)

生体測定による筋肉中放射性セシウムの体内動態推定の可能性

20. 林 剛平(東北大学加齢医学研究所)

東京電力福島第一原子力発電所事故の被災動物線量評価

<休憩 14:45-15:00>

15:00~16:15 座長 今中哲二

21. 藤原 慶子(京都大学原子炉実験所)

テルルとセシウムの土壌から植物への移行係数と移行係数が線量評価に
及ぼす影響

22. 遠藤 暁(広島大学大学院工学研究院)

福島第一原発事故由来土壌中 Cs ホットパーティクルの測定

23. 今中 哲二(京都大学原子炉実験所)

チェルノブイリ事故による生物影響に関するロシア語文献の紹介

16:15~17:00 総合討論 座長 福本 学、今中哲二

世話人 福本 学 東京医科大学

齊藤 剛 京都大学原子炉実験所

低線量放射線の健康影響に関する研究と福島被災動物研究

福本 学^{1,2}・鈴木正敏¹・漆原佑介^{1,3}・林 剛平¹

¹ 東北大学・² 東京医科大学・³ 放医研

1. 低線量放射線の生物影響における問題点

物理学的に微弱なエネルギーである低線量放射線の生物・人体影響について言われていることは、①健康影響として晩発障害である発がんが問題である、②微弱なエネルギーで大きな生物影響をもたらすのは遺伝情報をコードした DNA が標的であり、特に二本鎖切断が大きな影響を及ぼす、③放射線の影響が微弱なため、放射線以外の雑音に埋もれてしまい検出が容易でない、④影響が検出される線量として、しきい線量がなく影響の発症頻度は線量に対して、ある線量まで直線的に比例すると仮定しても科学的知見に矛盾しない。疑問として、①放射線はがんを誘発するのか、②誘発するとしてしきい線量はないのか、③低線量率の反復あるいは慢性被ばくの影響に線量の積算による効果はあるか、④放射線被ばくに特異的な影響マーカーはあるか、である。

2. 低線量放射線の生物影響研究の材料と手法

健康影響を明らかにするために、どんな疾患を誘発するかという定性的、線量に対する発症頻度の定量的解析を行う必要がある。低線量放射線影響の特徴は、被ばくしてから影響が顕性化するまで時間がかかることである。これを説明するために、電離するという物理的要因である放射線の生物影響は、化学的、生化学的過程を経て細胞、臓器、個体への影響というように段階を経て拡大するから、とされている。人体のどの臓器のどの細胞が主に被ばくしたかによって病態が異なるため、影響研究として条件を単純化して解析をしやすくする方向がある。細胞内 DNA の損傷と修復機構の解明が行われている。ヒトへの影響は直接解析できないため、動物実験が行われてきた。多くがガンマ線による全身照射実験である。ヒトへの影響を直接理解する手段として、医療被ばくあるいは原子力災害によってもたらされた影響解析が行われてきた。ヒトにおける解析は主に疫学調査であるため、統計的パワーが問題となる。

3. 健康影響研究における問題点

物理的な問題点として、線量、線量率、線質の違いをどう克服するか、である。生物学的な問題点として、微量放射線の影響を知るための特異的、鋭敏な手法がないため、単純化して培養細胞への影響を観察するのであるが、それだけでは生体影響は見えてこない。動物実験では、種、系統、性、月齢に起因する差があるため極めて多数の個体が必要である。さらに結果を単純に人体へ敷衍できない。疫学調査では正確な線量評価が困難である。

4. 福島原発被災動物研究

外部被ばくの影響研究でも上述したような多くの障壁があるのであるから、福島原発事故以降の大きな問題である、内部被ばく研究では、線量評価に化学毒性や核種の集積臓器特異性を加味する必要があるためにさらに困難である。わが国で独自性が発揮されている研究成果と我々が行っている被災動物影響研究について述べたい。

福島第一原発周辺におけるモミの形態変化の調査

渡辺嘉人（量子科学研究機構 放射線医学総合研究所 福島再生支援本部）

東京電力福島第一原子力発電所（福島第一原発）の事故により放出された放射性物質からの放射線による影響は、人だけでなく野生動植物に対しても懸念されている。そうした野生動植物への影響を把握するため、平成 23 年度より立ち入りが規制されている旧警戒区域や帰還困難区域で環境省とも連携しながら調査を行ってきた。この調査に基づいて、モミの形態変化に関して検討した結果について紹介する。

福島第一原発の事故後約4年が経過した2015年1月に、帰還困難区域内の3か所の試験区、およびそこから離れた地域の1か所の対照区において、森林に自生するモミ個体群の樹木形態の調査を行った。各試験区にそれぞれ800～1200平方メートルの区画を設けて、区画内に自生するモミの幼木（高さ40 cm～5m）の全ての個体（各区画でおよそ100～200個体）を観察対象にした。

帰還困難区域内の空間線量率が特に高い地域に自生するモミ個体群では、空間線量率が低い地域の個体群と比べて、形態変化の発生頻度が顕著に増加していることが認められた。また、その発生頻度は空間線量率に依存して高くなっていた。モミは通常は1本の主幹が垂直に伸びるのに対して、形態変化個体では主幹の欠損に起因した二股様の分枝が特徴的に認められた。樹木個体ごとに主幹欠損の発生部位を同定すると、帰還困難区域内の試験区では事故後の2012年から2013年の伸長部位で主幹欠損の発生頻度に顕著な増加が認められた。主幹欠損は放射線以外の環境要因や生理的要因などでも発生しうるため必ずしも放射線に特異的な現象ではないが、過去のガンマ線照射実験やチェルノブイリ原子力発電所事故でも示されたようにモミを含む針葉樹が一般的に放射線の影響を受けやすい性質があることを踏まえると、放射線が東電福島第一原発近くの地域におけるモミの形態変化の一因となっている可能性が示唆された。

今後、形態異常形態変化の発生と事故による放射線被ばくとの因果関係をより明確にするために、空間線量率が特に高い地域でモミの木が受けた放射線被ばく線量をできるだけ正確に見積もり、異常発生形態変化の発生の頻度の推移を長期的に見守っていくことに加えて、実験施設内でモミの木に対して人為的な放射線照射を行って同様な形態異常形態変化が発生するかを調べていく予定にしている。

東日本大震災及び福島原発事故後の東日本沿岸における潮間帯生物の種数と棲息密度

堀口敏宏（国立環境研究所）

【背景と目的】2011年3月11日の東日本大震災に付随して起きた東京電力福島第一原子力発電所（1F）の事故により大量の放射性核種が大気中及び隣接海域に放出された。海洋汚染の観点では、大気経路による沈着量を上回る量の放射性核種が原子炉冷却水とともに隣接海域に直接漏洩したとみられ、1F周辺の海産生物は¹³⁷Csやその他の核種に急性あるいは亜急性被ばく（曝露）した可能性がある。そこで、国立環境研究所は、放射線医学総合研究所と福島県の協力のもと、2011年12月14日に1Fの半径20km圏内（警戒区域；当時）の16地点で潮間帯生物に関する予備調査を行い、それ以降も千葉県から岩手県に至る沿岸各地の潮間帯で実態把握のために調査を行ってきた。これまでに得られた結果を紹介したい。

【材料と方法】以下のように、予備調査、詳細調査及び定量調査を行った。

1) イボニシ(巻貝)等の棲息状況に関する予備調査（2011年12月）

2011年12月14日に1Fの半径20km圏内（警戒区域；当時）の16地点（高濃度の放射性核種と津波による影響を受けた可能性がある場所として選定）で予備調査を実施し、イボニシ（アクキガイ科の肉食性巻貝）の棲息状況を目視観察するとともに、その他の潮間帯生物（二枚貝、藻食性及び肉食性巻貝、甲殻類等の節足動物（フジツボ類やヤドカリ類等）など）の棲息状況も目視観察した。

2) 潮間帯の無脊椎動物の種数と肉食性巻貝の棲息密度に関する詳細調査（2012年4月～8月）

2012年4月、7月及び8月に千葉県、茨城県、福島県、宮城県及び岩手県の43地点（このうち、1Fの半径20km圏内（警戒区域；当時）は10地点；その他の33地点は低濃度あるいはごく低濃度の放射性核種と津波による影響を受けた可能性がある場所として選定）で詳細調査を実施し、潮間帯に棲息する無脊椎動物の種名を記録するとともに、イボニシとチヂミボラ（ともにアクキガイ科の肉食性巻貝）は観察された全個体を採集し、採集に要した時間も記録して、各地点の種数と肉食性巻貝の棲息密度（1分間当りの採集個体数）を算出した。

3) 潮間帯の無脊椎動物の種数と個体数密度等に関する定量調査（2013年5月～6月）

2013年5月及び6月に茨城県（神栖市、日立市）、福島県（富岡町、大熊町、双葉町、南相馬市（いずれも1Fの半径20km圏内（旧警戒区域）））及び宮城県（石巻市）の7地点（2012年の詳細調査を実施した地点のうち、1Fからの距離並びに同様の基質（テトラポッドなどの消波堤）であることを考慮した代表地点）において潮間帯の付着生物（無脊椎動物）を対象とした定量調査を実施した。すなわち、水深帯別（潮間帯下部、潮間帯及び潮間帯上部）に50cm方形枠内の全ての付着生物を掻き取り、10%中性ホルマリンで固定した後、種別の個体数と重量を調べた。これにより、各地点の種数と、水深帯別に種別の1m²当り個体数と重量（それぞれ、個体数密度及び重量密度という）を算出した。

以上により得られたデータについて、回帰分析や分散分析、クラスター解析などにより、統計学的な有意性を検定した。

【結果と考察】

1) イボニシ(巻貝)等の棲息状況に関する予備調査（2011年12月）

2011年12月14日の警戒区域内の16地点における予備調査でイボニシ（巻貝）を採集できたのは楢葉町の1地点（1個体）のみであった。また、その他の潮間帯生物（二枚貝、藻食性及び肉食性巻貝、フジツボ類やヤドカリ類等の節足動物など）の棲息量も概して少なく、観察されても少数あるいは小型個体であった。

2) 潮間帯の無脊椎動物の種数と肉食性巻貝の棲息密度に関する詳細調査（2012年4月～8月）

2012年4月～8月の千葉県から岩手県までの43地点での詳細調査により、潮間帯に棲息していた無脊椎動物の種数が1Fに近づくほど統計学的に有意に減少（ $P<0.001$ ）することが明らかとなり、そのうち、イボ

ニシは広野町から双葉町までの約 30km の範囲で全く採集されなかった。大津波の被害を受けた岩手県、宮城県及び福島県北部の多くの地点でイボニシが採集されたことから、1F 近傍（広野町から双葉町までの約 30km の範囲）でイボニシが採集されなかったことを津波による影響として説明することはできず、原発事故によって引き起こされた可能性がある。

3) 潮間帯の無脊椎動物の種数と個体数密度等に関する定量調査（2013 年 5 月～6 月）

2013 年 5 月～6 月に茨城県（神栖市、日立市）、福島県（富岡町、大熊町、双葉町、南相馬市）及び宮城県（石巻市）の 7 地点において実施した 50cm 方形枠による潮間帯の付着生物（無脊椎動物）に関する定量的な採集調査の結果、潮間帯に棲息する無脊椎動物の種数と棲息量が 1F 近傍、特に南側の地点（大熊町と富岡町）で他の地点よりも統計学的に有意に少なく（ $P<0.05$ ）、また、1995 年の東京電力による同種調査の結果（注 1）と比較しても少ないことが明らかになった。この傾向は、フジツボ類などの節足動物で顕著であった。

1995 年 5 月に東京電力によって福島県沿岸の 20 地点で 30cm 方形枠により実施された付着生物（無脊椎動物）の枠取り調査の結果（注 1）、付着生物の平均個体数密度は 7158 個体/m²であり、その内訳は、節足動物（4593 個体、64.2%）、環形動物（179 個体、2.5%）、軟体動物（2348 個体、32.8%）及びその他（38 個体、0.5%）であった。震災前（1995 年）には福島県沿岸の潮間帯にさまざまな無脊椎動物が棲息しており、節足動物（特にフジツボ類）が優占していたとみられる。したがって、2011 年 3 月の震災・原発事故以降、1F 近傍、特に南側の地点で、潮間帯の無脊椎動物の種数と棲息量（個体数密度）が減少したとみられる。その原因は現時点では不明であるが、大津波を受けた他地点での観察結果との比較から、1F 近傍（特に南側）における潮間帯生物の減少が津波のみで引き起こされたとは考えにくく、原発事故による可能性がある。

本研究による観察結果（1F 近傍、特に南側における潮間帯生物の減少）は、震災・原発事故から 9 ヶ月～2 年余りが経過した時点（2011 年 12 月～2013 年 6 月）のものであり、震災・原発事故直後の潮間帯生物の生残状況を反映していると考えられる。1F 近傍、特に南側における潮間帯生物の減少は津波を主たる原因として説明することができず、原発事故による影響の可能性のあるものの、現時点では明らかでない。また、原発事故、とりわけ、原子炉冷却水の直接漏洩により海洋環境中に漏れ出た恐れのある有害物質等には、多種の放射性核種のみならず、ホウ酸やヒドラジンなどの化学物質も含まれていた可能性があり、これらが親潮の流れで南下した可能性がある。1F の南側の地点で影響がより大きかったとみられるのはそのため、とも考えられる。これらの有害物質等に対する急性あるいは亜急性曝露が事故当時に 1F 近傍に棲息していた潮間帯生物個体の斃死をもたらしたのかどうか明らかにするため、今後、室内実験による検証が必要である。

また、新規加入個体が 1F 近傍で観察されない事例（例えば、イボニシ）もあることから、こうした有害物質等あるいは 1F 近傍におけるその他の環境因子に対する慢性曝露の影響も詳細に調べる必要がある。さらに、有害物質等に対する感受性の種差だけでなく、生物間相互作用（餌生物や繁殖相手などを巡る種内競争や、被食―捕食などの種間関係）を通じた影響も含めた総体として、1F 近傍における潮間帯生物の減少が生じた可能性も考えられるため、今後の原因究明に際して、多角的な視点で検証を進める必要があろう。

1F 近傍における潮間帯生物の個体群の時空間変動を明らかにするため、現地調査を継続し、個体数密度の増大（回復過程）のほか、繁殖・産卵行動や幼稚仔の出現と新規加入についても明らかにする必要がある。

（注 1）東京電力株式会社. 海産生物等.「福島第一原子力発電所 7・8 号機 環境影響評価書」5.11-1―5.11-14（東京電力, 2001）.

東日本大震災・原発事故後の福島県沿岸域における底棲魚介類の群集構造

児玉圭太・堀口敏宏（国立環境研究所）

【目的】2011年3月の東日本大震災に付随して生じた東京電力福島第一原子力発電所（1F）事故により環境中へ多量の放射性核種が漏出した。海洋へは大気経由の沈着とともに直接漏洩による放射性核種の移入が指摘されている。この影響により、福島県沿岸では一部魚種を対象とした試験操業を除いて漁業が自粛されており、漁獲努力量が著しく低下した状況にある。同海域の魚介類について放射性セシウム濃度のモニタリングは実施されているが、非漁獲対象種を含む底棲魚介類の種組成・密度等の変遷に関する知見は無い。われわれは福島県沿岸 30m 以浅の浅海域における震災・原発事故後の底棲魚介類の群集構造を明らかにするため、2012年10月の予備調査を経て、2013年1月より年2〜3回の頻度で環境試料の採取とともに試験底曳き調査を行っている。本報告ではこれまでの調査で明らかとなった群集構造の変化について紹介する。

【方法】2012年10月に第一原発（1F）近傍を含む沖合 30km までの 66 定点で底質試料を採取した。また、北部（相馬市沖）、中部（1F 近傍）及び南部（いわき市沖）の各海域に水深 10m, 20m, 30m の定点を設け、2012年10月、2013年1月、7月、9/10月、2014年1月、7月、2015年1月及び7月に水深 30m の定点で水・底質及び生物（プランクトン、ベントス及び底棲魚介類）試料の採取／採集を行い、水深 10m と 20m の定点で底棲魚介類試料の採集を行った。水・底質及び魚介類試料はゲルマニウム半導体検出器による測定に供し、放射性セシウム（ ^{134}Cs 及び ^{137}Cs ）濃度を定量した。植物及び動物プランクトンとマクロベントスは同定・計数した。底棲魚介類は餌料板びき網による試験底曳きにより採集した。曳網時間は 15〜20 分とし、魚類、甲殻類、軟体類、棘皮類を採集した。種の同定を行い、魚種別に単位曳網面積当りの個体数・重量密度を算出した。2013〜2015 年の各年において冬・夏の平均密度を算出して多変量解析を行い、群集構造の時空間的な特性を調査した。

【結果】2012年10月の 66 定点の底質調査の結果、放射性セシウム濃度は 1F 北側と南部沿岸で高値（最大 1,650 Bq/kg）を観察し、また、総じて、南部海域で北部海域より高かった。放射性セシウム濃度の底質中鉛直分布は地点により異なった。底質の TOC、T-N と放射性セシウム濃度との間に相関は認められなかった。一方、2014年1月までの水深 30m 定点での表層底質中の放射性セシウム濃度は、北部で 10〜30 Bq/kg、中部で 30〜50 Bq/kg とほぼ横ばい、南部では 500〜100 Bq/kg に低減した。表層の溶存態放射性セシウム濃度は変動が大きく、底層では 10〜40 mBq/L で概ね横ばいか微増であった。2013年7月までの魚介類（230 検体）の放射性セシウム検出率は 57.6%であり、100 Bq/kg wet 超は板鰐類（サメ・エイ類）と異体類（ヒラメ・カレイ類）であった。 ^{137}Cs の濃縮係数は概ね 10^2 であるが、多くの魚介類試料で溶存態放射性セシウム濃度の 100 倍を上回った。これは海水中濃度の低減よりも魚介類組織中での低減の方が緩やかであるためとみられる。一方、クラスター解析により、調査海域は底棲魚介類群集の種組成・密度の違いから A（北 10〜20m）、B（中 10m）、C（南 10m〜20m）、D（中 20m、北中南 30m）の 4 海域に区分された。A 海域は、多様度は高かったが、密度は他海域と比べ相対的に低い傾向にあった。1F 近傍の B 海域では、小型のエビ類やイカ類が一時的に多獲されたが、重量密度、種数、多様度は全調査海域の中で最も低かった。C 海域では魚類、甲殻類、頭足類が優占した。D 海域は、種数、多様度が最も高く、全ての分類群で密度が高い傾向がみられた。経年変化をみると、B 海域では魚類、頭足類の密度が増加傾向にあった。C・D 海域では 2013 年に優占した甲殻類、棘皮類の密度が 2014 年以降に著しく減少した。

5. 福島県浪江町に生息するアカネズミにおける放射線生物影響研究

○三浦富智¹⁾, 中田章史²⁾, 藤嶋洋平¹⁾, 葛西宏介¹⁾, 有吉健太郎³⁾, 阿部悠⁴⁾, 斎藤幹男⁵⁾,
鈴樹享純⁶⁾, 吉田光明³⁾, 福本学⁷⁾

¹⁾弘前大学大学院保健学研究科, ²⁾北海道薬科大学, ³⁾弘前大学被ばく医療総合研究所,

⁴⁾福島県立医科大学, ⁵⁾環境科学技術研究所, ⁶⁾みちのくファウナリサーチ, ⁷⁾東京医科大学

東日本大震災にともなう東京電力福島第一原子力発電所事故により広範囲の地域に放射性物質が放出された。放射性物質汚染地域に生息している野生生物への放射線影響を調査することは生態系に対する影響評価や環境保全にとって極めて重要であり、ヒトへの健康被害の未然防止、リスク管理や生活環境の改善という観点から野生生物への放射性物質の影響を解析することは意義深い。今回は、個体群年齢構成並びに個体成長解析、染色体異常解析、個体被ばく線量の推定について報告する。

【個体群年齢構成並びに個体成長解析】

アカネズミの齢推定を行った結果、2011 年秋期では両地域で捕獲したアカネズミの齢構成を比較すると、齢カテゴリーwIV(2011 年 2~6 月出生)の個体は青森県で 27.3%を占めるのに対し、福島県では捕獲されなかった。また 2012 年春期においても齢カテゴリーwV, VI(2011 年 1~10 月出生)の個体が青森県に比べ福島県では有意に少なかった。いずれの場合も福島第一原子力発電所事故発生時期に出生した個体が少ないという結果を得た。一方、両地域間では、個体成長率に有意な差が認められなかった。小哺乳類の個体数変動は餌生物及び生活環境要因によって変動することが知られていることから、本研究における放射性物質汚染と個体数変動の関係は定かではない。

【染色体異常解析】

アカネズミ脾細胞を用いた染色体解析では、現段階では放射線に特異的な染色体異常である二動原体染色体(Dic)や環状染色体(ring)などは認められず、帰還困難区域内の空間線量の異なる地域間および対照地域との間で有意な差は検出されなかった。このことから、福島県浪江町に生息するアカネズミにおいては、Dic や ring などの形成に至るレベルにはなかったと考えられる。しかしながら、Dic や ring などの染色体異常は不安定型異常であり、その半減期が短いことが知られているため、安定型異常である染色体転座の解析が必要となるであろう。また、両地域で捕獲されたアカネズミの染色体において染色分体型ギャップ(ctg)、切断(ctb)および染色分体型切断(csb)等の構造異常が観察された。浪江町で捕獲されたアカネズミにおける構造異常を有する細胞の頻度と調査年の間には、強い負の相関が認められた。

【個体被ばく線量の推定】

染色体異常などの放射線生物影響を評価するためには、個体の被ばく線量を推定する必要がある。我々は、汚染地域に生息するアカネズミの個体被ばく線量の測定法の確立を目的として、空間線量率の異なる地域から捕獲したアカネズミに蛍光ガラス線量計(PLD)を留置して放逐・再捕獲を行い、個体被ばく線量の測定と被ばく形態の推定を行った。その結果、アカネズミの被ばく線量は、各捕獲地点の空間線量率や土壌表面線量率に対して線量率依存的に増加していたが、いずれの地点においても空間線量率や土壌表面線量率から推定される被ばく線量を下回っていた。そこで、土壌中の鉛直方向の吸収線量を測定したところ、深さ 10cm 地点で地表の約半分であったことから、アカネズミの生活圏は地下約 10cm 程度と予測される。このことがアカネズミの被ばく線量が捕獲地の線量を下回る要因であると考えられる。また、PLD の測定値には環境放射線(外部被ばく)とアカネズミの体内に取り込まれた放射性物質(内部被ばく)の値が含まれていると考えられる。これらの割合を調べるため、非汚染地域で放射性物質汚染地域の個体に PLD を留置し測定したところ、個体被ばく線量の約 5%が内部被ばくに由来することが判明した。

EGS5を使用したアカネズミの被ばく量推定について

大沼学

国立研究開発法人国立環境研究所、生物・生態系環境研究センター、生態リスク評価・対策研究室

ICRP は放射線による環境影響を評価する際に適切な 12 種類の動植物、「標準動物及び植物」を公表した。哺乳類で標準動物に指定されたのは、シカ科およびネズミ科に分類される野生動物である。また、ICRP は各標準動植物及び植物が放射線を受けた場合に生じる影響について線量率ごとに情報を提供している（誘導考慮参考レベル、Derived Consideration Reference Levels）。シカ科およびネズミ科の動物については、線量率が 0.1 mGy/d 以上となった場合に放射線による影響が発生する可能性があるとされている。Garnier-Laplace J, et. al. (2011) は、事故後 30 日間における森林性げっ歯類が受けた線量率を 3.9 mGy/d であったと報告している。この線量率を ICRP の誘導考慮参考レベルに照らし合わせると、繁殖能力の低下が生じる可能性がある線量率となる。しかし、これまでに 2011 年以降の森林性齧歯類における被ばく状況については情報が少ない。そこで、2012 年～2014 年の繁殖期に福島県内で捕獲したアカネズミ (*Apodemus speciosus*) を対象に被ばく量（内部被ばく量と外部被ばく量の合計）の推定を実施した。外部被ばく量は捕獲地点における空間線量率から推定した。また、内部被ばく量は EGS5 によるシミュレーションで推定した。これらの合計値を個体の被ばく量とし、ICRP の誘導考慮参考レベルとの照合を実施し、繁殖への影響について検討した。

「演題名」被災アカネズミにおける精巣の EPMA 分析

「講演者名」大平拓也¹, 伊藤 洵¹, 藤嶋 洋平², 山城秀昭¹, 中田章史³, 鈴木正敏⁴,
有吉健太郎⁵, 葛西宏介², 篠田 壽⁶, 三浦富智², 福本 学⁷

¹新潟大学農学部, ²弘前大学保健学研究科, ³北海道薬科大学薬学部, ⁴東北大学加齢医学
研究所, ⁵弘前大学被ばく医療総合研究所, ⁶東北大学歯学研究科, ⁷東京医科大学医学部
「講演者所属」新潟大学農学部農業生産科学科動物生産学コース

「要旨（本文）」

福島第一原子力発電所の事故により放出された放射性物質は、周辺地域の環境中に生息する野生動物に何らかの影響を及ぼす可能性は高い。特に、精巣は放射線感受性が高く、また、次世代影響に直接的に関与することから、生殖機能への放射性物質の影響を明らかにすることは、生態系に対する影響評価の指標となる。本研究では、被災アカネズミにおける精巣切片の組織形態学的解析と電子線マイクロアナライザ(EPMA 1720HT, Shimazu)による微小領域における元素の定性分析およびCsのマッピング解析することを目的とした。[実験1] 野生アカネズミは、旧警戒区域内外の高線量地区A(空間線量26.9 μ Gy/h:2012/11/06)、中線量地区I-1(空間線量16.4Gy/h:2013/04/19)にて捕獲した。対照地区は、青森県弘前市(0.06 μ Gy/h:2012/05/29)とした。[実験2] 同様に、2016年4月12-14日にかけて高線量地区0(空間線量12.3 μ Gy/h)、中線量地区I-2(空間線量5.3 μ Gy/h)にて捕獲した。対照地区は、新潟県新潟市(2016/04/18)とした。摘出した精巣は、ブアン液で固定、パラフィン包埋し、切片を作製した後にHE染色を施して、精巣組織および精細胞の分化の状況を観察した。さらに、精巣切片は、電子線を照射して微小部の分析が可能なEPMAを用いて走査型電子顕微鏡観察、定性分析およびCsの分布を測定した。HE染色組織切片においては、精原細胞・精母細胞および精子が正常に分化・退行していることが観察された。EPMAにて定性分析の結果、精巣切片には、S, Nの元素が多く検出された。Csのマッピング解析を行った結果、いずれの精巣においても検出されなかった。以上、福島第一原発事故後1年8ヶ月、2年1ヶ月および5年1ヶ月に捕獲した被災アカネズミの精巣の精子形成・退行には異常は認められず、かつ、精巣切片におけるCsの分布は明らかにされる濃度ではなかった。

森林における小型哺乳類（ノネズミ類および食虫類）の放射性セシウム

山田文雄¹，島田卓哉²，中下留美子¹，亘 悠哉¹，堀野眞一¹

¹ 森林総合研究所鳥獣生態研究室

² 森林総合研究所東北支所

森林生態系における放射性物質の動態や野生動物への影響把握のために継続的モニタリング調査を 2011 年秋から毎年実施している．小型哺乳類の捕獲や放射性セシウムの濃度分析を行い、とくにアカネズミを対象とした経年変化について検討している。そのほか、小型哺乳類における放射性セシウムの体組織を用いた濃度測定についての精度の検証、小型線量計による外部被曝線量の検討、安定同位体比分析による食性の影響検討、種の違いによる影響について検討している。

調査地は 1) 原子力発電所から 27km の福島県川内村の国有林（中線量地、川内調査地とよぶ。空間線量率は平均 $3.6 \mu\text{Sv/hr}$ 、2011 年 10 月下旬測定）と、2) 70km の茨城県北茨城市の国有林（低線量地、小川調査地とよぶ。空間線量 $0.2 \mu\text{Sv/hr}$ 、12 月上旬測定）、および 3) 29km の福島県飯舘村の国有林（高線量地、飯舘調査地とよぶ。空間線量 $4.5 \mu\text{Sv/hr}$ 、2014 年 9 月下旬測定）の 3 カ所である。これらの調査地で、2015 年については、9-11 月にシャーマントラップ約 80-120 個を 3-4 晩設置して捕獲を行った。餌として燕麦を使用した。捕獲個体は炭酸ガスで殺処分後に、体重など外部計測を行い齢段階に分けた。捕獲個体は毛皮、内臓および骨格筋（骨格を含む）に分け、放射線量測定までは冷凍保管した。

高線量地（飯舘）、中線量地（川内）および低線量地（小川）ともに、増加傾向を示している。とくに、高線量地（飯舘）と低線量地（小川）で顕著。リターは 2014 年から減少傾向で、土壌（0-5cm 層）はほぼ一定を示している。

母親とその胎児の母子間の体内濃度の関係について、2011-2014 に捕獲したネズミ類の母親と胎児個体（ $n=10$ ）を対象に、母子間の胎盤を通じた放射性セシウムの移行を検討した結果、相関が認められた。

その他に、餌との関係などを検討しているので紹介したい。

福島県内野生ニホンザルへの被ばく影響評価

漆原 佑介¹、鈴木 敏彦²、清水 良央²、桑原 義和³、鈴木 正敏⁴、林 剛平⁴、斉藤 彰⁵、藤田 志織²、山城 秀昭⁶、木野 康志⁷、関根 勉⁸、篠田 壽²、青野 辰雄¹、福本 学⁹

¹量研機構放医研 福島再生支援本部 環境動態研究チーム、²東北大院 歯学研究科、³東北医科薬科大 医学部、⁴東北大 加齢研、⁵日本電気株式会社、⁶新潟大 農学部、⁷東北大院 理学研究科、⁸東北大 高度教養教育・学生支援機構、⁹東京医科大 分子病理学

被災動物の包括的線量評価事業では、2013 年度より福島県内野生ニホンザルへの東京電力福島第一原子力発電所（福島原発）事故による放射線影響調査を開始し、2016 年 7 月 10 日現在で宮城県、新潟県で捕獲された個体を含めて 349 頭からのサンプリングを行っている。

本研究では、これまでに採取した各臓器・筋肉・血液中の放射性セシウム濃度測定結果から放射性セシウムの体内分布を調べるとともに、造血機能への影響を調査するために末梢血及び大腿骨中骨髓細胞の解析を行った。放射性セシウム濃度測定結果では、骨格筋の放射性セシウム濃度が他の組織に比べて高く、筋肉以外では顎下腺、精巣、腎臓の濃度が高かった。一方、甲状腺や脳の放射性セシウム濃度は低く、骨格筋濃度の 1/5 程度であった。サンプリングしたニホンザルのうち鮮血を採取できた個体について末梢血中白血球数、赤血球数、血小板数、ヘモグロビン濃度、ヘマトクリット値の測定を行った。各々の血液性状について骨格筋中放射性セシウム濃度との相関解析を行った結果、2013 年度、2014 年度捕獲個体では成獣（5 歳以上）、幼獣（4 歳以下）ともに全ての測定項目について顕著な相関はみられていない。2013 年度に捕獲された幼獣及び成獣 9 頭ずつ計 18 頭について大腿骨骨髓中の顆粒球系細胞数、赤芽球系細胞数、巨核球、脂肪割合の解析を行った結果、成獣において顆粒球系細胞数が骨格筋中放射性セシウム濃度と負の相関を、脂肪割合が正の相関を示した。これらの結果が放射線影響であるかを結論付けるために、継続的なサンプリングと解析、さらに内部、外部被ばく線量評価を行う必要がある。

放射能汚染地域に生息するコイの健康調査 2013-2015

鈴木 譲 元東京大学水産実験所

ため池に棲むコイの免疫系を調べることで放射線の健康影響を適切に評価しようというのが本調査の目的である。2013, 2014 年の各 8~9 月に福島県内, および比較対照として栃木県芳賀町で採集したコイの白血球数の算定と免疫関連の組織標本の観察を行ない, 筋肉中放射性セシウム 137 量との関係を探った結果を昨年までに報告してきた。2013 年には福島のコイで白血球数の減少, マクロファージの集塊であるメラノマクロファージセンター (MMC) の脾臓や肝臓での異常増殖などが見られ, 放射線の影響が疑われたが, 2014 年ではそうした差が認められなくなった。

2015 年には調査範囲を 10 地点に広げたが, 採集できたのは飯舘村前田, 川内村, 芳賀町, 名古屋市, 大牟田市の 5 か所であった。これらのコイの組織学的観察結果, および福島大学から提供された大熊町のコイの検討結果を報告する。

<結果>

2014 年の結果を 2013 年と比較すると, 福島のコイが正常になったのではなく対照の芳賀町のコイにも異常が見られるようになっていく。さらに 2015 年には名古屋や大牟田など放射能汚染のない地域のコイでも MMC の発達などが観察された。これらは観察された異常が病気など他の要因でも起こる得ることを示す結果であり, 放射線の影響を評価するにはさらに多くの検体で比較する必要があることを示している。

一方, 大熊町のコイでは事故後に産まれた若齢魚においても高濃度のセシウム蓄積が見られ, 肝細胞の委縮, 膨潤, 空胞化など, 他の調査地点では見られない様々な異常が認められた。大型魚においてはさらに顕著で, ほとんどの肝細胞が形を失っている個体すら認められた。今後, 肝臓の変異に注目してさらに検討する必要がある。

<総括>

過去 3 年間の調査により, 福島事故後の放射能汚染によりコイが健康を害している可能性は示されたものの, 異常と判定した症状が放射線以外の様々な要因でも起こり得ることから結論は明確でなくなってきた。そうした中で放射線の影響を評価するのは容易ではない。その一方, 大熊町の高濃度汚染地帯では他では一切見られない肝臓の異常が認められ, 今後さらに検討を加えて行きたい。

これまでの調査でコイを獲りつくしてしまったのか, 十分な材料の捕獲が難しい場合が多く, 調査の継続が困難になってしまった。また均一条件で育ったコイを用いて比較するという目的もあって, 同じ養殖場で育ったコイを各地の池に放流して 1 年後に再捕獲することでより厳密な比較をする計画である。現在コイを同一水槽にて飼育中であり, 今秋には各地の池に放流する予定である。

Transcriptomic, proteomic and metabolomic profiling of low-level gamma irradiated rice at Iitate village, Fukushima

Randeep Rakwal

Faculty of Health and Sport Sciences, and Tsukuba International Academy for Sport Studies (TIAS), University of Tsukuba

E-mail: plantproteomics@gmail.com

We have been investigating the effects of low dose of gamma radiation in rice, following the 2011-3.11 Great Tohoku Earthquake and the subsequent nuclear accident at Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant. To do so, the contaminated Iitate Farm field (hereafter ITF) located in Iitate village, 31 km from the damaged nuclear power plant having an ambient radiation level of $\sim 5 \mu\text{Sv/h}$, around 100 times higher than natural background radiation for Japan ($\sim 0.05 \mu\text{Sv/h}$), was used for investigating low-level gamma radiation experiments using *Japonica*-type rice (*Oryza sativa* L.) as a model system. Two experimental designs were used, first, a two-week-old seedling model for leaf, and second, growing rice in the contaminated soil till harvest for seeds. In experiment 1, the leaves were sampled at 0, 6, 12, 24, 48 and 72 h post-gamma irradiation at ITF, and rice whole genome 4x44K DNA microarray chip revealed differentially regulated 4481 (induced) and 3740 (suppressed) and 2291 (induced) and 1474 (suppressed) genes at 6 and 72 h, respectively. Gene expression profiles in DNA replication/repair, oxidative stress, photosynthesis, and defense/stress functions were validated by RT-PCR. Simultaneously, 2D-DIGE-based analysis at 72 h revealed 91 differentially expressed spots, whose MALDI-TOF and TOF/TOF mass spectrometry analyses identified 59 different (50 up-accumulated, 9 down-accumulated) proteins. These results unraveled the molecular responses at the level of the genome and proteome in vegetative leaf tissues. In experiment 2, we grew rice in the contaminated site (rice field) in ITF, till maturity and harvested the seeds. These seeds were compared with the seeds harvested from the rice grown in the clean soil in Minamisoma (Fukushima) at the level of the genome and metabolome under continuous gamma radiation exposure outside and inside the rice plant. An Agilent-based multi-omics workflow and analyses was used for the seed study to reveal the modulation of several metabolic and defense pathways related to the stress response of plants. It can be said that the rice plants grown in radionuclide-contaminated soil form seeds with an elevated defense capability against stress. Currently, we are investigating the rice seed proteome-wide changes using 1-DE shotgun approach in combination with mass spectrometry.

福島汚染土壌が昆虫の発生に与える影響

秋元信一¹、李楊¹、今中哲二²、佐藤齊³、石田健⁴（1 北大院農、2 京大学原子炉実験所、3 茨城県立医療大学保健医療学部、4 東大院農学生命科学研究科）

福島第一原子力発電所の事故によって放射性物質が広範に拡散し、現在も放射性物質によって汚染された土壌が広がっている。こうした汚染土壌は、そこに生活する生物の生存と繁殖に影響を与えている可能性があるが、こうした評価はこれまで全く行われてこなかった。汚染土壌が、地表面の微小動物にどのような影響を与えるのかを定量化するために、浪江町でサンプリングされた土壌とコケ（スギゴケ）の上にアブラムシの越冬卵を置き、3ヶ月から4ヶ月間、越冬条件下で被曝させ、加温による孵化の誘導を試みた。

実験には、北海道岩見沢産のトドノネオオワタムシ *Prociphilus oriens* の卵（長径 1.2mm）を用いた。本種の卵は、ヤチダモの幹上に露出した形で産み付けられ、11月から4月中旬まで越冬する。実験室内では湿った濾紙上に置くだけで90%以上の卵から幼虫が孵化することをこれまでの実験で確認している。試料として用いたのは、浪江町の民家軒下の雨樋からの雨水が集まる粘土質土壌で、Cs137濃度は2200～3300Bq/g、コケでは64～105Bq/gであった。土壌は各プラスチック容器に8.6g～11.9gを入れ、その上に100卵を無作為に撒いた。卵を撒いた容器は約0℃の冷蔵庫に3～4ヶ月間保ち、その後は、19℃8時間/6℃16時間の変温環境において孵化を誘導した。3つの実験区（(1) 浪江土壌上で4ヶ月間被曝、(2) 浪江土壌上で3ヶ月間被曝、(3) 浪江のスギゴケ上で4ヶ月被曝）を設定し、孵化率と孵化日をコントロールと比較した。コントロールとして、北海道の腐葉土（0.01Bq/g）とスギゴケを使用した。土壌容器の一部では、内部にガラス線量計（ホルダーのままアルミ箔 0.6mm 巻き）を設置し、アブラムシ卵の被曝量を推定した。123日間（約4ヶ月）の被曝量は、約100mGyで、そのうちベータ線とガンマ線の寄与は約2対1と推定された。一方、スギゴケからの被曝量は3.7～9.9mGyで、ほぼガンマ線による影響と推定された。

幼虫の孵化率については、土壌被曝区とコントロール区に有意差は認められず、土壌被曝区からも一見健全な幼虫が孵化した。一方、幼虫の孵化時期に関しては、コントロール区に比べて、全ての被曝実験区で、孵化は有意に早まった。この傾向は、スギゴケ＞3ヶ月土壌被曝＞4ヶ月土壌被曝の順に明瞭に現れた。このように、放射線被曝はアブラムシ卵の発生過程に何らかの影響を与えた可能性がある。しかし、土壌被曝区においても、明瞭な形態異常は認められなかった。現在、放射線が体サイズに対して何らかの影響を与えたかに関して詳細な調査を進めている。

ヤマトシジミの外部照射実験 - 経過報告 -

阪内香¹・平良渉¹・矢部巧真²・大瀧丈二^{1,2}

¹琉球大学大学院理工学研究科・²琉球大学理学部

<http://w3.u-ryukyu.ac.jp/bcphunit/fukushimaproj.html>

福島第一原発事故から2ヶ月後の2011年5月に本研究室がヤマトシジミ (*Zizeeria maha*) (鱗翅目シジミチョウ科) の野外サンプリング調査を開始して以来、約5年3ヶ月となる。事故からの経年を思うことは、私達の研究を振り返ることでもある。この間、研究仲間の出入りがありながらも、継続的な調査を続けている。その成果は、研究室のホームページで閲覧可能であり、去年の専門研究会では、内部被曝実験・外部被曝実験をまとめて紹介させていただいたところである。今年は、現在進行中である外部照射実験について経過を報告したい。これは、先行研究における飼育や野外サンプリング中に確認されている「形態的には正常」でありながら「元気がない」個体の科学的検証と原因究明を目的としている。結果や考察に至らずの発表となり恐縮ではあるが、諸先生方のご見解をいただき、今後の参考としたい。本実験は、以下、大きく3段階に分けられる。

① 外部照射環境下での飼育

目的▶ 「元気がない」個体の再現

方法▶ 福島県南相馬市から採集した土壌を分量を変えて10パックに詰め、10段階の線源を用意。このパック上でヤマトシジミを飼育(採卵後12日～羽化)。

- ▶ 死亡率・全体異常率・平均蛹化日数・平均羽化日数・♂♀率・平均前翅長、等を算出。
- ▶ ゲルマニウム検出器による土壌の放射能測定結果と、GM・シンチレーションサーベイメータによる線源パック上での放射線測定結果より、外部照射される放射線の「Cs134 : Cs137 : K40」と「 γ 線 : β 線」の比率を割り出した。

② 外部被曝個体を用いての飛翔実験

目的▶ 「元気がない」個体の定量化

方法▶ 目の細かな網を筒型に成形し(100×100×260 cm)、上部に蛍光灯を取り付け、天井から吊るす。走光性のあるヤマトシジミを内部で放ち、飛翔力を観察。

- ▶ ①で飼育した外部被曝個体のメスを使用。実験時間は10分。各個体、3日間連続で行う。
- ▶ 停止時間・歩行時間・飛翔時間を観測。飛翔した個体については、最高到達距離・天井到達の可不可と可ならば要した時間・10分後の位置、等を記録。

結果▶ 最高到達距離・天井到達率・10分後の位置の3日間の平均値と、個体ごとの積算外部照射量は、弱い負の相関を示した。

③ 外部被曝個体を用いての発現解析

目的▶ 生理的・分子的な原因因子の特定

方法▶ リアルタイムPCRを用いて、核遺伝子 *EFI α* をコントロールとするミトコンドリア遺伝子 *COI* の量と発現レベルを相対的に定量(予定)。①で飼育した外部被曝個体を使用。

モンシロチョウの内部被曝実験

○平良 渉¹、垣花 恵祐²、大瀧 丈二^{1,2}

1.琉球大学 理工学研究科 海洋環境学専攻、2.琉球大学 理学部 海洋自然科学科

我々はこれまでに、福島原発事故による放射能汚染の生物影響を調べる材料として小型のチョウ類であるヤマトシジミ(*Zizeeria maha*)を用いてきた。汚染地域に自生するカタバミを餌として用いる内部被曝実験では、比較的低線量な汚染の餌でも異常率や死亡率が増加することが明らかになった。ヤマトシジミは、体長が小さく、大量に飼育できるため、飼育を伴う実験に有用である。しかし、小さいがゆえに体液の採取や1個体での放射能濃度測定が難しいという問題点もある。そこで、ヤマトシジミよりも大きなモンシロチョウ(*Pieris rapae*)を材料に用いて内部被曝実験を行った。モンシロチョウの内部被曝実験では、「ヤマトシジミ以外の種での低線量被曝の影響を調べる」、「体液中の血球数変化を調べる」、「個体ごとの放射能濃度を測定する」の三つを目的として実験を行った。

モンシロチョウの幼虫はキャベツなどのアブラナ科の植物を食べて生育する。我々は、殺虫剤の使用されていない放射能汚染餌を得るために、福島県内の土を用いてキャベツを栽培した。土は沖縄、南相馬(2地点)、飯館村の計4地点から採取し、放射能濃度はそれぞれ0.71、1.7K、6.2K、15K Bq/kgであった。それぞれの栽培条件から平均でND、15.2、6.9、107.9 Bq/kgのキャベツが得られた。これらのキャベツを用いてモンシロチョウを飼育した。

飼育結果の詳細は検討中であるため、以下に簡略的に記述する。

- ・汚染キャベツで飼育した群で異常率(死亡率)が増加
- ・異常率の増加は線量依存的とは言えない
- ・体液中のエノシトイドが与えたキャベツの放射能濃度が高くなるにつれて減少
- ・測定誤差は大きくなってしまうものの、1個体での放射能濃度測定も不可能ではない

以上の結果から、与えたキャベツの放射能濃度が非常に低いにもかかわらず、モンシロチョウにおいては放射線による影響が生じた可能性が示唆された。しかし、異常率が線量依存的に変化していないなど、多くの問題・疑問が残る結果となっている。これらの問題点も踏まえて、研究会では多くのご意見をいただき、低線量内部被曝について深く議論を進めていければと考えている。

福島県の帰還困難区域内における黒毛和牛の病理

○平谷佳代子¹、佐々木淳¹、岡田啓司¹、佐藤至¹、佐藤洋¹、夏掘雅宏²、伊藤伸彦²

¹岩手大学農学部、²北里大学獣医学部

2012年9月に設立された「一般社団法人 原発事故被災動物と環境研究会」は、研究、農家支援、震災復興の3つの課題に沿ってそれぞれ活動を行っており、研究チームは主に東北地方の獣医・畜産系の大学教員らによって構成される。当研究会の主な研究活動は、放射性物質の環境動態と線量評価とともに、現在も帰還困難区域内で飼育・維持されている牛における低線量被ばくの影響評価、牛の畜産物としての安全性評価などである。本研究発表では、帰還困難区域内の黒毛和牛における低線量被ばくの影響を調査するために行った病理検査結果について報告する。

症例は福島第一原子力発電所から半径20 km圏内の4か所の牧場で飼育・維持されていた黒毛和牛47例(約1歳～11歳)で、2013年5月～2015年12月の間にそれぞれ病理解剖を行った。肉眼的に病変の有無を観察した後、肝臓、脾臓、腎臓、心臓、肺、副腎、膵臓、下垂体、消化管、骨格筋、卵巣、子宮、眼球、大脳、小脳、脳幹部、脊髄、リンパ節、皮膚、骨髓などをそれぞれ採材した。採材組織は10%中性緩衝ホルマリン液で固定し、常法に従って組織標本作製、必要に応じて特殊染色や免疫染色を行った。一部の皮膚組織は電子顕微鏡観察に供した。なお、牛の剖検は各農家の承諾と岩手大学実験動物委員会の承認を得て実施した。

剖検例のうち、起立困難や消瘦、食欲不振、眼球突出などの明らかな臨床症状を示して予後不良と判断した5例(10.6%)はリンパ腫であった。これらの症例はいずれも末梢血液中の牛白血病ウイルス抗体が陽性を示し、病変の肉眼的、組織学的特徴は従来報告されている地方病性牛白血病と一致した。

特に明らかな臨床症状はないものの鑑定殺を行った42例のうち、3例(約7.1%)で甲状腺の腫大が認められた。いずれの症例も肉眼的に結節性または嚢胞状病変を認めず、甲状腺の全体がび漫性に腫大していた。組織学的に細胞異型や有糸分裂像の増加はほとんど認められないことから、牛などの家畜においてヨード欠乏によって発症することが知られている非腫瘍性の増殖性病変であるび漫性甲状腺腫と診断した。

皮膚に白斑が散発または多発していた症例では、肉眼的に毛と皮膚の両方または毛のみが白色を呈していた。組織学的に毛、表皮、毛包などに分布するメラニン色素の減少あるいは消失が認められ、正常部位と比較してメラノサイト数も有意に減少していた。病変部ではアポトーシスの発現はほとんど認められなかった。

これまで実施した病理検査結果では、牛白血病、甲状腺の腫大、白斑などがみられたが、現在のところ牛に対する被ばくの影響を明確に示す病理学的なエビデンスは認めていない。しかしながら、牛の低線量被ばくの影響評価に関してはさらに継続していく必要があると考えられた。

牛（黒毛和牛）における放射性セシウムの体内動態 Pharmacokinetics of Radiocesium in Wagyu (Japanese black cattle)

○夏堀雅宏^{*1}, 佐藤至^{*2}, 岡田啓司^{*2}, 佐々木淳^{*2}, 佐藤洋^{*2}, 出口善隆^{*2}, 千田広幸^{*2}, 和田成一^{*1},
柿崎竹彦^{*1}, 上野俊治^{*1}, 寶示戸雅之^{*1}, 小山田敏文^{*1}, 菊地元宏^{*1}, 味戸忠春^{*3}, 伊藤伸彦^{*1},
村田幸久^{*4}, 佐藤衆介^{*5}, 大澤健司^{*6}
岩手大学^{*1}, 北里大学^{*2}, 東京大学^{*3}, 東北大学^{*4}, 宮崎大学^{*5}
(NATSUHORI Masahiro^{*1}, SATO Itaru^{*2}, OKADA Keiji^{*2}, SASAKI Jun^{*2}, SATO Hiroshi^{*2}, DEGUCHI
Yoshitaka^{*2}; CHIDA Hiroyuki^{*2}; WADA Seiichi^{*1}; KAKIZAKI Takehiko^{*1}; UENO Shunji^{*1}; HOJITO
Masayuki^{*1}; OYAMADA Toshifumi^{*1}; KIKUCHI Motohiro^{*1}; AJITO Tadaharu^{*3}; ITO Nobuhiko^{*1}; MURATA,
Takahisa^{*4}; SATO, Shusuke^{*5}; OSAWA, Takeshi^{*6})

【1. はじめに】 福島第一原子力発電所災害で設定された警戒区域内は家畜の移動が制限され、官邸および行政を通じて殺処分の方針が宣言された。しかしながら飼い主は単なる殺処分ではなく、生かすことで今後の調査・研究で貴重なデータが得られることから、殺処分の際の生体試料を有効利用する目的で放射性セシウムの体内動態を明らかにする目的で研究を実施した。すなわち汚染飼料の継続給餌後、清浄飼料に切り替え、適当な間隔で得られた生体試料中放射性セシウム濃度を測定し、その体内動態学的特徴について考察した。

【2. 調査方法】 牛（黒毛和牛・主に繁殖牛）は汚染乾草（最終濃度約100kBq/kg）となるように混合した牧草およそ10kgを毎日3週間継続して給与した後、海外から輸入した非汚染の清浄飼料により給餌しながら継続飼育し、約4週間隔で約3か月間、それぞれ約4頭ずつから得られた各部位の筋肉および各種臓器・組織の全体または一部を採取・重量測定し、それら臓器・組織の一部を均一化してプラスチック容器へ圧縮充填し、測定用試料とした。放射性セシウムは、高純度ゲルマニウム半導体検出器で定量し、測定時の重量より臓器・組織中の濃度を算出した。

【3. 結果および考察】 筋肉は全身の70-80%の放射性セシウムを保持していた。また筋肉でも部位により最大10倍程度のばらつきを認めた。汚染試料給餌後の消失は初期の2-3週間と後期の60-70日間の半減期を伴う二相性を示し、後期の半減期は農水省が公表している生物学的半減期60日と同程度であった。筋肉の多くは汚染給餌終了から概ね指数関数的な単調減少を示したが、第一胃内容は、清浄試料給餌4週間前後を変曲点とした二相性の消失過程（第一相は1週間程度、第二相では60-70日程度の半減期）が示唆された。この反復投与後の二相性の消失過程はラットでは観察されていない。一定期間の暴露後でこのような二相性の消失過程が考慮されるのは、ルーメン内容物からの速やかな放射性セシウムの消失との関連が考慮された。表1-3ではラットで得られている薬物動態学的パラメータ（夏堀ほか, KURRI-KR-18, 1997）との比較を掲載した。

Table 1. Pharmacokinetic parameters of Cs in SD rats (2 weeks after the dose: CsCl(117mmol/kg=15mg/kg))

	t1/2(α) hr	T1/2(β) hr	MRT hr	F (bioavailability) %
IV	5.1 $\pm$ 1.7	155 $\pm$ 16	136 $\pm$ 9	-
PO	5.1 $\pm$ 3.1	160 $\pm$ 34	136 $\pm$ 20	87 $\pm$ 5
	Vdss l/kg	CLtot ml/min/kg	CLr ml/min/kg	Urinary recovery %
IV	14.6 $\pm$ 1.6	1.8 $\pm$ 0.2	0.7 $\pm$ 0.1	40 $\pm$ 3
PO	14.4 $\pm$ 3.1	2.0 $\pm$ 0.2	0.8 $\pm$ 0.2	41 $\pm$ 9

Table 2. Pharmacokinetic parameters of Cs in SD rats (16 weeks after the dose: CsCl(117 μ mol/kg=15mg/kg))

	T1/2(α) hr	T1/2(β) hr	T1/2(π) hr	MRT hr	F (bioavailability) %
IV	2.1 $\pm$ 1.2	53 $\pm$ 22	289 $\pm$ 29	275 $\pm$ 22	-
PO	4.0 $\pm$ 3.4	68 $\pm$ 31	341 $\pm$ 18	308 $\pm$ 47	91 $\pm$ 10
	Vc l/kg	Vdss l/kg	CLtot ml/min/kg	CLr ml/min/kg	Urinary recovery %
IV	6.5 $\pm$ 2.7	27.0 $\pm$ 2.9	1.7 $\pm$ 0.3	1.0 $\pm$ 0.2	63 $\pm$ 4
PO	5.9 $\pm$ 2.1	29.9 $\pm$ 4.5	1.6 $\pm$ 0.0	1.1 $\pm$ 0.2	63 $\pm$ 11

Table 3. Elimination half lives of Cs in Wagyu Organs
(14 weeks after the multiple dose of ^{137}Cs (100kBq/day for 21days)

	T1/2(α) day	T1/2(β) day
Muscles	14.0 $\pm$ 3.1	60.8 $\pm$ 7.9
Parenchymal organs	8.8 $\pm$ 0.6	66.5 $\pm$ 3.0
GI tract	7.2 $\pm$ 1.6	63.7 $\pm$ 7.4
Lymph node	7.1 $\pm$ 3.6	82.8 $\pm$ 27.7
Glands	9.9 $\pm$ 2.9	70.8 $\pm$ 3.9
CNS	26.3 $\pm$ 6.3	-
Blood	9.9	69.3
Urine	7.7	69.3

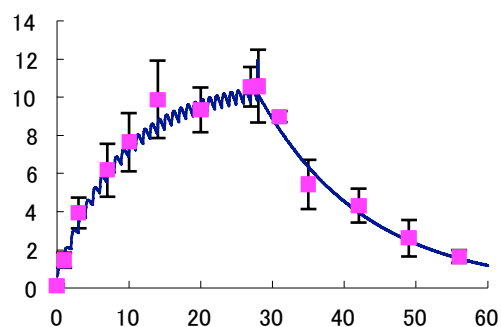


Figure 1. An example of Concentration - time curve during and after multiple daily administration of

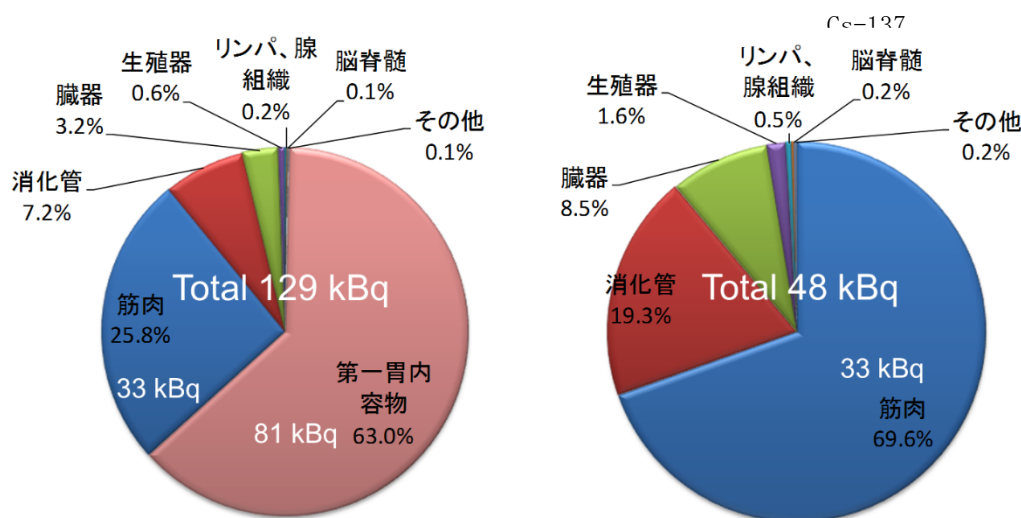


Figure 2. Organ distribution ratio of Cs-137 in Wagyu
(The right graph is the ratio excluding the lumen content)

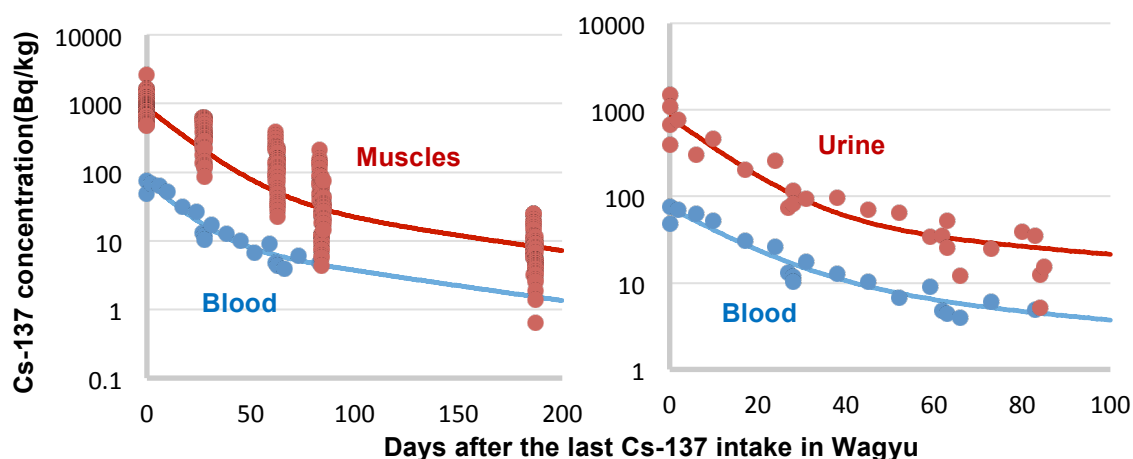


Figure 3. Concentration - time curves of Cs-137 in muscle, blood, and urine samples of Wagyu

今回の調査では消失過程のパラメータが得られたのみであったが、吸収速度定数を含む吸収過程、生体内利用率及び及びクリアランス等を明らかにするとともに、牛の内部被ばくを実測及びEGS5等のシミュレーションで明らかにしたい。

*¹Kitasato University, *²Iwate University, *³Obihiro University, *⁴The University of Tokyo, *⁵Tohoku University, *⁶University of Miyazaki

福島県警戒区域内で継続飼育される黒毛和牛の被ばく状況

Estimation of Radiation Exposure of Wagyu (Japanese black cattle) in Fukushima caution zone

○夏堀雅宏^{*1}, 佐藤至^{*2}, 岡田啓司^{*2}, 佐々木淳^{*2}, 佐藤洋^{*2}, 出口善隆^{*2}, 千田広幸^{*2}, 和田成一^{*1}, 柿崎竹彦^{*1}, 上野俊治^{*1}, 實示戸雅之^{*1}, 小島貴文^{*1}, 伊藤伸彦^{*1}, 村田幸久^{*3}, 佐藤衆介^{*4}, 大澤健司^{*5}
岩手大学^{*1}, 北里大学^{*2}, 東京大学^{*3}, 東北大学^{*4}, 宮崎大学^{*5}

(NATSUHORI Masahiro^{*1}, SATO Itaru^{*2}, OKADA Keiji^{*2}; SASAKI Jun^{*2}, SATO Hiroshi^{*2},
DEGUCHI Yoshitaka^{*2}; CHIDA Hiroyuki^{*2}; WADA Seiichi^{*1}; KAKIZAKI Takehiko^{*1}; UENO Shunji^{*1};
HOJITO Masayuki^{*1}; KOJIMA Takahumi^{*1}; ITO Nobuhiko^{*1}; MURATA, Takahisa^{*3}; SATO, Shusuke^{*4};
OSAWA, Takeshi^{*5})

【1. はじめに】 福島第一原発事故の旧警戒区域内では今でも数百頭の牛が毎時数 μ Svから数十 μ Svの環境中で継続的に飼育されている。我々は2012年に現地畜産農家とともに「原発事故被災動物と環境研究会（現在名）」を設立し、150頭ほどの牛を対照に調査・研究活動を行なっている。ここでは、これまで得られた成果のうち主に牛の外部被ばく線量に関する話題を中心に報告する。

【2. 調査方法】 調査対象地区は空間線量率の異なる3種類の牧場（福島県浪江町、大熊町、小丸地区）とし、もっとも空間線量の高い小丸地区では牧場内にメッシュ状に定めた各地点の地表面から0, 50, 100cmの高さをサーベイメータ（電離箱：ALOKA）で2-3か月ごとに空間線量率を測定した、また各測定ポイント周辺の5ポイントについて、土壌の表層から5cmまでの汚染状況も調査した。また汚染牧野の一部について線量率の平面分布を把握するために、ガンマカメラ（日立：HGD-E1500）で観察・記録した。外部被ばく線量は対象牛（黒毛和牛）の頸部にベルトと一緒に装着する形で、ガラスバッジによる線量をモニターした。記録開始は2013年12月からであるがもっとも線量の低い地区は除染対象地区となったため2014年の10月を最後に測定中止した。通常1月のモニターに使用するガラスバッジ（GD：千代田テクノル）を2~3ヶ月程度の間隔でモニターした。また、最も高い線量率の牧場のそばに設置されたモニタリングポスト（MP）による線量率（2012年4月3日より測定値が公開）と比較し、経産省ならびに東京電力による発表されたI-¹³¹I, ¹³⁴Cs, ¹³⁷Csの放出率、IAEAの技術資料から核種による汚染土壌からの空間線量率を参考に初期線量率、初期線量からの積算線量、ならびに核種による線量率及び積算線量率の推移を推定した。

【3. 結果および考察】 ガラスバッジによる2-3か月間の積算線量から計算した測定期間中（2013年12月~2015年12月）の平均空間線量率は比較的高い線量率の牧場でおおよそ20 μ Sv/hから、そのほぼ2年後には10 μ Sv/hに半減していた。線量率の半減期に関しては他の地区の結果も同様であった。観察期間中の28か月間の積算線量は高・中・低線量率の牧場でそれぞれ約315mSv, 44mSv, 5.4mSvと推定された。また、高線量率の牧場の空間線量率の推移はMPで観察された推移にほぼ一致していた。このデータからの外挿と、原子炉事故当時の最大初期線量率を主要核種（¹³¹I, ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs）の放出割合をそれぞれ50:1:1と仮定した結果（表1）、初期の空間線量率は最大で約341 μ Sv/hであったと推定された（Fig. 1）。また、事故当時から現在までのおよそ1,830日間で和牛の積算線量は最大1,037mSvと推定された（Fig. 2）。この1Svを超える積算線量は、東日本大震災で報告されている哺乳動物の被ばく線量としては最大である。このうち、¹³¹I による外部被ばく線量は実効線量で最大約88mSvと推定され、この¹³¹I による外部被ばくは初期の30日間でおおよそ¹³¹I による総被ばく線量（88mSv）の93%（82mSv）であり、これは事故から30日間の積算外部被ばく線量（107mSv）の58%が¹³¹Iに起因することを示した（Fig. 2）。

以降、線量率が漸減するに従い積算線量の上昇率はやや低下したものの、¹³¹Iによる外部被ばくの寄与が¹³⁴Csに置換されるまでにはおよそ160日を要すること（Fig. 3）、また外部被ばくの寄与率が¹³⁷Csに置換されるまでにはおよそ2,850日（7.8年）を要する（Fig. 3）ことが示唆された。

表1. 核種とそれらの推定放出比, 推定土壌汚染, および空間線量寄与率

核種	物理学的半減期 T1/2 (day)	放出比*	推定土壌汚染 MBq/m ²	mSV/h/MBq/m ² 空間線量寄与率
Cs-134	753	1	4.8	5.4
Cs-137	11,003	1	4.8	2.1
I-131	8.02	5.0	240	1.3

*東京電力の報告による。

ウェザリング効果 (WE) の寄与分も若干程度示唆された (Fig. 1)。本研究によって, 原子炉事故からの放出量 (Cs・I) に基づく土壌汚染を推定することによって実測された空間線量に概ね対応する線量率曲線, 積算線量曲線, および積算線量に対する核種寄与率曲線が推定された。なお, 原子炉災害以降, 初期の5ヶ月は¹³¹Iが, その後現在までは¹³⁴Csが積算線量としての外部被ばくの主因であり, 現在の総線量に対する¹³⁴Csの寄与率は54%, ¹³¹Iは4%程度と推定される。

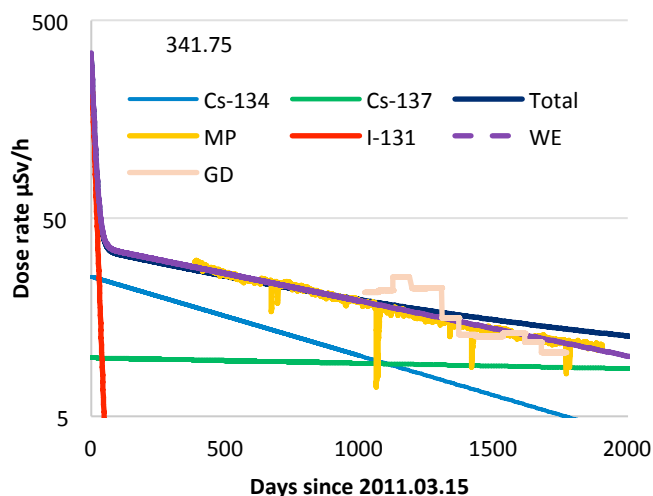


Figure 1. Estimated dose rate in Omaru farm since March 15th, 2011 based on Fig. 1

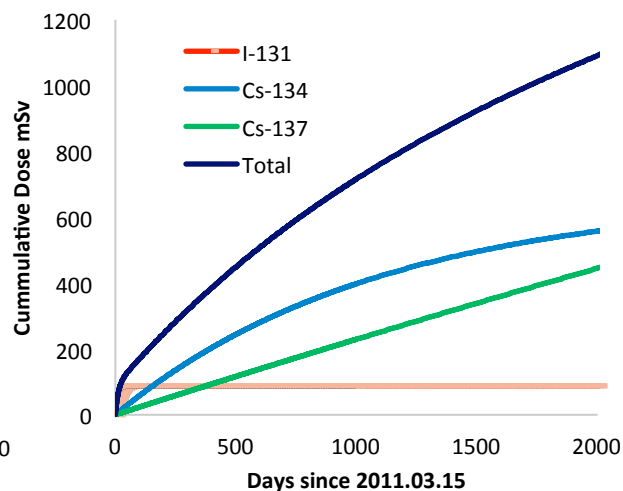


Figure 2. Estimated cumulative dose based on Fig. 1

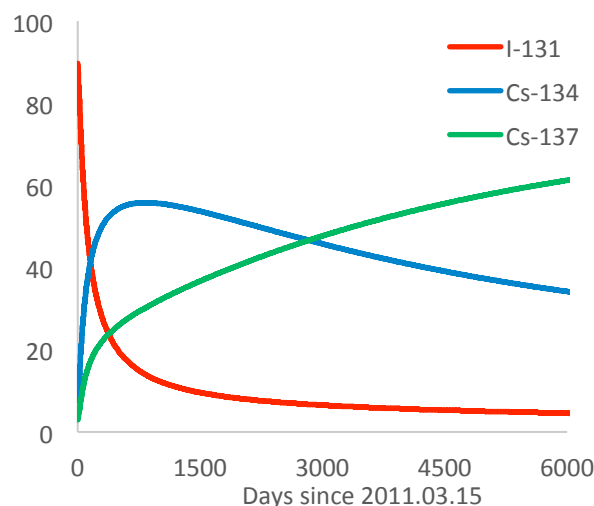
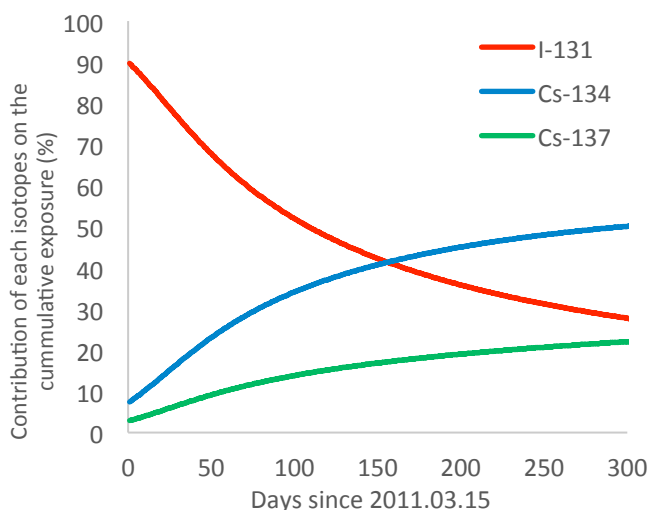


Figure 3. Relative contribution of the representative radionuclides (¹³¹I, ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs) on cumulative external radiation exposure to Wagyu since the explosion of the Fukushima Daiichi Nuclear Plant (March 15th, 2011)

*¹Kitasato University, *²Iwate University, *³The University of Tokyo, *⁴Tohoku University,

*⁵University of Miyazaki

福島原発事故により放出された放射性核種 (^{90}Sr , ^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$) のヒト乳歯への蓄積の推移に関する研究 第1報

○井上一彦¹⁾, 山口一郎²⁾, 佐藤 勉³⁾, 村田貴俊¹⁾, 今井奨¹⁾, 野村義明¹⁾, 花田信弘¹⁾

1) 鶴見大学歯学部探索歯学講座, 2) 国立保健医療科学院 生活環境研究部

3) 日本歯科大学東京短期大学

【目的】核実験等や東京電力福島第一原発事故で環境に放出された放射性核種の人体への移行を調べるために日本全国より乳歯を集め、乳歯中での放射性核種 (^{90}Sr , ^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$) の濃度を調査し、これまでに収集したヒトの歯での濃度と比較し、東京電力福島第一原発事故による影響を検証すると共に原発事故前後の推移を明らかにする。

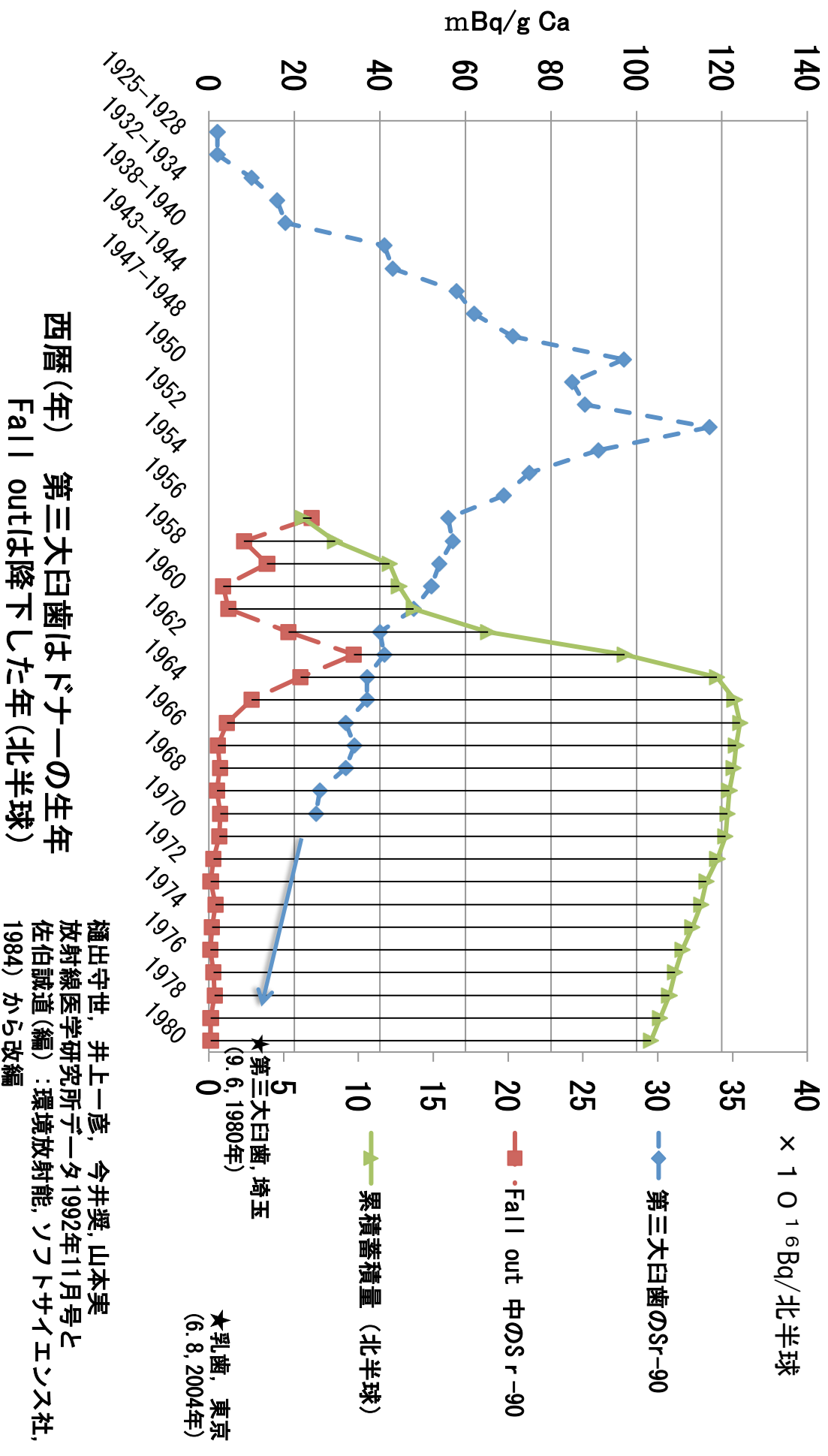
【対象と方法】平成24年12月（原発事故後）より、本研究に賛同が得られた全国歯科診療所施設に資料（研究計画説明書、同意書）と収集ビン（配布）をし、乳歯を生年別、地域別に収集継続中である。乳歯収集状況は秋田；20、宮城；10、山形；50、福島；3、東京都；487、神奈川県；30、千葉県；20、埼玉県；247、静岡県；32、愛知県30、大阪府；50、広島県；10、愛媛県；412、福岡；10、熊本県；96、鹿児島県；60、沖縄県；12、総計1579本である。（平成28年4月15日現在）。今回は原発事故前の推移を明らかにするために、①埼玉県（2003年生年、35本）、②東京都（2003年生年、57本）、③愛媛県新居浜市（2003年生年、45本）、④愛媛県八幡浜市（2003年生年、29本）、⑤埼玉県（2004年生年、34本）、⑥東京都（2004年生年、54本）、⑦愛媛県新居浜市（2004年生年 48本）⑧愛媛八幡浜市（2004年生年、18本）の乳歯8試料と、対象として⑨成人第三大臼歯（1980年生年、埼玉13本）の9試料の測定調査を実施した結果について報告する。 ^{90}Sr , ^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$ の分析方法：上記乳歯、第三大臼歯を歯石やカリエス、軟組織等をマイクロモーターやスケーラー等を使って可及的に除去した後、乾燥させ8時間電気炉（TMF500, MORITA®）でアルミナるつぼに入れ、焼結させ灰化し、深型メノウ乳鉢（東京硝子器械）を使って粉末にして、53meshの篩を通過したものを試料とした。 ^{90}Sr 計測は文部科学省放射能測定法シリーズ「放射性ストロンチウム分析法」、 ^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$ の計測は同「環境試料中プルトニウム迅速分析法」により実施した。

【結果】 ^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$ ：すべての試料（④、⑧以外測定）において検出限界未満であった。

^{90}Sr ：⑨成人第三大臼歯より $9.6 \pm 2.2 \text{ mBq/g} \cdot \text{Ca}$ の ^{90}Sr が検出された。乳歯群では⑥東京都のみ $6.8 \pm 2.1 \text{ mBq/g} \cdot \text{Ca}$ の ^{90}Sr が検出された（図1、いずれも H28.04 時点換算で計数誤差も示す）。

【考察】ストロンチウム90がいくつかの試料から検出されているが、第三大臼歯は福島第一原発事故以前に収集されたものであり、核実験由来のものと推察される。乳歯に関しても収集は事故後であるが、歯冠形成期は胎生期から出生後であると考えられるのでバックグラウンドとしての蓄積であり、事故前のデータが得られ、これまでに計測した1970年以降の生年の乳歯と比べても減少していることが確認された。本研究は科学研究費助成事業で実施されている。

図 1 ^{90}Sr の年間降下量, 第三大臼歯中の ^{90}Sr , ^{90}Sr 累積蓄積量と今回の結果 (★)



樋出守世, 井上一彦, 今井奨, 山本実
放射線医学研究所データ1992年11月号と
佐伯誠道(編): 環境放射能, ソフトサイエンス社,
1984) から改編

生体測定による筋肉中放射性セシウムの体内動態推定の可能性

鈴木正敏¹、木野康志²、鈴木秀彦³、石黒裕敏³、漆原佑介⁴、渡邊智³、齊藤陽介³、小堤知行³、曾地雄一郎⁵、西清志⁵、桑原義和¹、沼辺孝³、関根勉⁶、福本学^{1,7}

東北大 加齢研¹、東北大院 理学研究科²、宮城畜試³、量研機構放医研 福島再生支援本部⁴、仙台家保⁵、東北大 高教機構⁶、東京医科大 分子病理⁷

我々は肉用牛頸部筋肉の体表面に NaI サーベイメーターを密着させて計測 (生体測定)する方法を確立し、筋肉の生物学的半減期が約 1 ヶ月である事を明らかにした。放射性セシウムは長半減期核種であるため、体内動態を予測する事は意義がある。特に一定期間の測定によって、測定期間以外の体内動態が推測できると有意義である。本研究では、放射性セシウムを含む汚染飼料を給与した肉用牛において血中放射能濃度測定と生体測定を行い、一部の実測値を使って推定した放射性セシウム動態が、実測値に対してどの程度高い再現性を示すかについて検討した。肉用牛への給与試験は、平均 1,158Bq/kg の放射性セシウムを含む汚染稲わらを 63 日間給与した後に、放射性セシウムを含まない清浄飼料に切り換えて 83 日間飼養した。試験期間中、血中放射能濃度と生体測定を毎週行った。

血中放射能濃度、及び生体測定値は汚染飼料給与開始翌日から増加し、血液では 1 ヶ月後、筋肉では 40 日以降にピークを迎えた。清浄飼料に切り換えた後は、血中濃度は速やかに、生体測定値は緩やかに減少し、それぞれ 2 相性の減少を示した。そこで、2 コンパートメントモデルを利用して放射性セシウム動態を推定した。推定値が実測値に対して高い再現性を示す条件は、(1) 汚染飼料給与中は臓器内への蓄積が飽和するまでの測定値のみで推定が可能だが、給与開始後 1 週間程度の初期データは不要、(2) 飽和した後は清浄飼料に切り換えて最低でも 1 ヶ月間の測定が必要、となることが分かった。この結果は放射性物質摂取後の定期的な計測によって、正確な内部被ばくの状況を把握できる可能性を示唆する。

東京電力福島第一原子力発電所事故の被災動物線量評価

Dosimetry method of animals affected by Fukushima Nuclear Power Plant No.1 accident

○林 剛平¹ 漆原 佑介^{1,2} 鈴木 正敏¹ 遠藤 暁³ 今中 哲二⁴ 福本 学¹

(東北大学加齢医学研究所¹ 放射線医学総合研究所² 広島大学大学院工学研究院³ 京都大学原子炉実験所⁴)

1. はじめに

被災動物包括的線量評価グループでは、東京電力福島第一原子力発電所 (FNPP) 近傍の動物の採材を2011年8月から行っている。そのうち、FNPPから半径20km圏内に含まれる旧警戒区域において、2011年8月29日から2013年3月7日の間に安楽殺された204頭のウシについて Particle and Heavy Ion Transport Code System (PHITS) と Geo Information System (GIS) を用いて線量評価を行った(Sato *et al.*, 2012)。FNPP事故における初期被ばくの、重要な核種はTe-132/I-132、I-131、Cs-134、Cs-137である (Imanaka *et al.*, 2012)。採材されたウシの全ての臓器からCs-134、Cs-137が検出され、20頭のウシの腎臓からTe-129mが検出された。Te-129mに対するTe-132は環境中で14.5倍沈着したことが報告されている (Tagami *et al.*, 2013)。本発表では、同ウシに関し初期被ばくも含めた、採材日までの外部、内部被ばく量を推定する。本解析は、FNPP事故の哺乳動物への内・外部被ばくの寄与、短・長半減期核種の寄与を比較し、生物影響を解析する際のベースとなる知見を提供するものである。

2. 方法

ICRP が公開している参照動物のファントムを PHITS を用いて作成し、PHITS による換算係数を検証した (ICRP Pub.108)。ウシに関して、大人、子、胎児のファントムを作成し換算係数を計算した。ウシの臓器をゲルマニウム半導体検出器で測定し、内部被ばくの入力値を得た。米国エネルギー省・核安全保障局の行った航空機サーベイから I-131、Cs-134、Cs-137 の汚染地

図を作成し、文科省が行った土壌調査から

Te-129m の汚染地図を作製し、その地図とウシ採材地点を GIS を用いて重ねることで外部被ばく量の入力値を得た。体内放射能濃度は、事故後から飽和状態であったと仮定し、物理的減衰のみを考慮して積算被ばく線量を算出した。

3. 結果

PHITS では、ICRP の換算係数を 8 割程度の精度で再現することが出来た。胎児は、母親の体によって、土壌からの被ばくが半減し、母親の体内から被ばくが、自身の内部被ばくと同程度追加されることが分かった。ウシの被ばく量の最大値は、200 mGy であった。内部被ばくを放射性セシウムに限った場合、初期の 30 日間の放射性セシウムによる外部・内部被ばくの合計は全体の 0.47-0.84 を占め、短半減期核種に依る外部被ばくは、放射性セシウムによる被ばくの多くても一月分程度という結果になった。一方、腎臓に集積した Te-132 / I-132 を考慮に入れた場合、その被ばくは多い場合で、放射性セシウムによる内部被ばくの 7 年分、外部被ばくの 3 年分という結果になった。

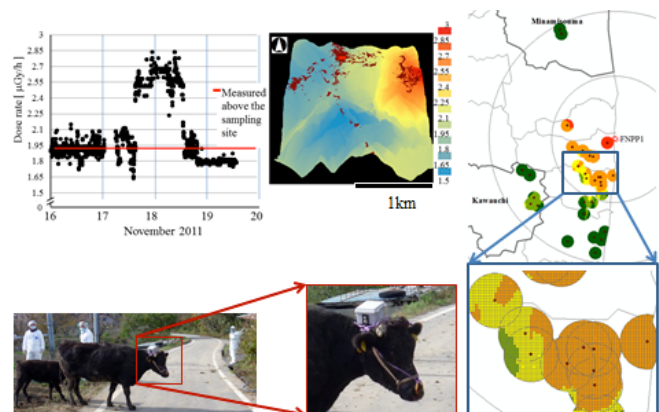


図. ウシの行動調査と汚染地図の重ね合わせ

テルルとセシウムの土壌から植物への移行係数と 移行係数が内部被ばく線量評価に及ぼす影響

藤原 慶子（京大原子炉）

【はじめに】

東京電力福島第一原子力発電所事故により環境中に放出された放射性セシウムや放射性ヨウ素によって一般公衆が受けた内部被ばく線量は政府や国際機関等によって評価・報告されている。これに対し、放射性テルルについては1年未満の短半減期核種が多く、また、線量の推定に必要な環境動態に関する知見が不足していることから、評価の対象とされていない。しかしながら、 ^{127m}Te の半減期は109日、 ^{129m}Te の半減期は33.6日であり、事故後1年間の内部被ばく線量に寄与した可能性がある。したがって、本研究では、実験的に土壌から植物へのテルルの移行係数を決定するとともに、国際原子力機関(IAEA)が報告している移行係数も併せて用い、葉・根菜の摂取に伴って生じた内部被ばく線量を評価することを目的とする。

【実験】

1. 栽培

安定テルル(Te 1000, Wako)と安定セシウム(CsCl 99.9 %, Wako)を純水で水溶液にしたものがそれぞれ1 mg/dry-soil-kgとなるように乾燥させた4種類の土壌に添加し、土壌の調製を行った。安定テルルと安定セシウムを添加して1週間後の土壌と4週間後の土壌150 g–200 gを容器(Incubator Tissue 72×72×100mm, SPL LIFE SCIENCES)に入れ、ラディッシュ(*Raphanus sativus* var. *sativus*)と小松菜(*Brassica rapa* var. *perviridis*)の苗を容器1つにつき1本ずつ植えた。苗を植えた容器をバットに並べ、1.5–2 cm程の高さまでイオン交換水を入れ、暗8時間、明16時間、22℃の人工気象器内で

約2週間–2ヶ月間栽培した。バットの中のイオン交換水がなくなると1.5–2cm程の高さまでイオン交換水を補充した。

2. 収穫

小松菜については、根元の土壌を純水で洗い落とし、後根を切り落とし、葉・茎を試料とした。ラディッシュについては、根の土壌を純水で洗い落とし、側根を切り落とし、根と葉・茎を試料とした。(図1)

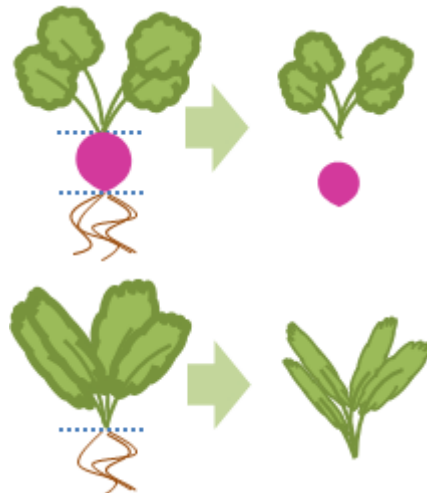


図1 試料採取方法

3. 測定

全ての試料を、乾燥器(CD.15S, いすゞ製作所)で乾かした後粉碎し、70%の HNO_3 （電子工業用；関東化学株式会社製）5 ml と30% H_2O_2 （電子工業用；関東化学株式会社製）1.2 mlを加えマイクロ波加圧分解装置(Topwave, アナリティックジャパン)で約100 mgの試料を湿式分解し液体サンプルにした。粉末試料が100 mgに満たない場合は採取した全量を使用し液体試料にした。液体試料を純水で希釈し、ICP-MS(HP-4500, Yokogawa, Japan)で試料中のテルルとセシウム濃度を測定した。

【被ばく線量評価】

1. 放射性テルルの放出量比

福島第一原発の事故における ^{127m}Te と ^{129m}Te の放出量は $1.1 \times 10^{15} \text{ Bq}$ と $3.3 \times 10^{15} \text{ Bq}$ であったことが原子力安全・保安院により報告されている¹⁾ことから福島第一原発からの両同位体の放出量比 $^{127m}\text{Te} : ^{129m}\text{Te}$ は 1 : 3 とした。

2. 各核種の ^{137}Cs に対する沈着量比

事故後の Saito らの研究において 2011 年 6 月 14 日時点の放射能に換算された土壌中の ^{129m}Te と ^{137}Cs の土壌沈着量比の地域別の分布図が詳細に示されており、南方向の地域では、 ^{137}Cs に対して ^{129m}Te の沈着量の比率が高かったことが報告されている²⁾。そのため、評価において土壌が測定された地域の中で ^{137}Cs に対する ^{129m}Te の沈着量の比率が高かった地域を地域 A、測定地域全体を地域 B と設定し内部被ばく線量評価の算出を行った。 ^{127m}Te 、 ^{129m}Te 、 ^{134}Cs の ^{137}Cs に対する沈着量比は Saito らの研究報告の値を基に算出した。

3. テルルとセシウムの移行係数

国際原子力機関 (IAEA) の Technical Report Series 472³⁾のテルルとセシウムの移行係数と土壌実験において求めた移行係数を用いた。

4. 線量係数

国際放射線防護委員会 (ICRP) の Publication 72⁴⁾に勧告された、 ^{127m}Te 、 ^{129m}Te 、 ^{137}Cs 、 ^{134}Cs の生後 3 ヶ月乳児、1 歳児、5 歳児、10 歳児、15 歳児、成人に対する経口摂取による線量係数を使用した。

5. 内部被ばく線量評価算出方法

単回摂取での食物 1g 当たりの預託実効線量 $E(\tau)/g$ は以下の式①により算出した。

$$E(\tau)/g = C \times e(\tau) \quad \text{—①}$$

C : 対象となる核種の収穫日における農作物中濃度(Bq/g)

$e(\tau)$: 対象となる核種の線量係数

継続摂取での食物 1 g 当たりの預託実効線量 $E(\tau)/g$ は以下の式②により算出した。

$$E(\tau)/g = \int C_0 \cdot e(\tau) \cdot \exp(-T_{1/2}/t) dt \quad \text{—②}$$

C_0 : 対象となる核種の収穫日における農作物の濃度(Bq/g)

$e(\tau)$: 対象となる核種の線量係数

$T_{1/2}$: 対象となる核種の半減期(days)

t : 収穫日から経った日数(days)

積分期間 : t = 0 (day) から t = 365 (days)

【結果】

1. 移行係数

本研究で得られたテルルとセシウムの移行係数を表 1 に示す。

2. 内部被ばく線量評価

放射性セシウム ($^{134+137}\text{Cs}$) に対する放射性テルル ($^{127m+129m}\text{Te}$) の預託実効線量比の値及び実際に収穫された農作物中のセシウム濃度を用いて単回摂取及び継続摂取 (1 年間) の預託実効線量を算出した。土壌実験の移行係数を用い実際に収穫された農作物の ^{137}Cs 、 ^{134}Cs の濃度を用いて算出した結果を例として表 2 に示す。

【結論】

植物へのテルルの移行係数は土壌の種類や pH など化学的性状により大きく異なっており、IAEA TRS 472 の値に比べ 1 桁以上小さな値であった。実験的に求めた移行係数および IAEA の提示する移行係数を用い、葉・根菜の摂取により生じる内部被ばく線量を算定すると、移行係数の差異により放射性テルルによる内部被ばく線量には、葉・根菜の摂取時に最大で 100 倍程度の差が生じることが分かった。さらに、これらの作物を事故後 1 年間継続的に摂取した場合、放射性テルルは放射性セシウムに対して最大 12 倍程度の内部被ばく

線量を与えていた可能性が示された。以上の結果から放射性テルルによる内部被ばく線量は、土壌から植物への移行係数によって大きく変動し、放射性セシウムと比べ無視できないレベルであることが明らかにされた。

参考文献

- 1) 経済産業省; 原子力安全に関する IAEA 閣僚会議に対する日本国政府の報告書, Available at: <http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/backdrop/pdf/app-chap04-2.pdf> (閲覧 2016 年 2 月 1 日)
- 2) K. Saito, I. Tanihata, M. Fujiwara, T. Saito, S. Shimoura, T. Otsuka, Y. Onoda, M. Hoshi, Y. Ikeuchi, F. Takahashi, N. Kinouchi, J. Saegusa, A.

Seki, H. Takemiya and T. Shibata; Detail deposition density maps constructed by large-scale soil sampling for gamma-ray emitting radioactive nuclides from the Fukushima Dai-ichi nuclear power plant accident. *J. Environ. Radioactiv.*, 139, 308-319 (2015).

- 3) International Atomic Energy Agency; IAEA Technical Report Series 472. Handbook of parameter values for the prediction of radionuclide transfer in terrestrial and freshwater environments, Vienna (2010).
- 4) International Commission on Radiological Protection; ICRP Publication 72, Ann. ICRP, 26, 26-27 (1995).

表1 土壌実験で得られたテルルとセシウムの移行係数

		テルル			セシウム		
ラディツシュ	根	9.2×10^{-3}	-	3.0×10^{-2}	1.1×10^{-2}	-	2.7×10^{-1}
	葉	8.6×10^{-3}	-	3.2×10^{-2}	2.3×10^{-2}	-	7.6×10^{-1}
小松菜		7.4×10^{-3}	-	5.1×10^{-2}	6.7×10^{-3}	-	3.9×10^{-1}

表2 土壌実験の移行係数を用い、実際に収穫された農作物の濃度を用いて算出した預託実効線量

農作物	核種	預託実効線量 (μSv)				
		1 歳児	5 歳児	10 歳児	15 歳児	成人
ハウレンソウ 1	$^{134+137}\text{Cs}$	15.3	12.4	23.9	34.7	38.5
	$^{127\text{m}+129\text{m}}\text{Te}$	3.5	1.8	1.8	1.2	1.0
	$(^{134+137}\text{Cs})+(^{127\text{m}+129\text{m}}\text{Te})$	18.9	14.2	25.8	35.9	39.5
ハウレンソウ 2	$^{134+137}\text{Cs}$	283.0	228.3	442.4	641.2	711.1
	$^{127\text{m}+129\text{m}}\text{Te}$	9.8	5.0	5.0	3.2	2.7
	$(^{134+137}\text{Cs})+(^{127\text{m}+129\text{m}}\text{Te})$	292.8	233.3	447.4	644.4	713.8
カブ 1	$^{134+137}\text{Cs}$	11.1	8.9	13.9	18.3	22.0
	$^{127\text{m}+129\text{m}}\text{Te}$	2.4	1.3	1.0	0.6	0.5
	$(^{134+137}\text{Cs})+(^{127\text{m}+129\text{m}}\text{Te})$	13.5	10.2	14.9	18.9	22.5
カブ 2	$^{134+137}\text{Cs}$	60.7	49.0	76.1	100.5	120.8
	$^{127\text{m}+129\text{m}}\text{Te}$	2.5	1.3	1.0	0.6	0.6
	$(^{134+137}\text{Cs})+(^{127\text{m}+129\text{m}}\text{Te})$	63.2	50.2	77.1	101.1	121.4

福島第一原発事故に由来した土壤中Csホットパーティクルの測定

遠藤 暁^{1,*}, 中村俊介² 杉尾健次郎¹, 梶本 剛¹, 田中憲一¹

¹ 広島大学大学院工学研究科、² 広島大学大学院工学部

2011年3月11日に発生した大地震が引き金となり発生した福島第一原子力発電所事故により、大量の核分裂性物質が放出された。放出された放射性物質は、東北地方から北関東の広い地域に降下し放射能汚染を引き起こした。気象研・五十嵐等は、2011年3月14日に集塵したダスト中にSiO₂を主成分とした放射性Csのホットパーティクルを検出しCs-ballと呼んでいる。また、筑波大・佐藤等は、汚染土壤中にCs-ballと同様のホットパーティクルを検出している。Cs-ballは不溶性であり、除染作業による再浮遊による人体への付着や再浮遊粒子の呼吸による取り込みによる被ばくなどが懸念されている。

本発表では、NHK 七沢氏より提供を受けた、2013年6月に浪江町-南相馬市で採取された土壤中の放射性Csのホットパーティクルの有無を調べ、確認されたホットパーティクルを抽出し測定した結果について紹介する。

イメージングプレートによる測定の結果、幾つかの土壤試料中にCsホットパーティクルがあることがわかった。CsホットパーティクルはイメージングプレートとGMサーベイメータを用いて抽出した。抽出したホットパーティクルの顕微鏡写真を図1に示す。抽出したホットパーティクルからのβ線をSi検出器(ORTEC、CL-015-150-300)を用いて1000000秒間測定した。また、試料なしのバックグラウンドスペクトルを差し引いたCsホットパーティクルからのβ線の測定スペクトルを、PHITSモンテカルロコードを用いた計算で推定したスペクトルと比較することで、放射性Cs放射能及び⁹⁰Sr放射能の定量を試みた。

β線スペクトルから推定された放射性Cs放射能は、Ge検出器を用いて決定した値71Bqとほぼ一致した。また、測定したCsホットパーティクル1個中の⁹⁰Sr放射能として0.09Bqが得られた。⁹⁰Srと¹³⁷Cs比：⁹⁰Sr/¹³⁷Cs=0.0015は、2011年に実施された2kmメッシュ調査の⁹⁰Sr/¹³⁷Csと同程度であった。

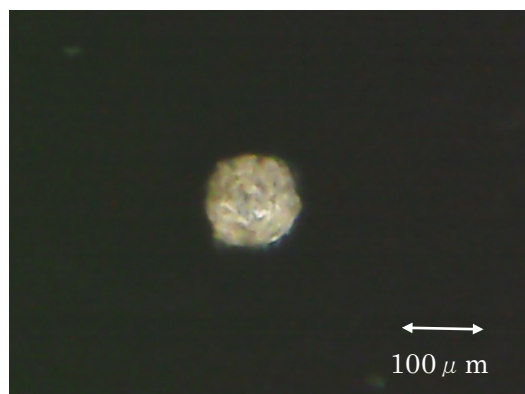


図1 Csホットパーティクルの顕微鏡写真

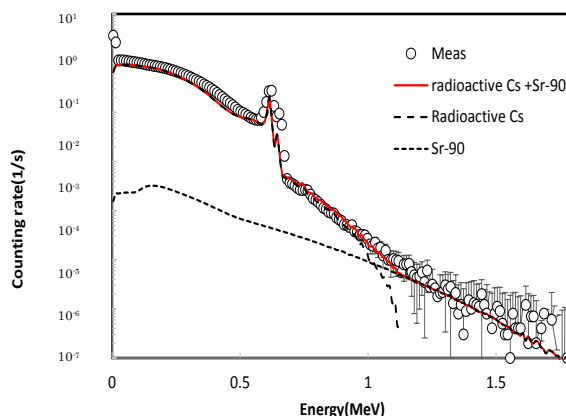


図2 β線スペクトルを放射性Csと⁹⁰Srの応答でフィットした例

チェルノブイリ事故による生物影響に関するロシア語文献の紹介

今中哲二 京都大学原子炉実験所

チェルノブイリ原発事故が起きたのは、東西冷戦末期の 1986 年 4 月で、いわゆる“鉄のカーテン”が健在だった。ロシア語辞書を片手にチェルノブイリ事故資料の watching をはじめた私は、ソ連国内の汚染データが全くと言っていいほど発表されなかったもので、ひょっとして何にも研究がされていないのでは、といぶかっていた。私がはじめてチェルノブイリを訪問する機会を得たのは 1990 年の夏だった。ベラルーシやウクライナの研究所を訪問し、実は、単に発表されていなかっただけで、大規模なチェルノブイリ研究が行われていたことを知った。

この度の専門研究会では、ソ連科学アカデミー・動物生態学形態進化学研究所の Krivolutsky らの論文「チェルノブイリ原発周辺での事故後初期段階（1986-1988 年）における放射能汚染の動物相への影響」（1999）を翻訳して紹介する。

図 1 に、Krivolutsky らが調査したチスタガロフカ村、コパチ村、レレフ村を含む、チェルノブイリ原発周辺の概略図を示す。表 1 は、チェルノブイリ周辺で観察された脊椎動物の病理的变化のまとめである。

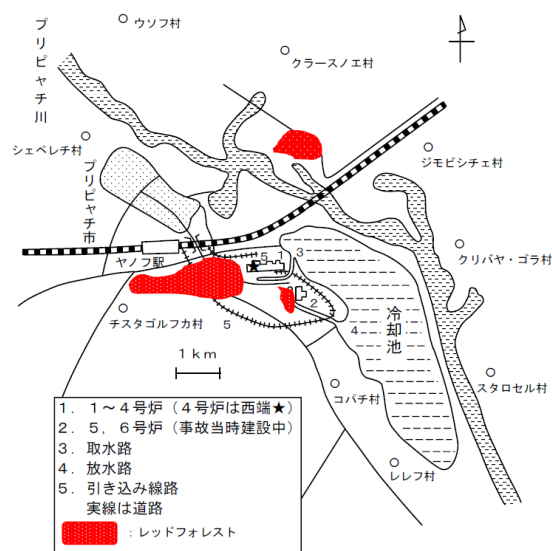


図 1. チェルノブイリ原発周辺の概略図。

表 1. チェルノブイリ 30km 圏の動物と鳥類における病理変化の存在

調査対象	観 察 数	R(D+15)、mR/h 事故から 15 日後の 土壌表面線量率	吸収線量 rad	組織		
				肝臓	腎臓	脾臓
1986年						
<哺乳類>						
草食動物（ヌートリア、リス、 ネズミ類）	16	15～60	150～160	—	—	—
雑食（ブタ）	5	30～40	300～400	+	+	+
肉食（イヌ）	11	15～240	150～2500	+	+	+
鳥類（14 種）	51	15～60	150～600	—	—	—
1987年						
<哺乳類>						
草食動物（リス、ネズミ類）	26	10～60	100～600	—	—	—
肉食（イヌ）	2	30～80	500～1200	+	+	+
<鳥類>						
水鳥（ガチョウ、カモ）	9	30～80	200～560	+	—	—
水辺の鳥（サギ）	2	30～80	400～600	+	—	+
定住の鳥（ハト、カラス）	15	30～80	350～600	+	—	—
渡り鳥（ミヤマカラス、モズ、 セキレイ、アトリ、ウグイス）	14	30～80	200～560	—	—	—

注. “+”；変化有り、“—”；変化なし. 100rad= 1 Gy.