

ISSN 1342-0852

KURRI-EKR-15

「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」報告書

**Proceedings of the Specialists' Meeting
on
Effects of the Fukushima-1 Accident on Organisms around the Nuclear
Power Plant Site**

平成28年8月3日～4日 開催
(August 3 - 4, 2016)

編集： 齊藤 剛
福本 学
今中哲二

Edited by : Saito T.
Fukumoto M.
Imanaka T.

京都大学原子炉実験所
Research Reactor Institute, Kyoto University

はじめに

2011 年 3 月に発生した福島第一原発事故においては大量の放射性物質が環境中に放出され、周辺環境に大規模な放射能汚染がもたらされた。このような放射能汚染のヒトへの影響研究は種々の問題をはらみながらも、その関心の高さから比較的大きな規模で行われてきている。翻って、ヒトの被曝線量と比較した時、低い線量からはるかに高い線量までの幅広い線量を被曝した周辺生物への被曝影響に関する体系づけられた研究は相対的に遅れていると言わざるを得ない。このような周辺生物への放射線被曝影響研究は、今回の事故のヒトおよび環境への影響を考察する時、重要な情報を与えるものと考えられる。

福島第一原発事故後、多くの研究者が自発的に原発事故、放射能汚染による周辺生物への影響を解明するために様々な研究、調査を開始した。これらの研究、調査を行っている多くの研究者への議論の場の提供を目的として、過去 2 度にわたり研究会を開催してきた。2014 年の研究会には約 40 名が参加し 12 件の報告が、そして 2015 年の研究会には約 70 名が参加し 24 件の報告があり、有意義な議論が行われた。これまでの研究会の成果を受け、2016 年 8 月 3 日、4 日の 2 日間、京都大学原子炉実験所専門研究会「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」が開催され、74 名の参加者を迎え 23 件の報告が行われた。本レポートは、2016 年に開催された専門研究会のプロシーディングスとして 23 編の原稿を収録したものである。

これまでの 3 回の研究会によって異分野の研究者間で多くの情報交換が行われ、お互いの研究分野に対する理解が深まったことは大きな成果であると考えられる。2016 年開催の本研究会においては活発な議論の結果、今後の研究の方向性に関しての共通認識が得られた。事故から 5 年が経過し、事故による影響研究の初期段階として節目の年といえる 2016 年に開催された本研究会においてこのような成果が得られたことは意義深いといえる。しかし、周辺生物および生態系への福島第一原発事故による影響は非常に複雑である。そのため、起きている現象を集め、まとめ、保存し、多くの研究者がそれらの情報を使用し長期的に研究を継続しつつ、得られた成果を共有していくことは非常に重要である。本研究会がそのような研究の一助となれば幸いである。

2016 年 12 月

齊藤 剛

京都大学原子炉実験所

Preface

The Fukushima-1 accident in March of 2011 released a large quantity of radioactive substances and caused significant radioactive environmental contamination. The current research on the effects of the radioactive contamination on humans has numerous problems, although it has been conducted on a relatively large scale because of the great deal of interest in the topic. On the other hand, systematic research on the effects of the radiation around the nuclear power plant site on organisms exposed to a wide range of radiation from low to high doses compared to humans has apparently lagged behind. Understanding the radiation effects on organisms around the nuclear power plant site would provide important information for us to consider regarding the effects of the accident on humans and their environments.

After the Fukushima-1 accident, many scientists voluntarily began studies and surveys to clarify the effects of the accident and of the radioactive contamination on many types of organisms. Two workshops were held as opportunities for the scientists conducting these studies and surveys to discuss the issues. In these workshops, meaningful discussions ensued, about 40 participants attended the 12 presentations in 2014, and more than 70 participants attended the 24 presentations in 2015. Based on the outcomes of first two workshops, the third workshop, entitled “Effects of the Fukushima-1 Accident on Organisms around the Nuclear Power Plant Site,” was held on August 3 and 4, 2016, at the Research Reactor Institute, Kyoto University. There were 23 presentations and 74 participants at the third workshop. This paper reports the proceedings of the third workshop.

The three workshops were successful because a great deal of information was exchanged among the various scientists and their understanding of other fields of research increased. Because of the active discussions at the 2016 workshop, a consensus was developed on the future direction for this research. It is truly meaningful that the 2016 workshop was a success because five years had passed since the accident, making 2016 a milestone year as the early stage of research on the effects of the accident.

Despite this progress, the effects of the accident on organisms around the nuclear power plant site and the ecosystem are complex. Therefore, it is important to continue collecting, integrating, and preserving phenomena, and it is vital to continue long-term research projects using these data; sharing obtained results is extremely important. We hope that the 2016 workshop will contribute to the development of future research.

December 2016

SAITO Takeshi

「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」報告書

目次

1. 低線量放射線の生物影響研究と被災動物線量評価事業	
福本 学 (東京医科大学).....	1
2. 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 (放射線医学総合研究所).....	13
3. 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).....	21
4. 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 (国立環境研究所).....	33
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 (弘前大学大学院保健学研究科)	37
6. 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 (国立環境研究所).....	47
7. 被災アカネズミにおける精巢の EPMA 分析	
大平 拓也 (新潟大学農学部).....	54
8. 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 (森林総合研究所).....	65
9. 福島県内野生ニホンザルへの被ばく影響評価	
漆原 佑介 (放射線医学総合研究所)...	70
10. 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).....	77
11. Transcriptomic, proteomic and metabolomic profiling of low-level gamma irradiated rice at Iitate village, Fukushima	
Randeep Rakwal (筑波大学体育系)...	94
12. 福島の汚染土壌が昆虫の発生に与える影響	
秋元 信一 (北海道大学農学研究院)...	119

13. ヤマトシジミの外部照射実験-経過報告-	阪内 香 (琉球大学大学院理工学研究科)	130
14. モンシロチョウにおける内部被曝実験	平良 渉 (琉球大学大学院理工学研究科)	132
15. 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 (岩手大学農学部).....	134
16. 牛 (黒毛和牛) における放射性セシウムの体内動態	夏堀 雅宏 (北里大学獣医学部).....	141
17. 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	夏堀 雅宏 (北里大学獣医学部).....	157
18. 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	井上 一彦 (鶴見大学探索歯学講座)....	172
19. 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 (東北大学加齢医学研究所)...	190
20. 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	林 剛平 (東北大学加齢医学研究所)....	195
21. 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	藤原 慶子 (京都大学原子炉実験所)....	204
22. 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	遠藤 暁 (広島大学大学院工学研究院)...	220
23. 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)....	233

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

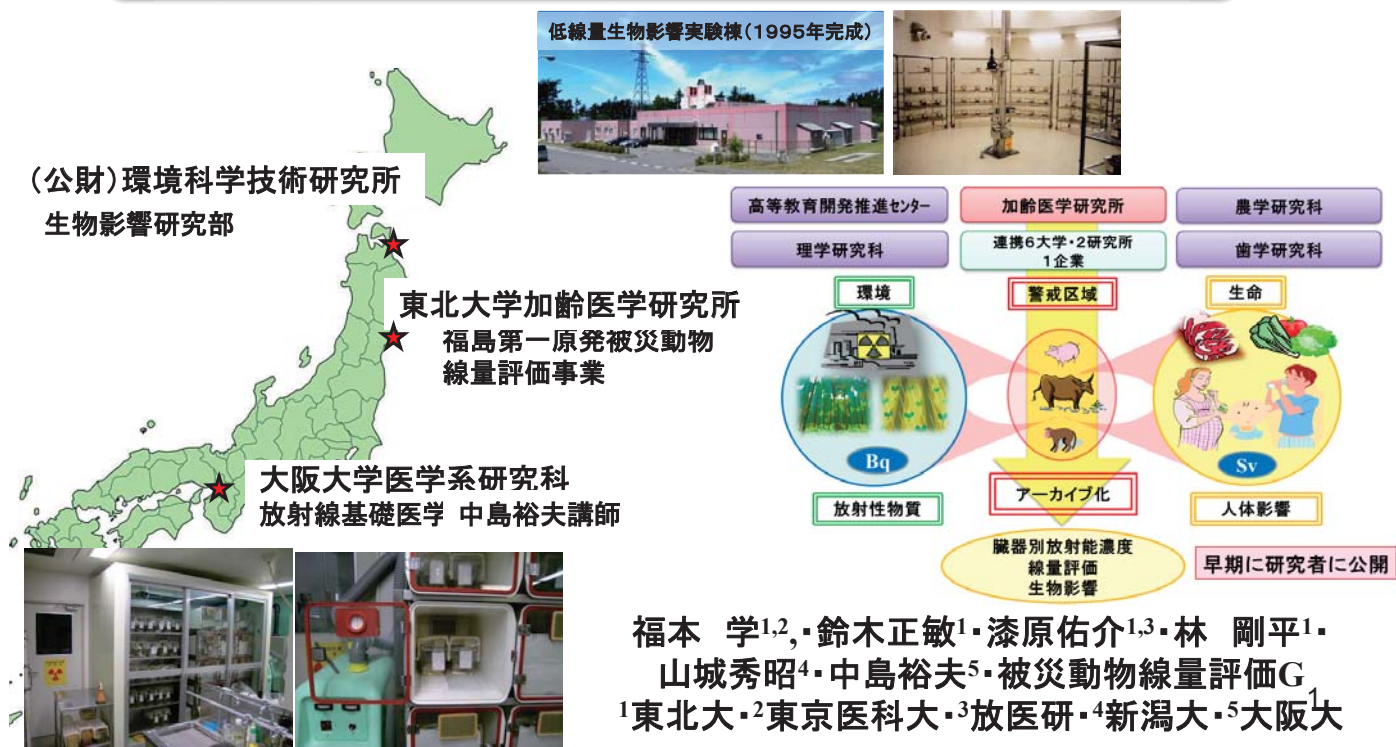
物理的な問題点として、線量、線量率、線質の違いをどう克服するか、である。生物学的な問題点として、微量放射線の影響を知るための特異的、鋭敏な手法がないため、単純化して培養細胞への影響を観察するのであるが、それだけでは生体影響は見えてこない。動物実験では、種、系統、性、月齢に起因する差があるため極めて多数の個体が必要である。さらに結果を単純に人体へ敷衍できない。疫学調査では正確な線量評価が困難である。

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。



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



放射線:ヒト健康影響を知る難しさ



疑問

- ◆ 『直ちに影響ない』(急性傷害なし)
は安心? (晩発傷害はないか)
ガンにならない? 子孫への影響?
- ◆ 低いレベル: 健康に良い?
- ◆ 人工放射線: 健康に悪影響?
自然放射線は問題ない?
- ◆ 内部ひばく: 外部被ばくよりも危険?

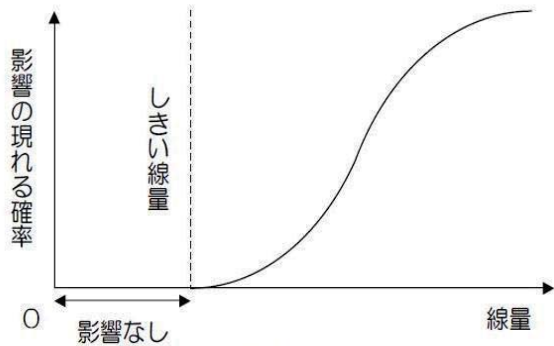
事実

- ◆ 全身4Gy被ばく: 体温が0.001度上昇するに
過ぎない程度のエネルギーなのに・・・
⇒ 60日以内に半数の人が死ぬ
- ◆ 急性死を逃れた後、発がんリスクは上昇
- ◆ 若年時被ばくで生涯がん死亡リスクが高い
- ◆ チェルノブイリ事故後5年して甲状腺がん多発
ヒトで不明であることがわかっていること
- ◆ 0.1Gy以下の健康影響
- ◆ 放射線誘発に特異的な組織型の腫瘍
- ◆ 遺伝影響

確定的影響と確率的影響の比較



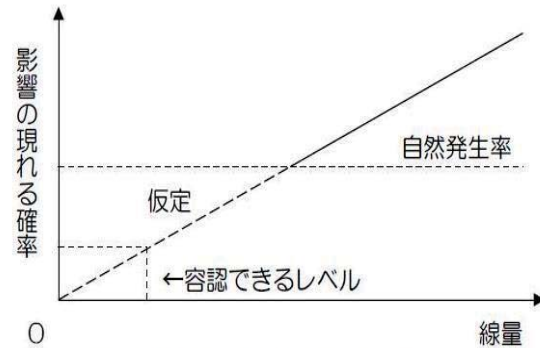
確定的影響 ≡ 急性障害



脱毛・皮膚障害・白内障など
幹細胞死

高線量・粒子線

確率的影響 ≡ 晩発障害



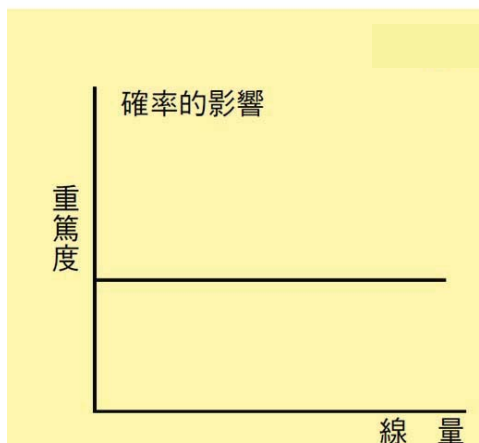
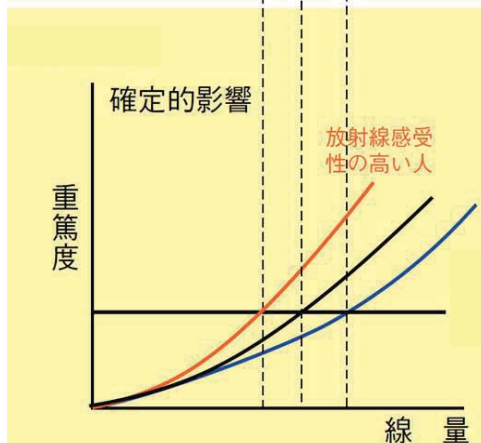
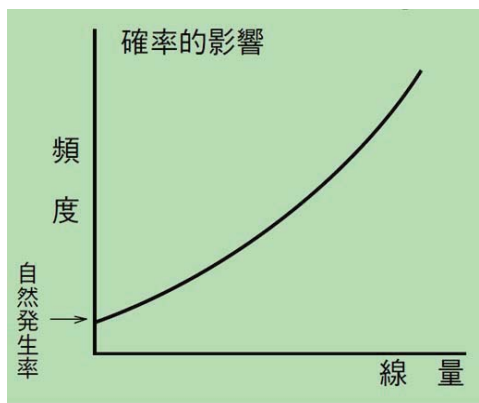
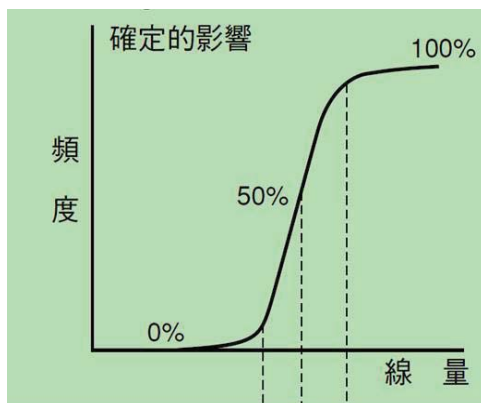
がん・白血病・遺伝など
がん起始細胞遺伝子変異

低線量・低線量率

(「緊急被ばく医療「地域フォーラム」テキスト(平成20年度版)より)

3

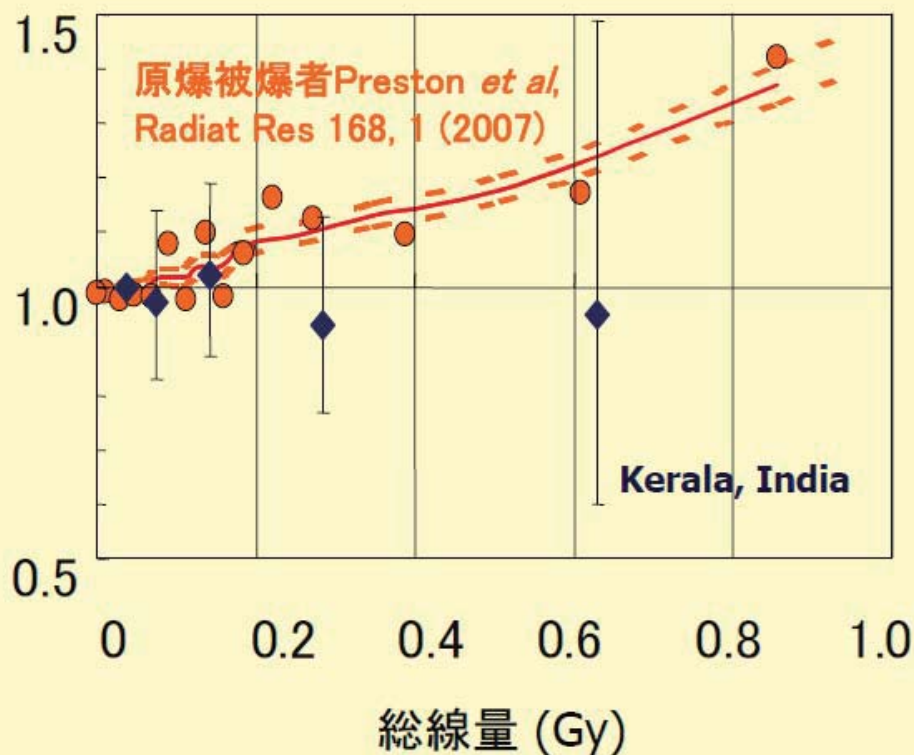
確定的影響と確率的影響



ICRP pub 41 (1984)より⁴

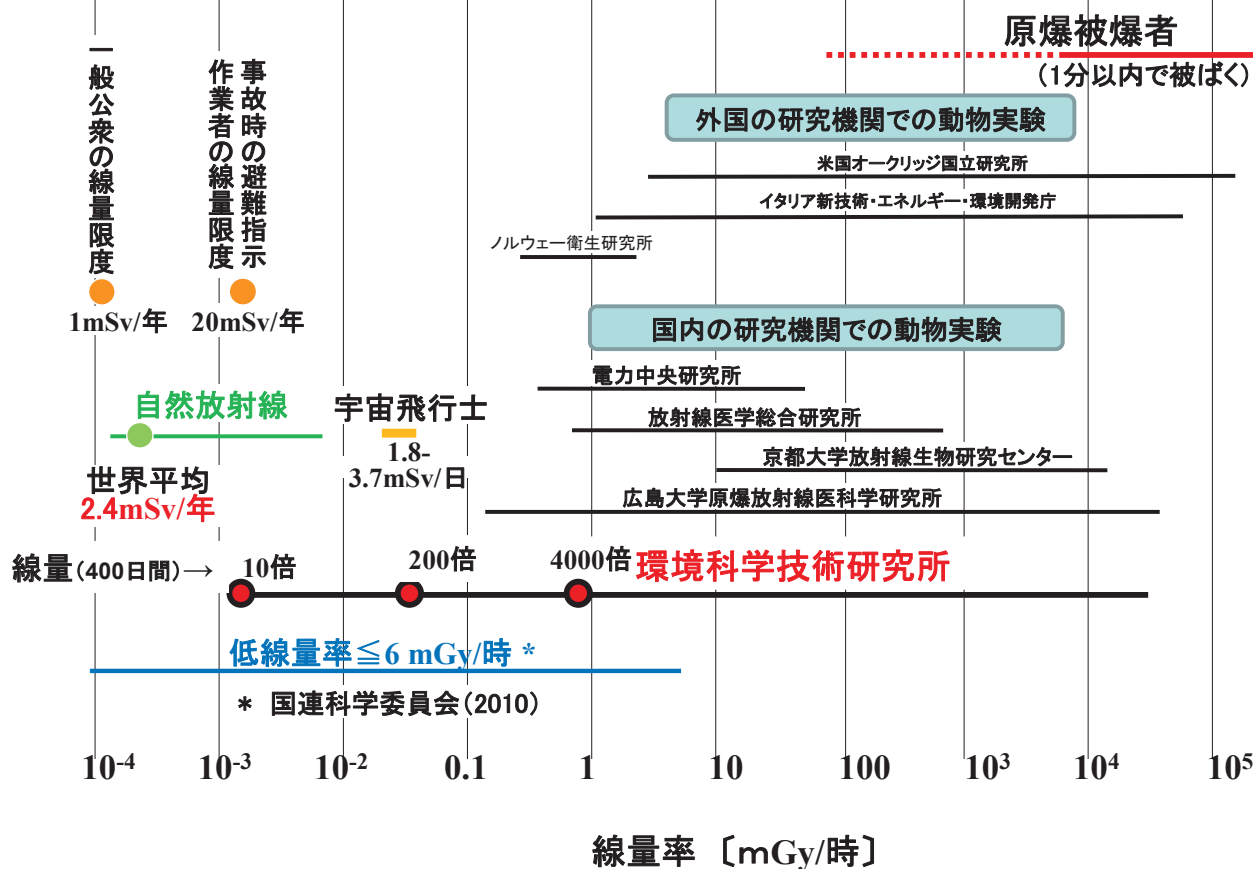


相対リスク

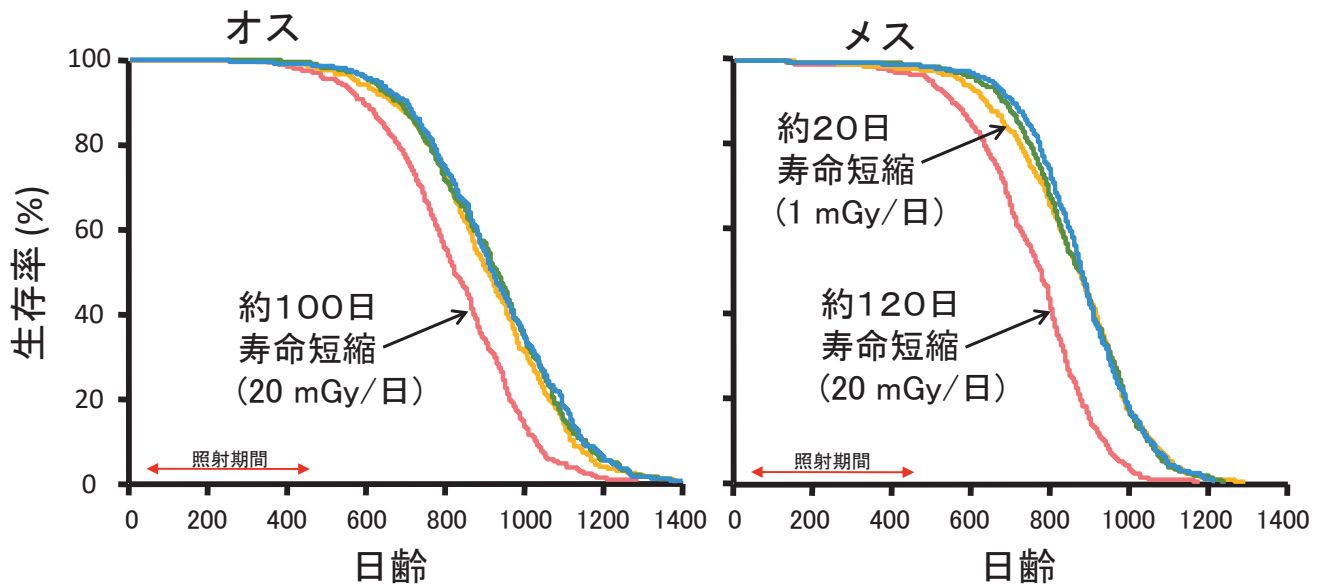


Nair *et al*, Health Phys 96, 55 (2009)

線量率: 人の被ばくと動物実験 (小村潤一郎)



慢性被ばくと生存率曲線



- ・照射群と非照射群の間で死因に顕著な差はない
- ・寿命短縮の主な理由は、致死性がんによる早期死亡

— 非照射対照
 — 0.05 mGy/日 (総線量20 mGy)
 — 1 mGy/日 (総線量400 mGy)
 — 20 mGy/日 (総線量8000 mGy)

(Tanaka, S. et al., Radiat. Res. 160:376-9, 2003)

環境研のマウス実験で明らかになった低線量率放射線長期被ばく影響



400日間線量	自然の10倍	原爆被爆者(急性被ばく) 宇宙飛行士(慢性被ばく)	致死(急性被ばく)	文献
寿命	—	メスのみ短縮	短縮	1
腫瘍	—	—	増加	2
抗腫瘍免疫	—	—	低下	3,4
卵母細胞減少/閉経	—	加速	加速	3,5
染色体異常	—	増加	増加	3,6
DNA突然変異	—	—	増加	7
mRNA発現	変化あり	変化あり	変化あり	8,9
タンパク質発現	—	変化あり	変化あり	10
遺伝的影響(F1) 寿命 ゲノム変異	— (-)	— (増加)	オスのみ短縮増加	3
	影響の検出が 難しいレベル	一部の指標で明確に 影響を検出可能	多くの指標で障害・ 影響は明らか	

1. Radiat Res 160: 376 (2003)
2. Radiat Res 167: 417 (2007)
3. Unpublished results
4. Int J Radiat Biol 87:729 (2011)
5. Radiat Res 173: 333 (2010)

6. Radiat Res 171: 290 (2009)
7. Radiat Res 173: 138 (2010)
8. Radiat Res 174: 611 (2010)
9. J Radiat Res 50: 241 (2009)
10. J Radiat Res 49: 661 (2008)

— ; 検出されず
 () ; 予備的結果

疫学的に明らかなヒト放射線関連腫瘍

(ほぼ年代順)



	線量率/期間	被ばく様式	主な放射線(源)	誘発腫瘍
時計文字盤工	低/長	内	α ($^{226}, ^{228}\text{Ra}$)	骨腫瘍
トロトラス症	低/長	内	α (^{232}Th)	肝・白血病
広島・長崎被爆者	高/短	外	γ ・中性子	白血病・固形がん
関節炎治療	低/長	内	α (^{224}Ra)	骨腫瘍
マヤク労働者	低/長	内/外	α (^{239}Pu)	肺・肝癌・骨腫瘍
ウラン坑夫	低/長	内	α (^{222}Rn)	肺癌
チェルノブイリ	高/短	内/外	γ (^{137}Cs) β (^{131}I)	甲状腺癌
高バックグラウンド地域	低/長	外>内	α/β ($^{238}\text{U}, ^{232}\text{Th}$)	なし
福島第一原発	低/長(?)	外>内(?)	γ ($^{134}, ^{137}\text{Cs}$)	?

The Radium Girls



(Memorial University HP)



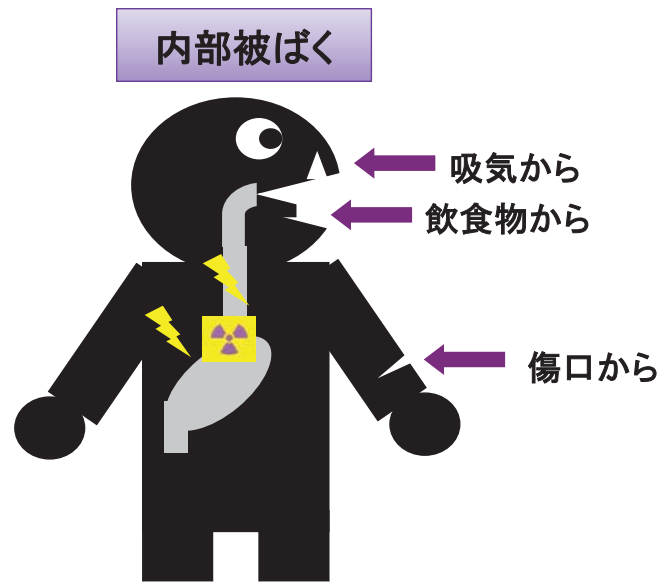
(Asahi-com.or.jp)

(Harrison JD & Muirhead CR, *Int J Radiat Biol* 79:1, 2003; Brenner AV et al, *Environ Health Perspect*, 119:933, 2011.)

外部被ばくと内部被ばく(晩発影響)

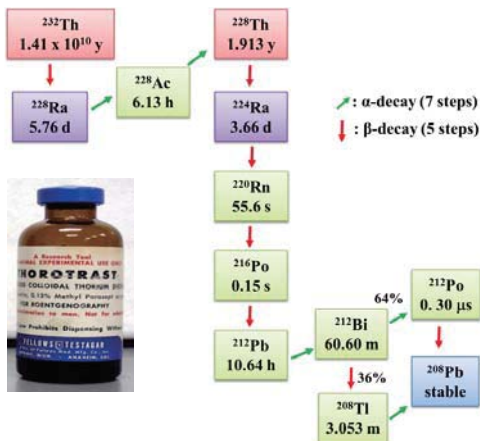


被ばくは**短時間**のことが多い
全身の臓器すべてが被ばくする
 γ 線など低LET放射線による
被ばくが主な問題になる
原爆被爆者のデータが基礎となる



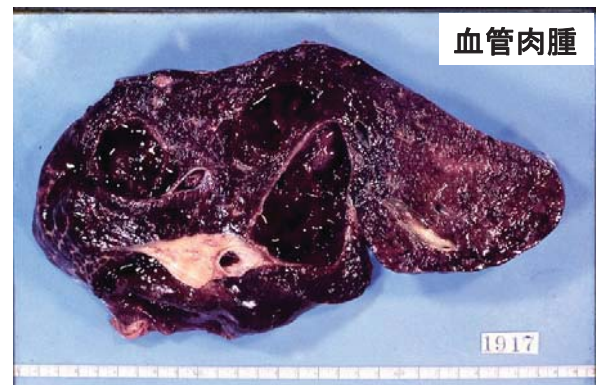
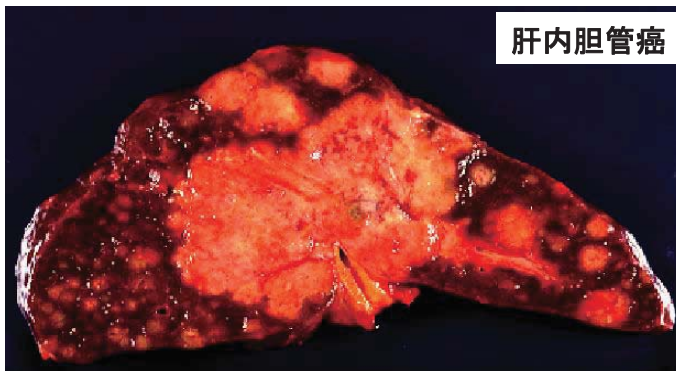
放射線物質が**長期間**体内に留まる
特定臓器に局所大量被ばくが生じる
放射能は物理的に減衰する
 α 線など高LET放射線による
被ばくも問題になる
核種により体内動態が異なる

トロラスト誘発肝腫瘍



	トロラスト症		非トロラスト症
	日本	デンマーク	日本
胆管細胞癌	43.5	32.3	9.6 (%)
血管肉腫	35.6	26.0	0.2
肝細胞癌	15.4	35.4	81.5
その他	31.3	6.3	8.6

(Andersson M et al. Rad Res 1994)
(Mori T et al. Ibid 1999)

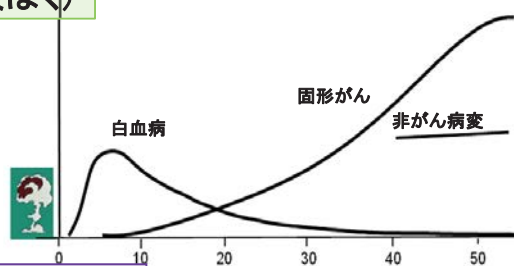


11

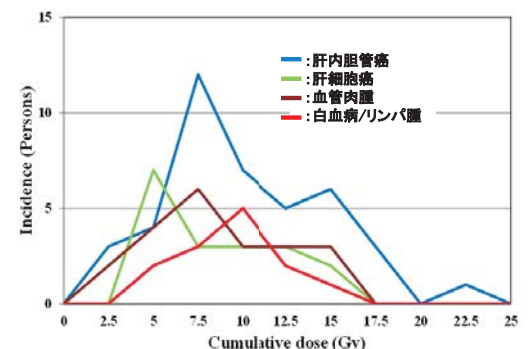
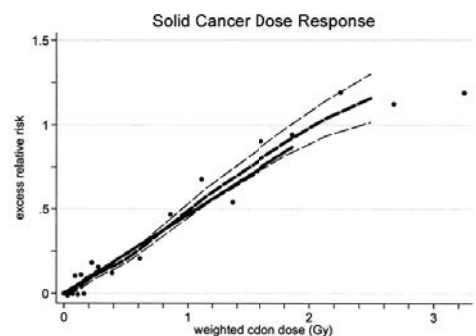
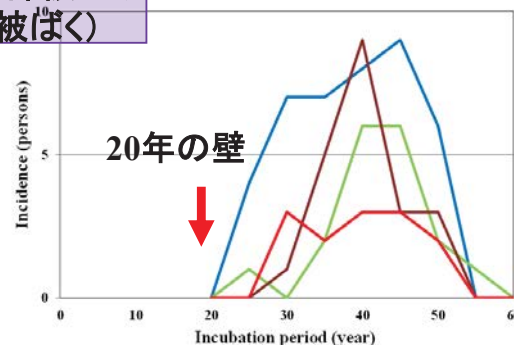
放射線発がん、何が問題か



原爆による外部被ばく
(大線量率・急性被ばく)



トロラストによる内部被ばく
(長期微量・慢性被ばく)



Preston, Radiat Res 2007

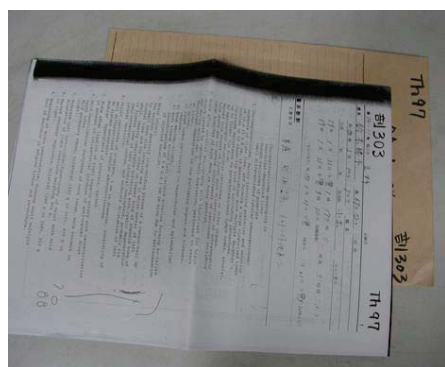
Fukumoto M. Pathol Int 64:doi:10.1111/pin.121, 2014

12

-
- 損傷が多い
- 損傷が少ない
- DNA2本鎖切断
- プログラム細胞死
- 変異の導入
- 排除
- がん化



トロトラスト症剖検記録



所属	別No. 1117	Th.No. 1944	T.No. 1	検査No.
----	-----------	-------------	---------	-------

氏名	有澤 耀夫	年令	66 才	性別	男	旧籍	旧軍人	職業	保険外交員
生年月日	1911.1.12	注入年月日	1909	死亡年月日	1976.8	〇〇市〇〇市道路4-5-9	居住期間	37 年	
本籍		住所		連絡先	鈴木洋司, 保谷昭				
制作施設	××共済病院								

臨床診断	注入量	15 ml	
病理診断1	肝細胞癌	注入量注	
病理診断2	トロカスト状癌胚(肝/e), 腫(e)	注入法	下腔VOS
病理診断3		注入法: 非血管	
副所見			

日本病理診断結果	
参考文獻	(1) ××共済病院制作No. (1976) (2) ××共済病院内科, 森田昭生主の手術 (1976年8月24日付) (3) 鈴木洋司「トロカスト使用肝へトーマと骨髄形成を呈した1例 共済医報 21: 297 (1972) (会) (生存中の報告)」
注	下腔官製結腸のために海軍病院にて行う。28才の時

Th.重 (g/g(wet))	検査率 (cGy/yr)	累積検査 (cGy)	WBCで推定した全身Th.重 (g)	肝重量 (g)
			呼吸中枢射影 (Bq/L)	腫瘍重 (g)
肝			組織所見	
脾				
骨髄				

Phrosis_F	
Activity_A	
組織診断	
Th.劣着	
注入X期間	555
Block	1911.11.19

未染プレパラート種類	0
ブロック種類	0

標本表記	
------	--

冊 No	Block	Name	氏名	出所	制作者 (主筆) No	立野	津田 / 川	解題日
1001	1001	Oda min	名吉屋大 (1958)	製作者 No.3255				
1002	1002	Amurata	日大 (1958)	製作者 No.3951				
1003	1003	Takada	国立大群病院 (1958)	製作者 No.4552				
1004	1004	Kawano	東一 (1958)	製作者 No.1461				
1005	1005	Kawano	横浜市大 (1959)	製作者 No.1200				
1006	1006	Sakurai	横浜市大 (1959)	製作者 No.1248				
1007	1007	Senda	大阪大 (1959)	製作者 No.3859				
1008	1008	Okumura	大阪大 (1960)	製作者 No.4268				
1009	1009	Yokoi m	国立名古屋病院 (1960)	製作者 No.599				
1010	1010	Kawano	北大 (1960)	製作者 No.5919				
1011	1011	Yasuda N	名古屋市大 (1960)	製作者 No.1156				
1012	1012	Ootawa	東一病院 (1960)	製作者 No.1597				
1013	1013	Murao a	名古屋大 (1961)	製作者 No.3947				
1014	1014	Kobayashi	名古屋大 (1961)	製作者 No.4001				
1015	1015	Putamoto	九州大 (1961)	製作者 No.11898				
1016	1016	Shimohara	横浜市大 (1961)	製作者 No.1520				
1017	1017	Takahara	京北大 (1962)	製作者 No.1962-316				
1018	1018	Araki shu	同愛記念病院 (1962)	製作者 No.159				
1019	1019	Nakaw	名古屋大 (1962)	製作者 No.3875				
1020	1020	Azuma k	名古屋市大 (1962)	製作者 No.1441				
1021	1021	Okumura	九州大 (1962)	製作者 No.12378				
1022	1022	Yamada	京都府立星大 (1962)	製作者 No.5690				
1023	1023	Higashi s	茨城県立中央病院 (1968)	製作者 No.1114				
1024	1024	Sasaki su	津島大 (1968)	製作者 No.5177				
1025	1025	Kawano	国立千葉病院 (1968)	製作者 No.5112				
1026	1026	Yamada	名古屋大 (1968)	製作者 No.4205				
1027	1027	Tsuzumi t	千葉大 (1964)	製作者 No.102 (1964)				
1028	1028	Sakura m	名古屋大 (1964)	製作者 No.4399				
1029	1029	Nakamura	岐阜大 (1964)	製作者 No.692				
1030	1030	Akita na	岡山大 (1964)	製作者 No.2698				
1031	1031	Watanabe	村田県立中道病院 (1964)	製作者 No.65				
1032	1032	Kawada	広島 BCC (1964)	製作者 No.442HE26				

トロトラスト症例の再包埋と整理

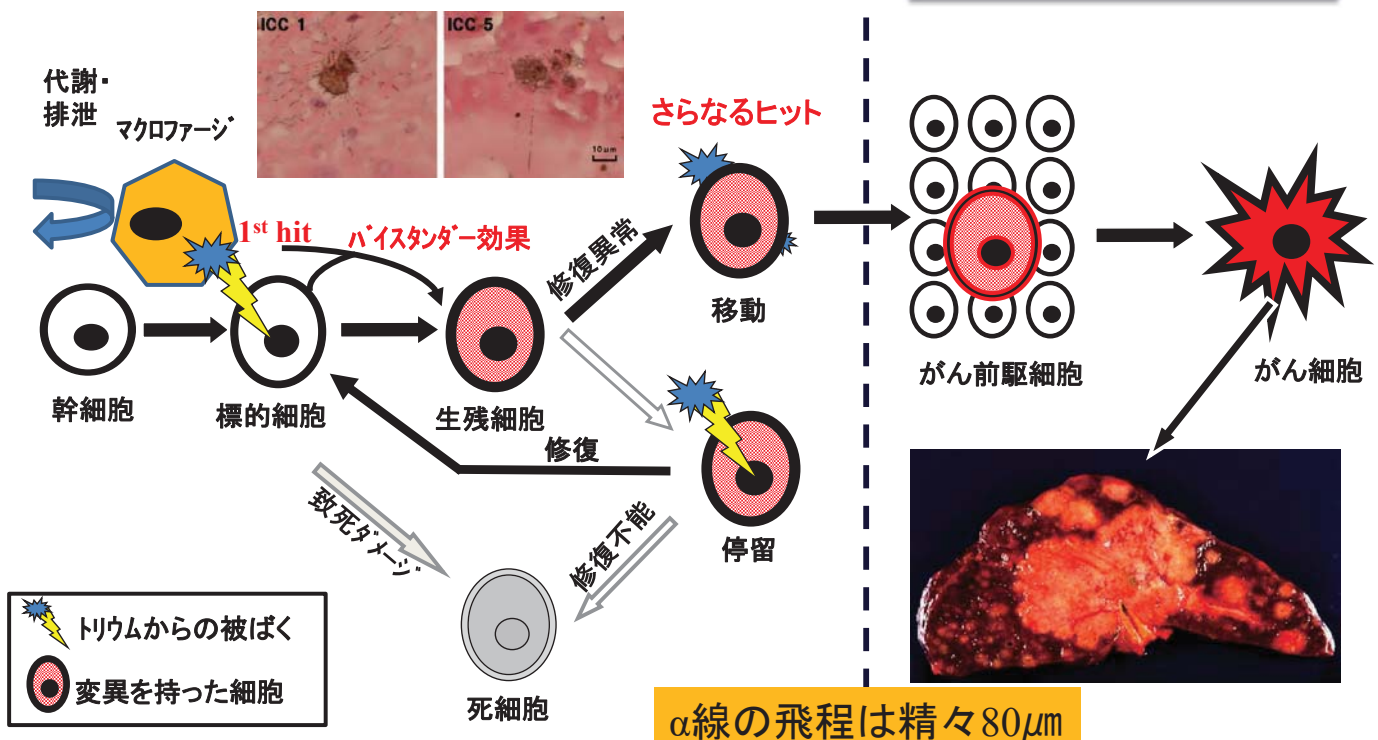


内部被ばくによる発がん機構



放射線による直接影響

放射線以外の要因



Yamamoto Y et al. Health Phys 99:388, 2010.

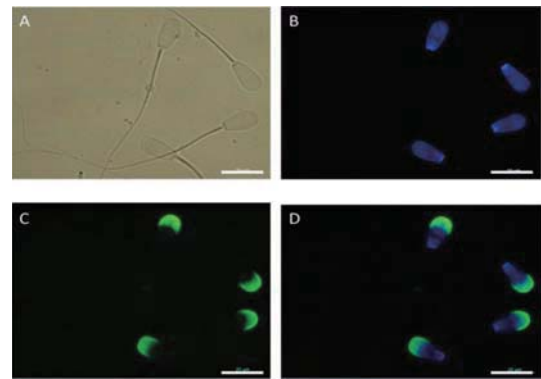
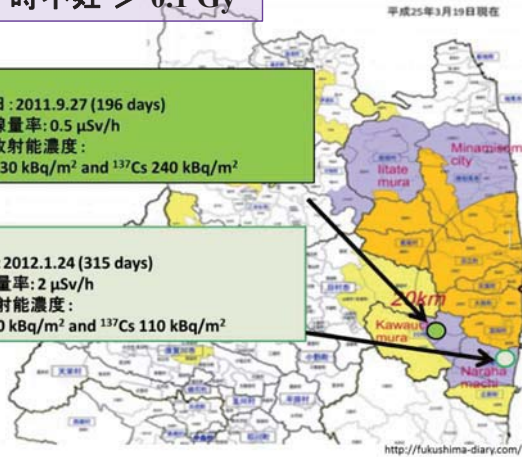
ウシ精子形成、精巣への影響



ヒト男性の一時不妊 > 0.1 Gy

ウシ1
採取日: 2011.9.27 (196 days)
空間線量率: 0.5 μ Sv/h
土壌放射能濃度:
 ^{134}Cs 230 kBq/m² and ^{137}Cs 240 kBq/m²

ウシ2
採取日: 2012.1.24 (315 days)
空間線量率: 2 μ Sv/h
土壌放射能濃度:
 ^{134}Cs 100 kBq/m² and ^{137}Cs 110 kBq/m²



先体に異常を認めない

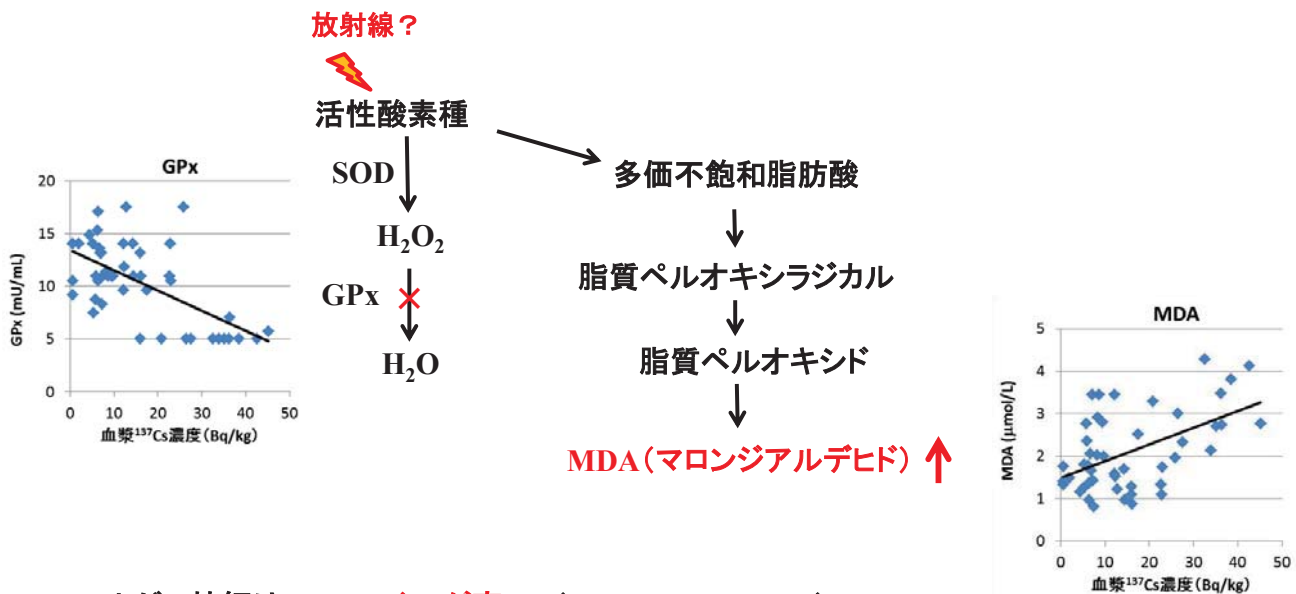
雄ウシ	被ばく	^{134}Cs	^{137}Cs	合計 (mGy)
1 (196日)	内部	0.7-1.2	0.4-0.6	3.9-4.4
	外部	2	0.8	
2 (315日)	内部	3.2-6.1	1.8-3.4	6.9-11.4 (平均-最大)
	外部	1.3	0.6	

通常バックグラウンドレベルの5倍程度では生殖細胞に著変を認めない。

Yamashiro H et al. Sci Rep 8(3): 2850, 2013

17

内部線量率と酸化ストレスマーカー



- レントゲン技師はMDAレベルが高い (Puthran et al, 2009)
- 年間3.5mSv以下の被ばくでもMDAは有意に上昇 (Serhatlioglu et al, 2003)
- 放射線従事者の抗酸化酵素活性は低い (Klucinski et al, 2008)

Urushihara et al PlosOne 2016

18

福島第一原発事故について

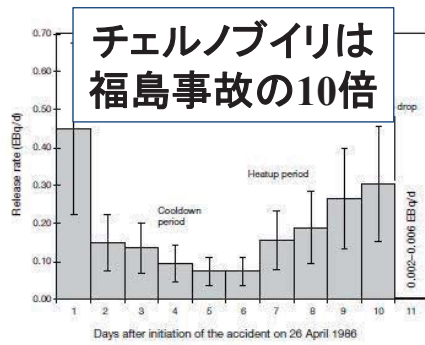


FIG. 3.1. Daily release rate to the atmosphere of radioactive material, excluding noble gases, during the Chernobyl accident. The values are decay corrected to 6 May 1986 and are uncertain by $\pm 50\%$ [2, 6].

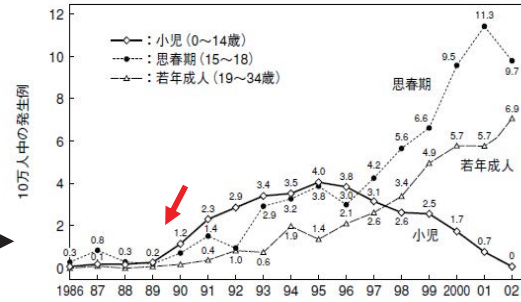
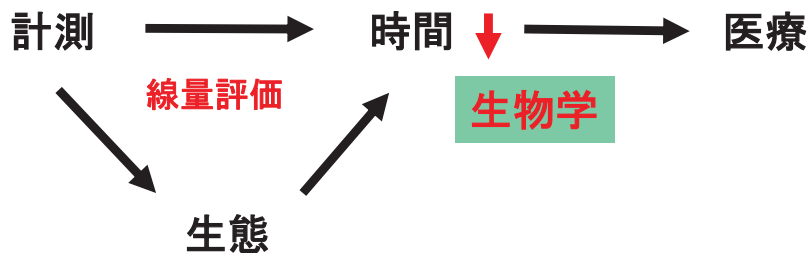
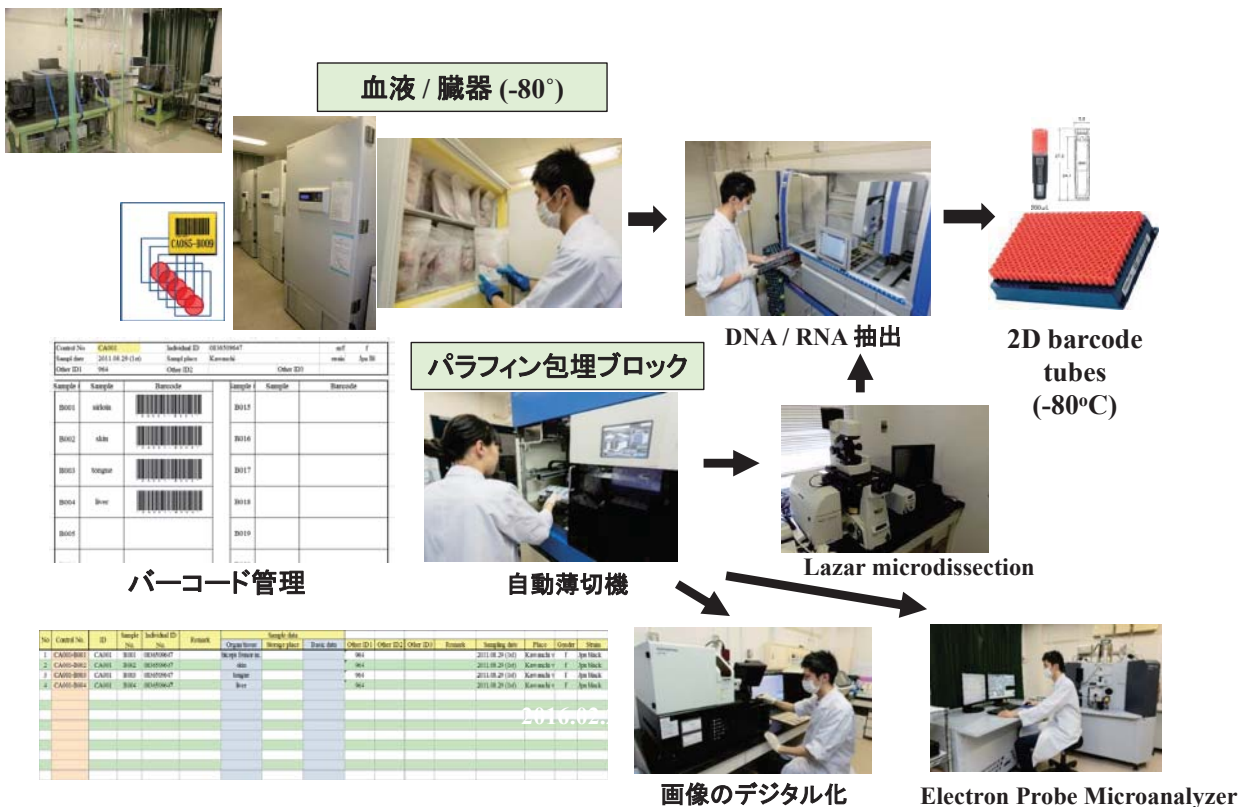


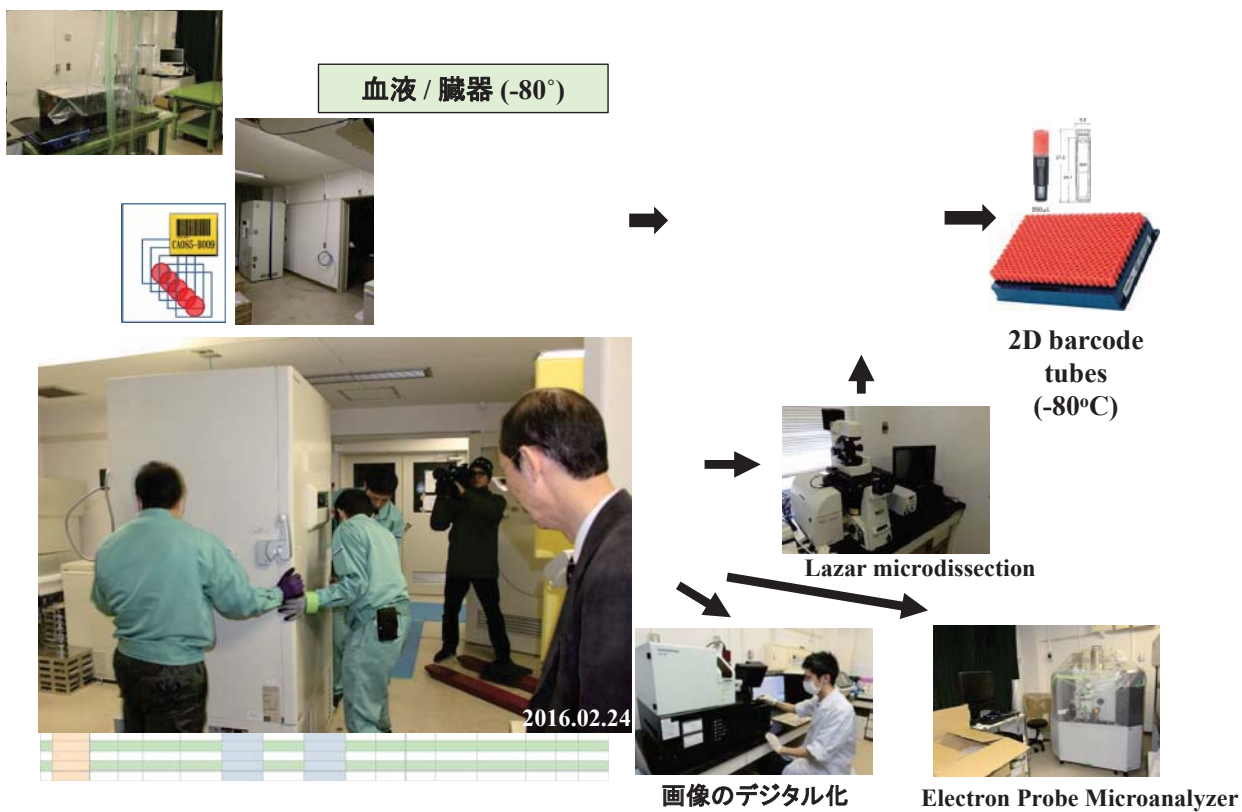
図 1 甲状腺癌のベラルーシにおける発生率
(20 年目の国際会議における発表, Y. デミチック博士のご厚意による)

チェルノブイリの轍は踏まない！



アーカイブシステムの構築





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す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。

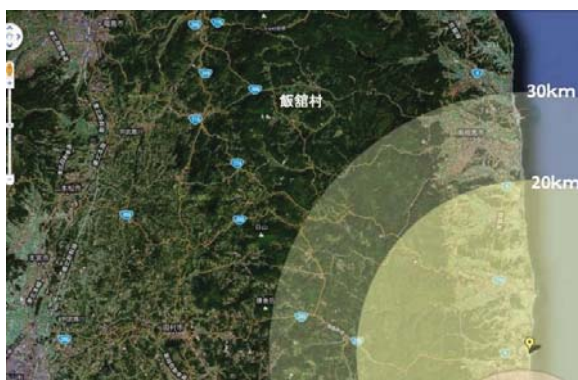
今後、形態異常形態変化の発生と事故による放射線被ばくとの因果関係をより明確にするために、空間線量率が特に高い地域でモミの木が受けた放射線被ばく線量をできるだけ正確に見積もり、異常発生形態変化の発生の頻度の推移を長期的に見守っていくことに加えて、実験施設内でモミの木に対して人為的な放射線照射を行って同様な形態異常形態変化が発生するかを調べていく予定にしている。

福島第一原発周辺におけるモミの形態変化の調査

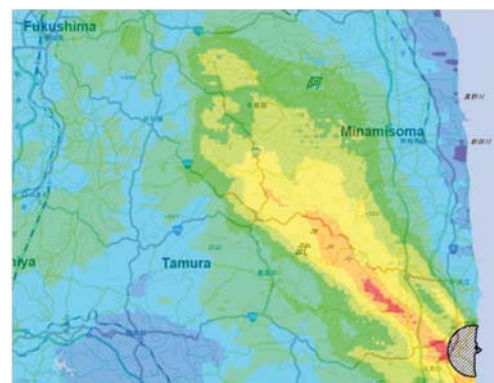


量子科学技術研究開発機構
放射線線医学総合研究所
福島再生支援本部
渡辺嘉人

福島原子力発電所の周辺の放射性核種の広がり



Googleより

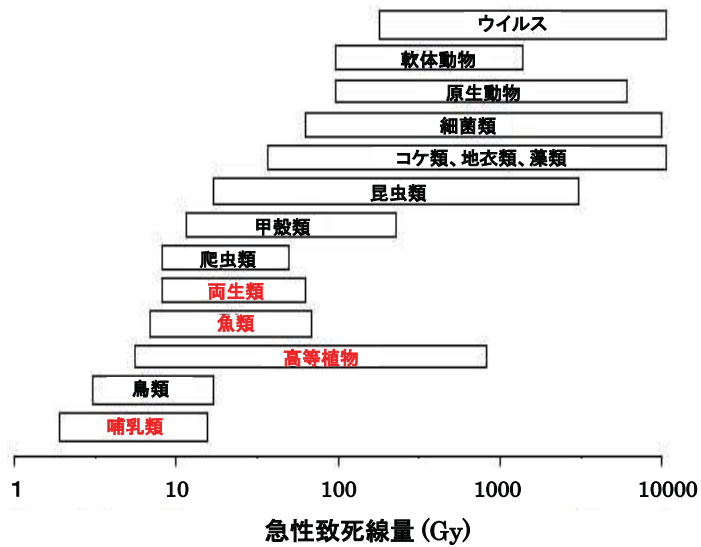


文部科学省放射線量等分布マップより

高濃度のプルームは、周囲の里山や阿武隈高地につながる森林に広がる。

汚染した地域の野生生物に、**放射線の影響が認められるか？**

放射線影響の指標生物



野ネズミ



サンショウウオ



メダカ



針葉樹



✓ 放射線感受性が高い

野ネズミ、サンショウウオ、
針葉樹

✓ 放射線影響に関する
生物学データが豊富

野ネズミ、メダカ

放射線感受性の生物種間差(細胞レベル)

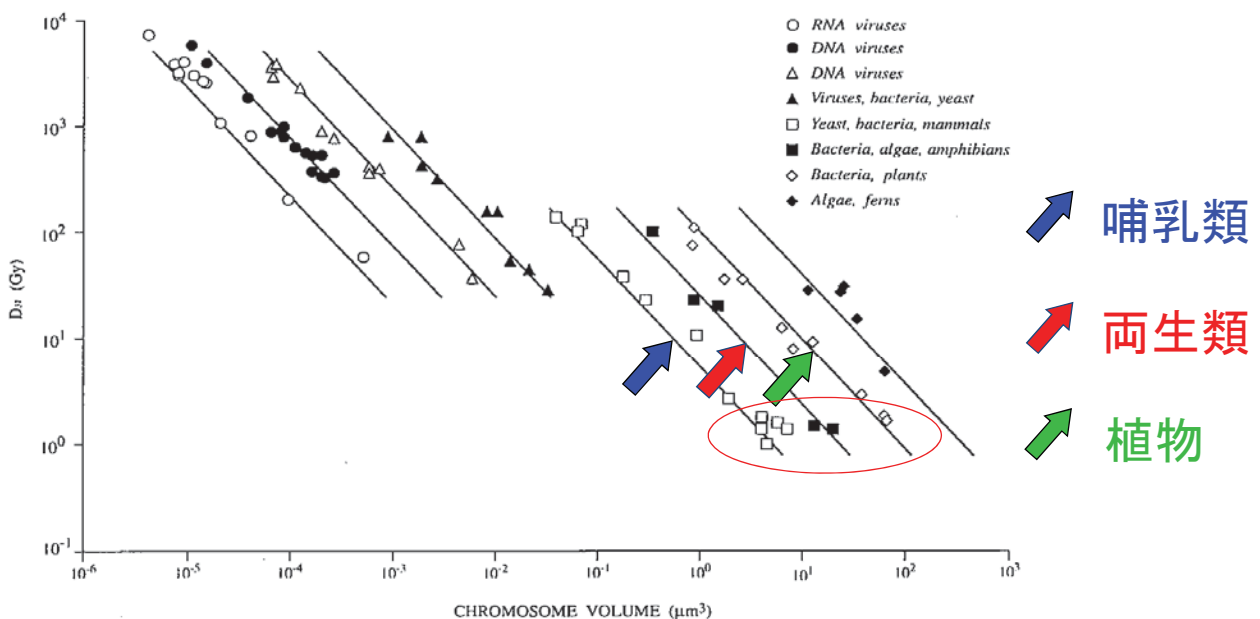
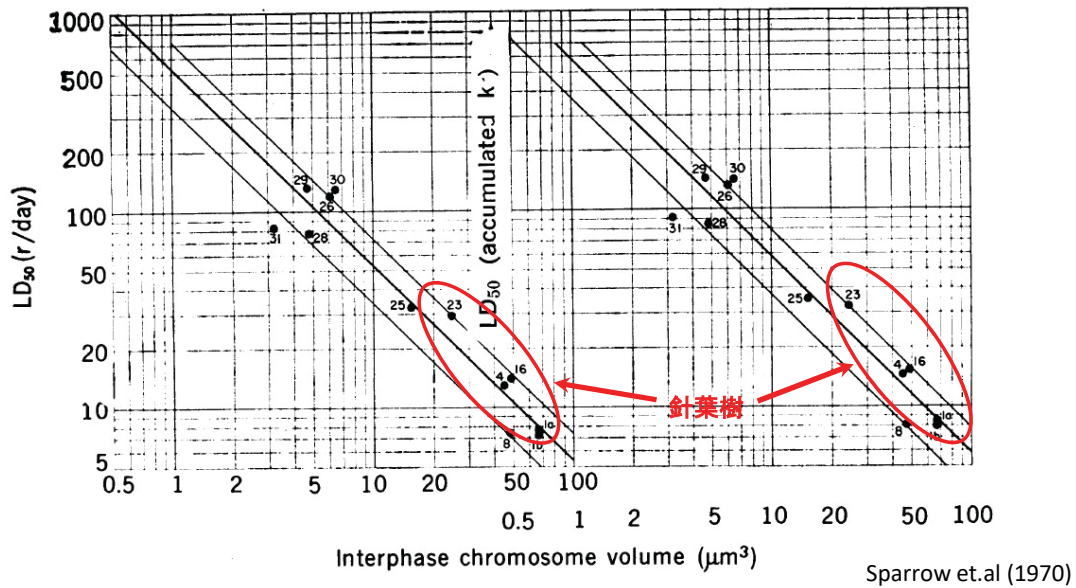


Figure VI.
Cell radiosensitivity based on correlation between D_{37} (37% survival dose) and chromosome volume. Sparrow et.al (1967)
[S1]

細胞当たりのDNA含量・Chromosome Volumeが高い生物種ほど、
放射線感受性が高い傾向

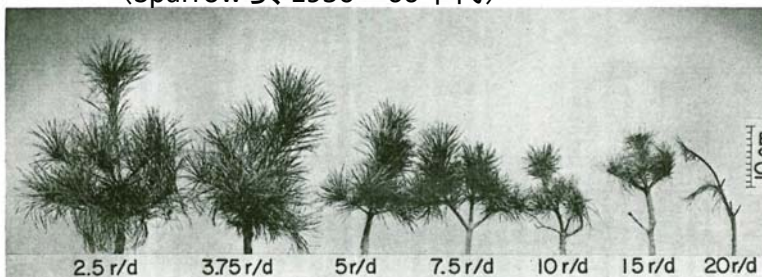
樹木個体の致死にみられる 放射線感受性の種間差



- ・植物個体でも、放射線感受性とDNA含量・Chromosome Volumeが対応
- ・樹木(植物)の中で、針葉樹は放射線高感受性

針葉樹の放射線高感受性の実例

野外照射施設(ガンマフィールド)での研究
(Sparrowら、1950～60年代)



ストロブマツ (*Pinus strobus*) に対する17か月の連続照射 Sparrow et.al (1970)

	被ばく線量率	総線量
正常	< 25 mGy / d	1140 mGy
10%成長低下	30-40 mGy/d	1370-1825 mGy
50%成長低下	50 mGy/d	2280 mGy
強度成長阻害	100 mGy/d	4560 mGy
致死	200 mGy/d	9120 mGy

チェルノブイリ原子力発電所事故(1986)

周囲の森林で、針葉樹に大きな被害

- ・ヨーロッパアカマツ (*Pinus sylvestris*)
- ・ドイツウヒ (*Picea abies*)



チェルノブイリ汚染地域
(約180 μ Sv/h 1999年)

チェルノブイリ事故当時(1986年)の 周辺樹木の放射線障害

(IAEA 2006)

	Minor damage Zone	Medium damage Zone (120 km ²)	Sublethal Zone (38 km ²)	Lethal Zone (4 km ²)
外部γ吸収線量	0.5-1.2 Gy	4-5 Gy	10-20 Gy	>80-100 Gy
針葉樹 (ヨーロッパアカマツ ノルウェーウヒ)	成長低下 生殖能低下 形態変化	成長阻害 生殖阻害 葉の萎凋	一部植物体の枯死 成長点部分の芯枯れ	全植物体の枯死 (レッドフォレスト)
	> 0.1 Gy 障害は観察 はされない	> 0.5 Gy 細胞遺伝学的 障害	> 1 Gy 成長遅延 形態障害	> 2 Gy 生殖障害
広葉樹 (シラカバ、ポプラ等)			形態変化	部分的な枝枯れ

帰還困難区域内の森林における事故後の状況



事故帰還困難区域内の空間線量率が特に高い
地域の森林(2011年11月)

生態系全体として、チェルノブイリ原子力発電所事故後に発生したような急性の放射線被ばくによる大規模な放射線傷害の徴候は観察されなかった。

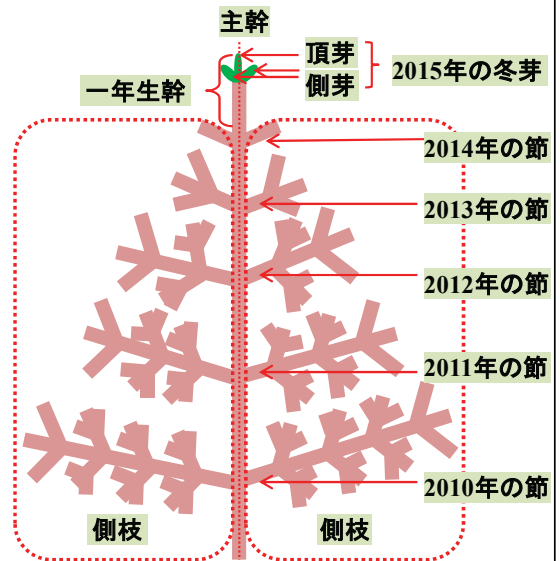


チェルノブイリ原子力発電所事故後に発生した、原発周囲の樹木の枯死
(1986年)

モミの形態観察

モミ (*Abies firma*)

- ・ 日本特産の針葉樹
- ・ 浜通り地方に自生
- ・ 幼木が多く、樹木全体の観察が容易



2015年1月におけるモミの概略図

Y. Watanabeらによる“Morphological defects in native Japanese fir trees around the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant”を元にしており、クリエイティブ・コモンズの下でライセンスされています。(CC BY 4.0)

- ✓ 一本の主幹が直立
- ✓ 毎年、規則的に分枝
- ✓ 1年に1節ずつ伸長

- 主幹の形態分析が容易
- 節の数を数えることで、形態変化の生じた年を特定しやすい

モミの形態変化



正常



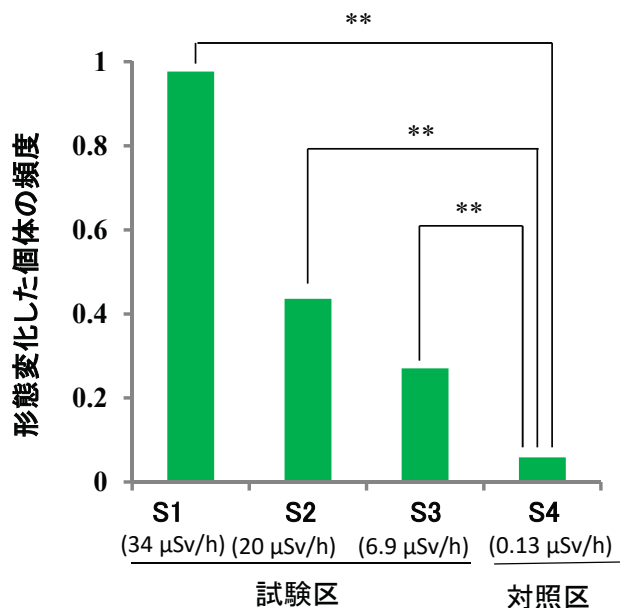
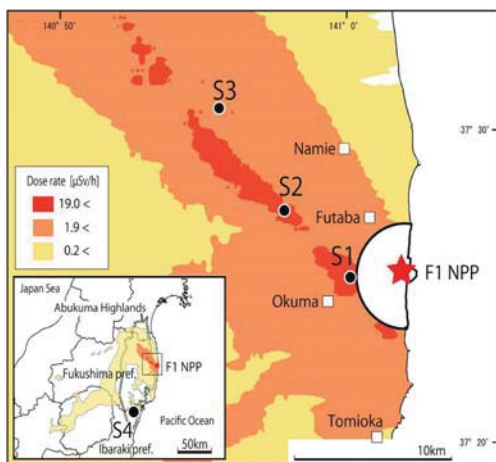
変化
(側枝が水平に
拡がる)



変化
(側枝が垂直に
立ち上る)

Y. Watanabeらによる“Morphological defects in native Japanese fir trees around the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant”を元にしており、クリエイティブ・コモンズの下でライセンスされています。(CC BY 4.0)

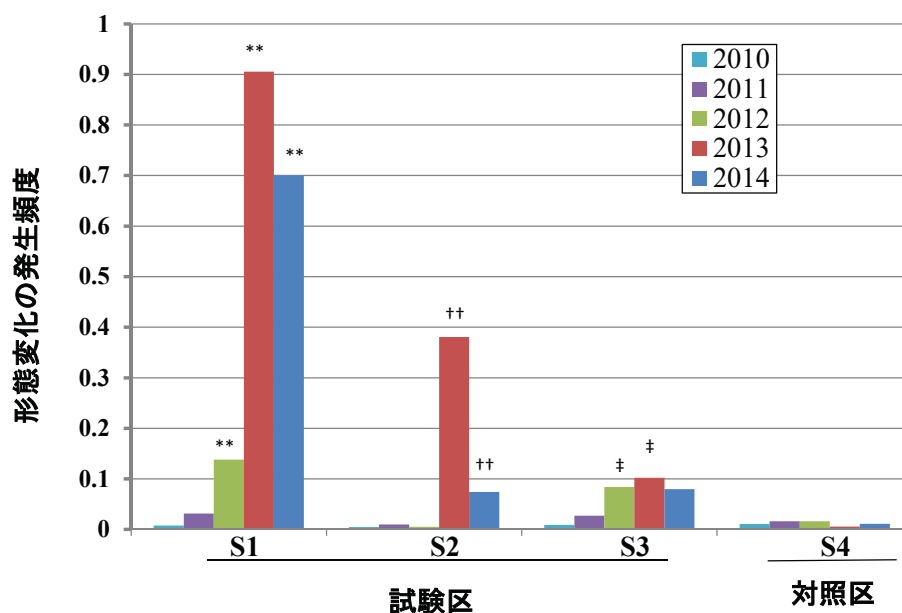
空間線量率の高い地域のモミにおける 主幹の形態変化の発生頻度



試験区	福島第一原発からの距離と方向	空間線量率 (μSv/h)	面積 (m ²)	観察樹木本数
S1	3.5 km NW	33.9 ± 5.1	1100	130
S2	8.5 km WNW	19.6 ± 1.0	1000	203
S3	15 km WNW	6.85 ± 1.19	800	111
S4	75 km SSW	0.13 ± 0.01	1200	189

Y. Watanabeらによる“Morphological defects in native Japanese fir trees around the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant”を元にしており、クリエイティブ・コモンズの下でライセンスされています。(CC BY 4.0)

モミの形態変化発生頻度の経年変化



Y. Watanabeらによる“Morphological defects in native Japanese fir trees around the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant”を元にしており、クリエイティブ・コモンズの下でライセンスされています。(CC BY 4.0)

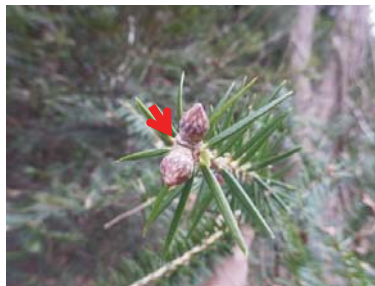
- ✓ 試験区で、主幹欠損が2012年/2013年以降に増加
- ✓ 主幹欠損の発生頻度は2013年にピーク

➤ 主幹欠損は、原発事故の1-2年後に最も多く発生

モミ主軸の一年生幹と頂芽の欠損



2013年の節



主軸頂端にある
2015年の冬芽

Y. Watanabeらによる“Morphological defects in native Japanese fir trees around the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant”を元にしており、クリエイティブ・コモンズの下でライセンスされています。(CC BY 4.0)

- ✓ 側枝の間に、主幹の痕跡が見られない。
 - ✓ 冬芽の段階でも、側芽の間に頂芽の形成が見られないものが観察された。
- 頂芽の発生初期に欠損が発生している可能性がある。

結論と展望

空間線量率が特に高い地域のモミに形態変化が高頻度で発生。
放射線が形態変化の原因になっている可能性が示唆された。

検証が重要

- ・ モミに対して放射線照射実験を実施。
形態変化が再現するかを調査。
- ・ 線量効果関係を調査。



- ・ 現地でモミが受けた被ばく線量を見積もる
(線量評価)。
- ・ 形態変化発生を放射線被ばくとの因果関係
で説明するのが合理的か検討。



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

「環境試料のESR測定による外部被ばく線量評価に関する放射線医学総合研究所
への研究協力」

ESR線量評価: 東京電力福島第一原子力発電所事故の発生以来、環境中の放射線
状況についてのモニタリングが関係機関において鋭意行われてきているが、発生後数
日間のデータは極めて限られている。本研究では、震災直後から海岸線近くで活動し、
発電所事故に伴い避難した住民や関係者の外部被ばく線量を評価するために、環境
試料中のフリーラジカルを電子スピン共鳴法 (Electron Spin Resonance: ESR) で計
測し、事故当時の空間線量を推定する。また、今後同様の事故が起きた場合にも利
用できるよう、汎用性のある外部被ばく線量評価プログラムを作成する。

日本原子力学会2012春の年会 2012.3 福井市
「潮間帯に生息する巻貝(イボニシ)のESR線量計測に基づく福島県沿岸部での線量
評価」

吉井裕、堀口敏宏、豊田新、鈴木敏和、杉浦紳之

日本保健物理学会第45回研究発表会 2012.6 名古屋市
「潮間帯に生息する巻貝(イボニシ)のESR線量計測による福島県沿岸部の積算線量
の推定」

吉井裕、堀口敏宏、豊田新、鈴木敏和、田嶋克史、杉浦紳之

大熊町夫沢水産種苗研究所（1Fの約1km南）



浜通り地方の積算放射線量の推定のための基礎調査



調査年月日: 2011年12月14日(水)
天候: 晴れ
調査者:
吉井 裕(放射線医学総合研究所)
堀口敏宏(国立環境研究所)
水野 哲(福島県災害対策本部原子力班)

P5地点でイボニシ1個体を
採集できたのみ!

潮間帯調査



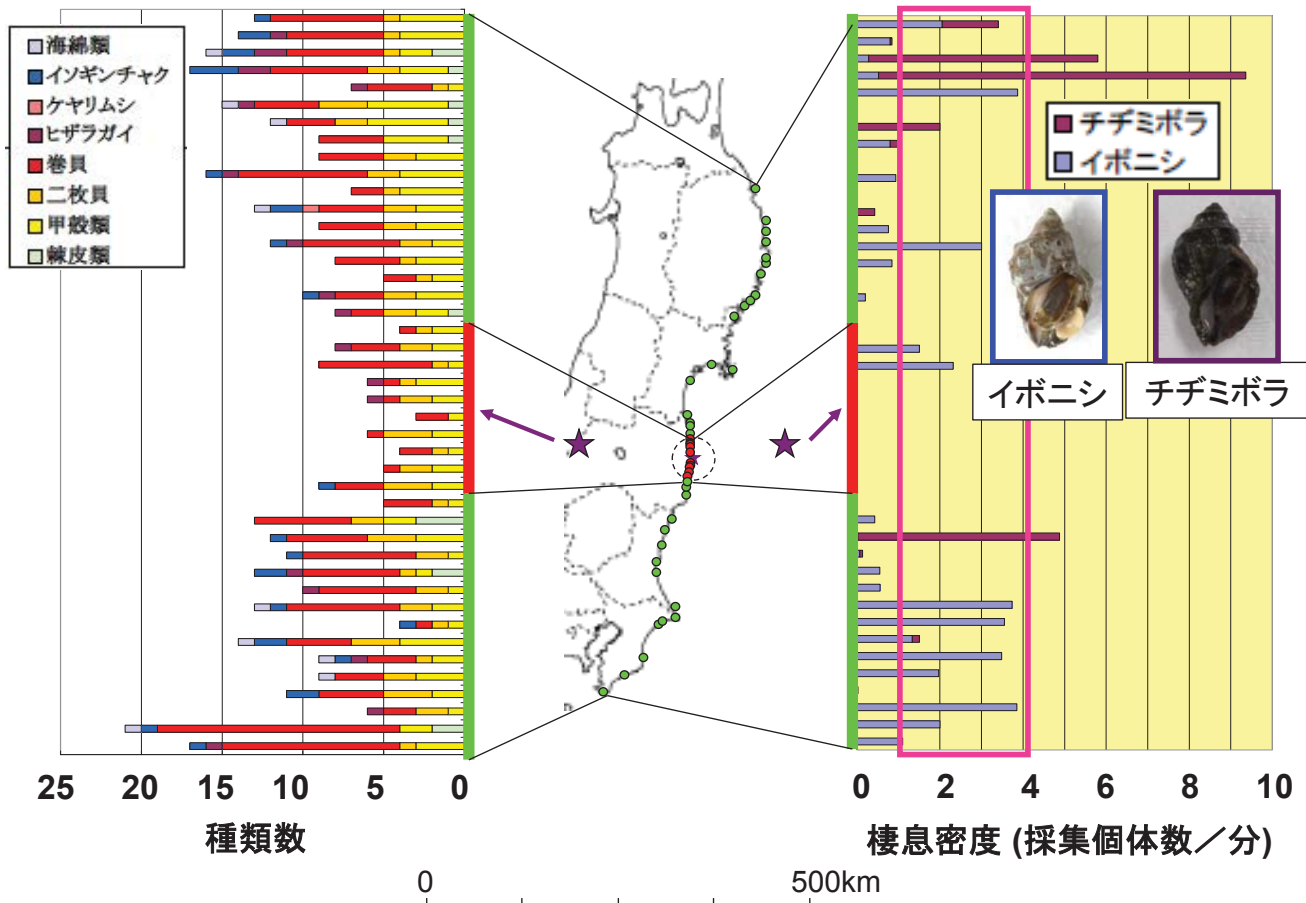
大熊町水産種苗研究所地先(第一原発の約1km南)



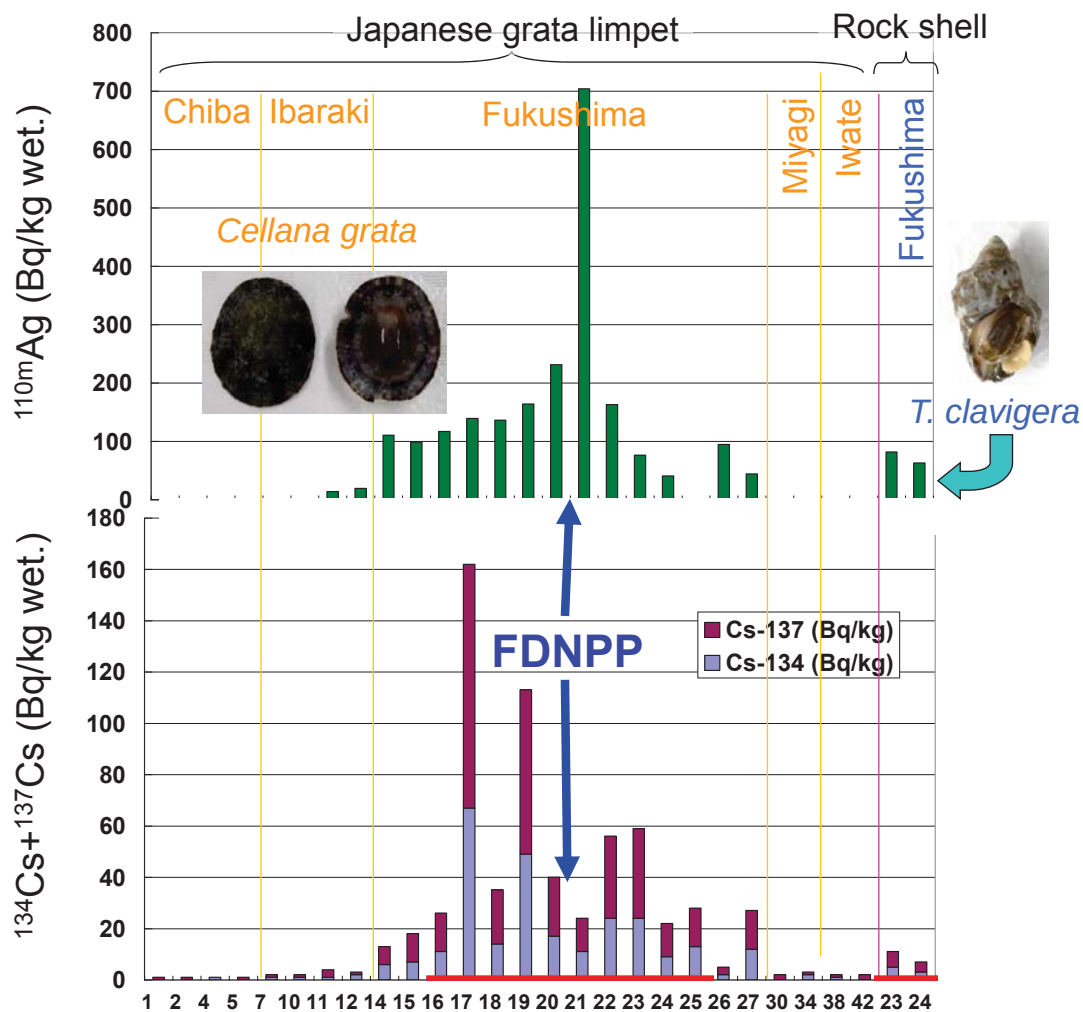
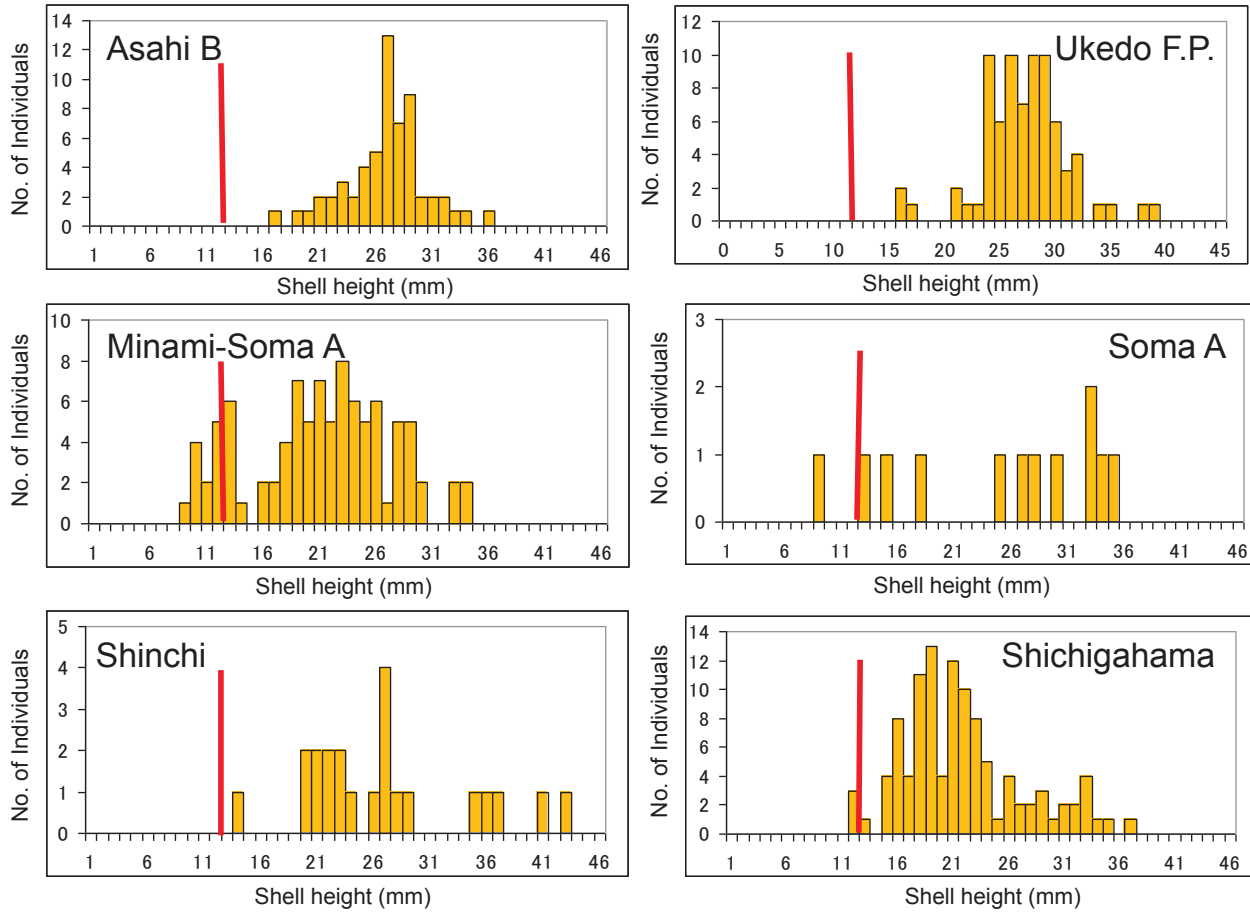
楢葉町波倉(右奥が福島第二原発)

- ✓ 千葉県～岩手県(警戒区域を含む)の43地点で潮間帯生物相を調査(2012年4月、7～8月)
- ✓ 各地点の種数、種組成、イボニシの分布密度及び殻高組成
- ✓ ゲルマニウム半導体検出器によるイボニシとベッコウガサガイの軟組織中の放射性核種分析(^{134}Cs , ^{137}Cs , $^{110\text{m}}\text{Ag}$)

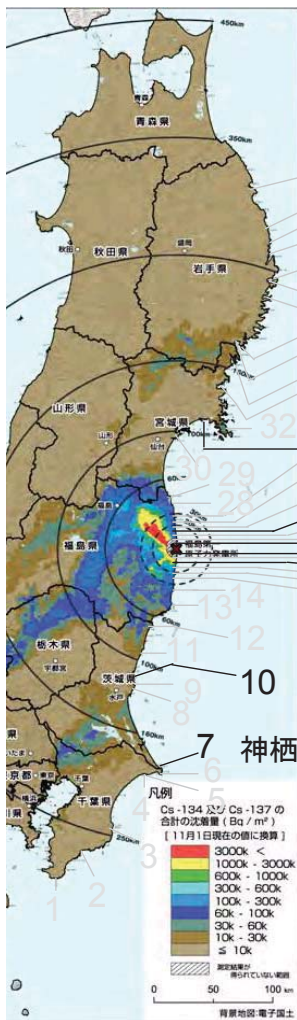
潮間帯の無脊椎動物の種数とイボニシの棲息密度(2012年)



イボニシの殻高組成（2012年）



潮間帯生物（付着生物）の採取調査



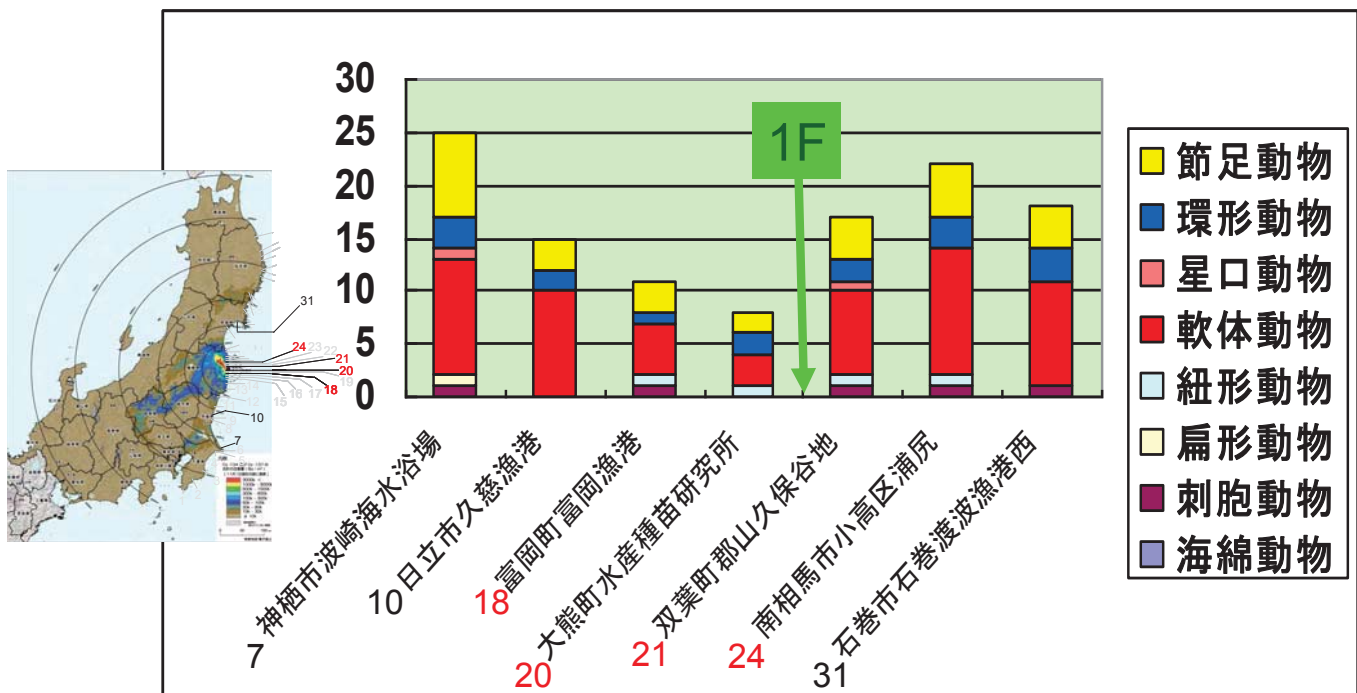
✓ 2013年5月～6月及び
2014年6月

✓ 1F半径20km圏内を含
む7地点における水深別
の3点(潮間帯下部、中央、
上部)

✓ 50cm × 50cm 方形枠

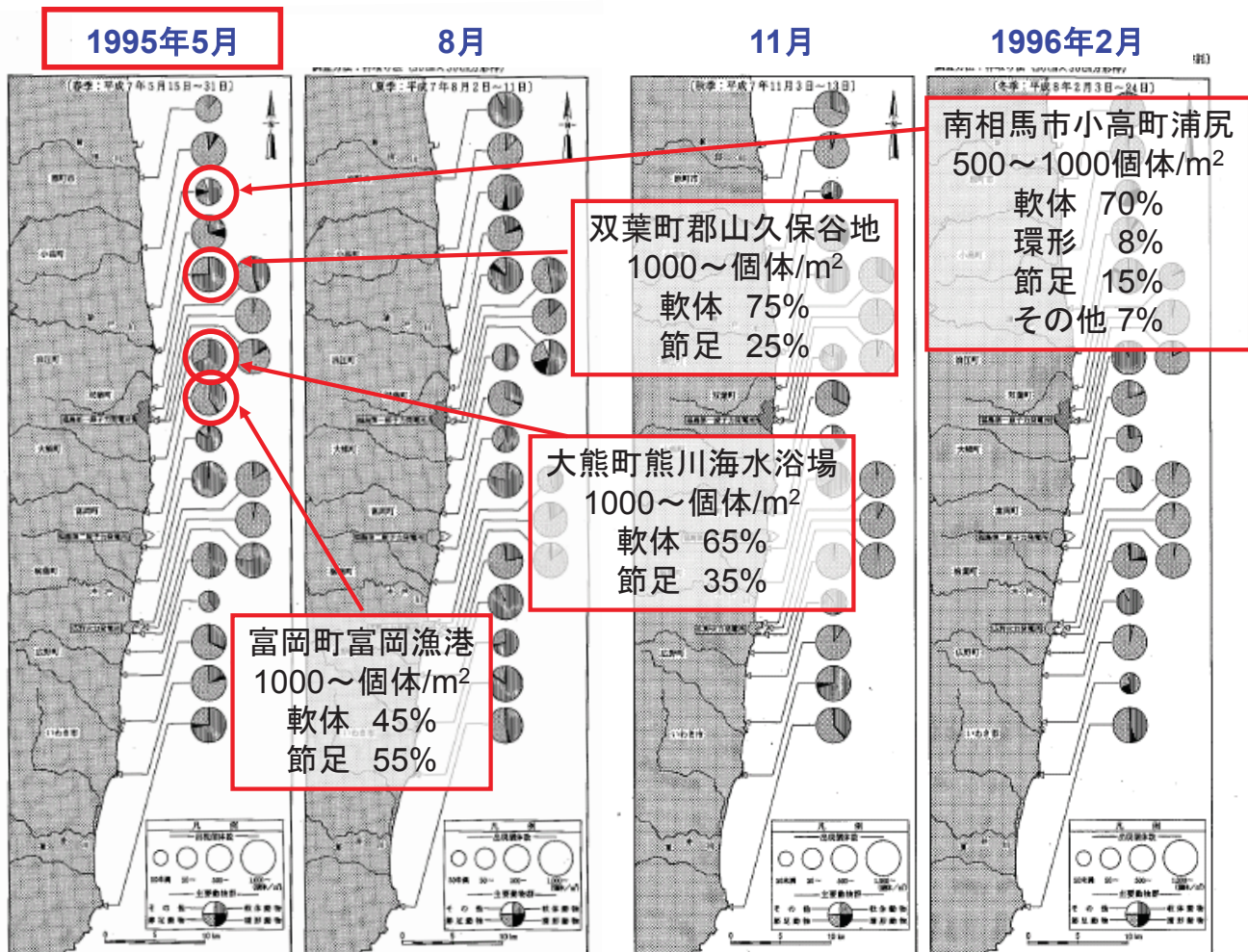
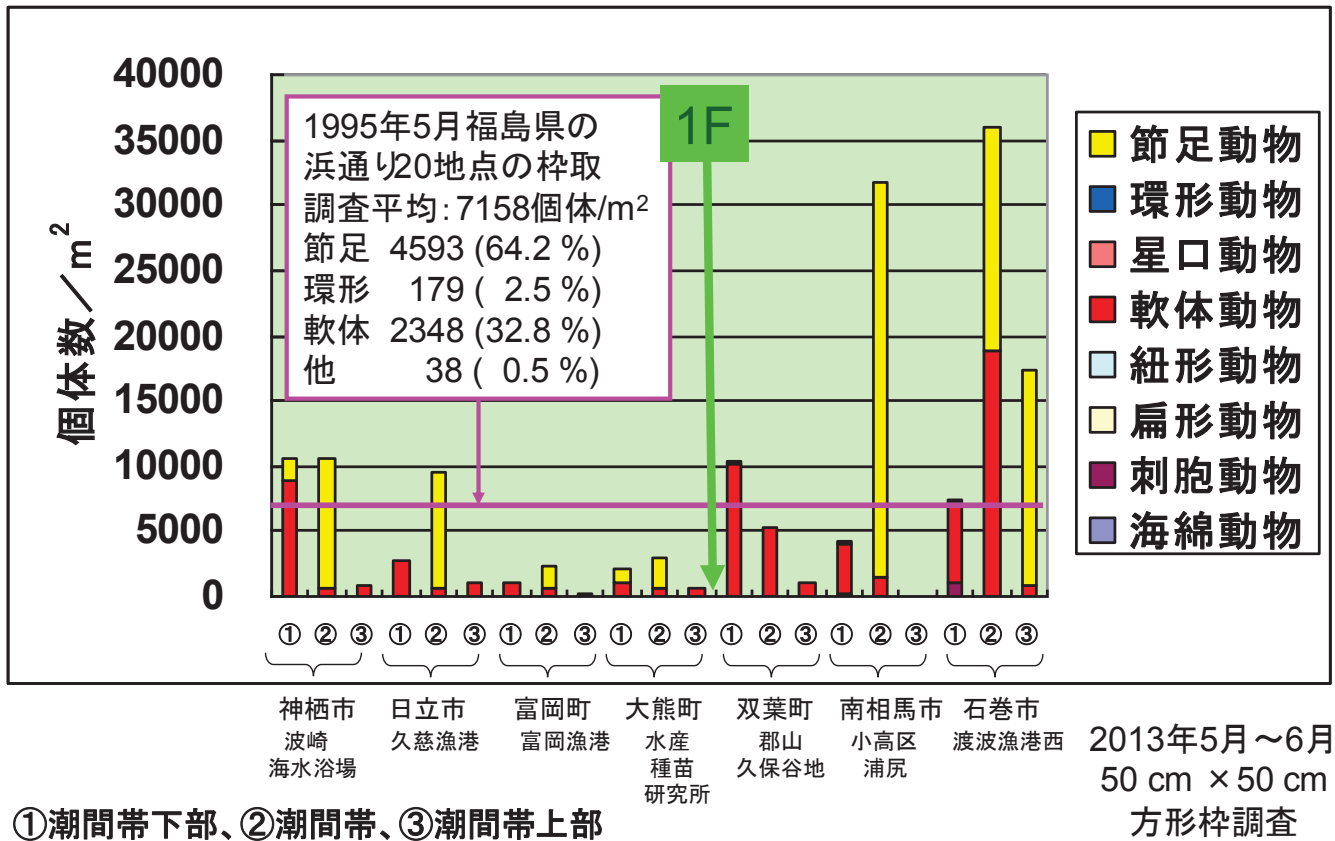
✓ 種別の個体数と湿重量

2013年 付着生物(無脊椎動物)の種数: 地点別

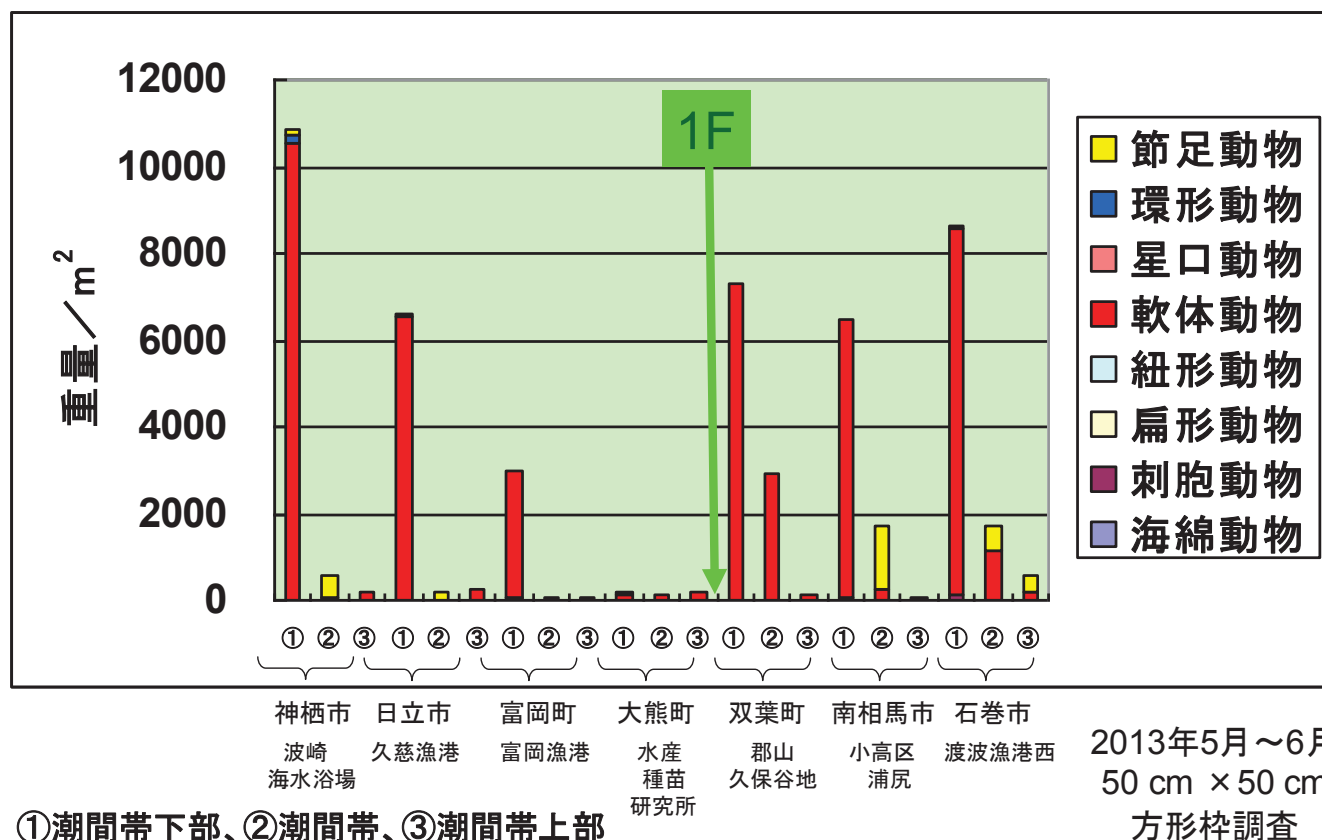


2013年5月～6月
50 cm × 50 cm
方形枠調査

2013年 付着生物(無脊椎動物)の個体数



2013年 付着生物(無脊椎動物)の湿重量



事故直後(2011年3月21日～4月4日)に1F近傍・周辺の海水から検出されたγ線核種: ^{38}Cl , ^{58}Co , ^{84}Br , ^{95}Zr , ^{99}Mo , $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{104}Tc , ^{105}Ru , ^{131}I , ^{132}I , ^{134}Cs , ^{136}Cs , ^{137}Cs , ^{140}Ba , ^{140}La , ^{144}Pr

^{131}I 検出最大濃度: 154,000 Bq/L (3/30 13:55 1F南側)

^{134}Cs 検出最大濃度: 47,020 Bq/L (同上)

^{137}Cs 検出最大濃度: 47,470 Bq/L (同上)

β線核種: ^{90}Sr (^{137}Cs の海水中濃度の約1/10)

^{90}Sr 以外の海水中濃度情報なし

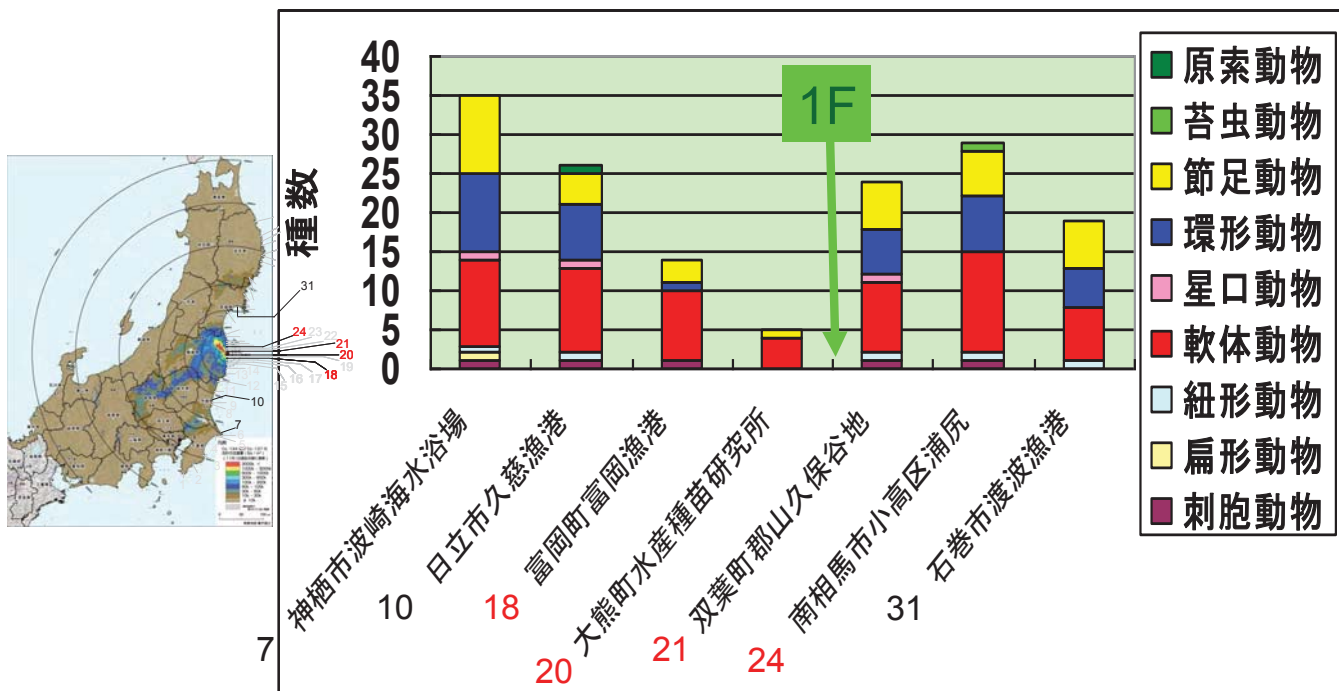
α線核種: 海水中濃度の情報なし

1Fから周辺海域に漏洩した疑いのある化学物質: ホウ酸, ヒドラジンなど

ホウ酸 使用量: 約1.7 t (ホウ酸として; 2011年末現在)

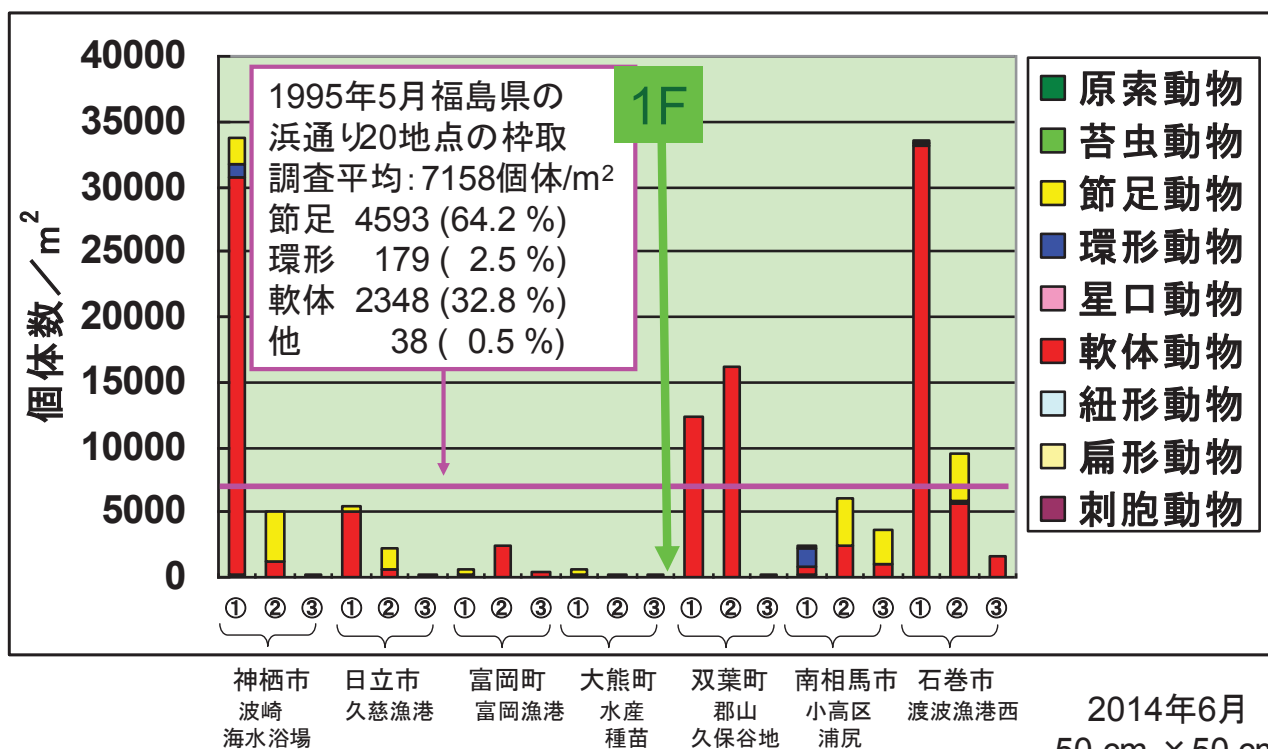
ヒドラジン 使用量: 約210 t (主にSFP; 2013年11月現在)

2014年 付着生物(無脊椎動物)の種数:地点別



2014年6月
50 cm × 50 cm
方形枠調査

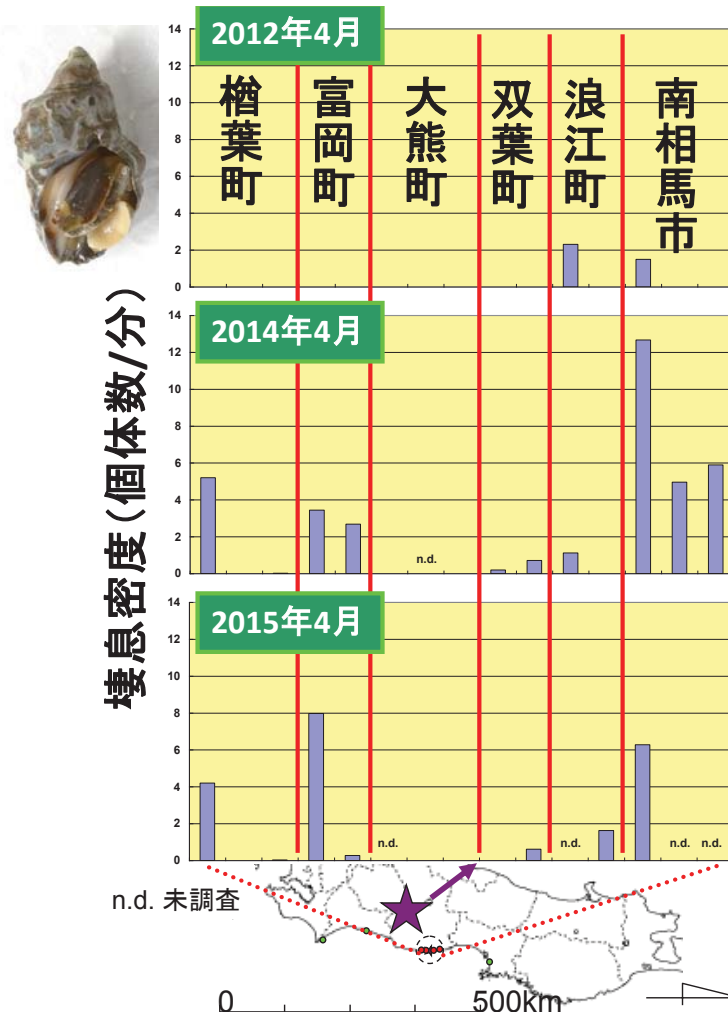
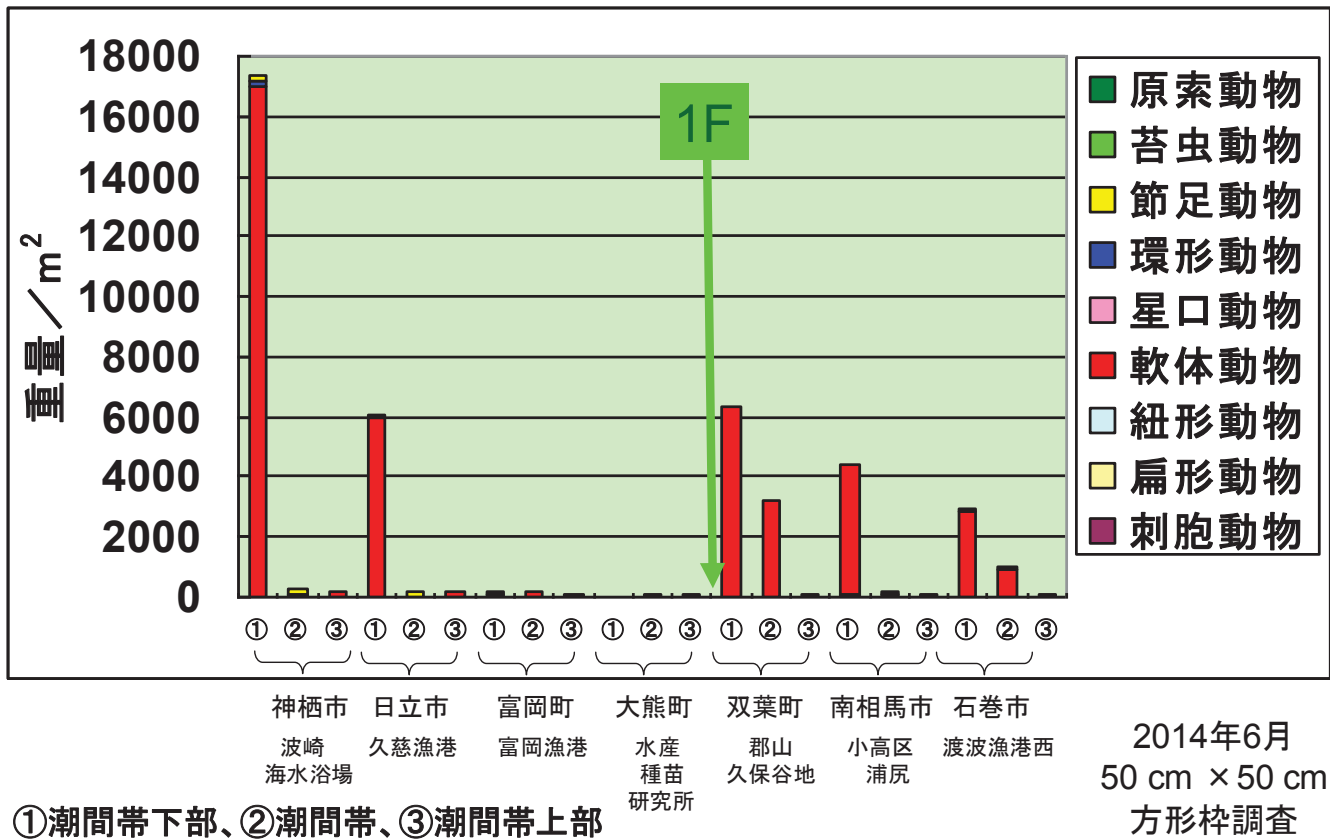
2014年 付着生物(無脊椎動物)の個体数



2014年6月
50 cm × 50 cm
方形枠調査

①潮間帯下部、②潮間帯、③潮間帯上部

2014年 付着生物(無脊椎動物)の湿重量



イボニシの棲息密度(左)
と
産卵の有無(下)

地点名	1Fからの距離(km)	2013年	2014年	2015年
富岡町老若浜	10.5	×	○	×
富岡町富岡漁港	9.5	×	×	×
大熊町熊川海水浴場(北)	3.6	×	×	×
大熊町水産種苗研究所	1.2	×	×	×
双葉町郡山久保谷地	1.5	×	×	×
双葉町双葉海水浴場	3.5	×	×	○?
南相馬市小高区浦尻	17.5	○	○	×



イボニシの産卵
(2005年7月愛媛県)

まとめ

- ✓ 福島第一原発(1F)に近づくにつれ潮間帯の無脊椎動物の種数が有意に減少($P<0.001$)。
- ✓ 福島県広野町～双葉町の約30kmの範囲でイボニシが採集されず。棲息個体の一掃と再生産の不全を示唆。
- ✓ 1Fの南側(大熊町と富岡町)で潮間帯の無脊椎動物の種数と棲息密度が有意に低値($P<0.05$)。
- ✓ 震災・原発事故後の潮間帯生物の棲息状況を反映:津波のみの影響では説明困難、原発事故による可能性。
- ✓ 原因究明と個体群・群集の回復過程の追跡が必要。

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。

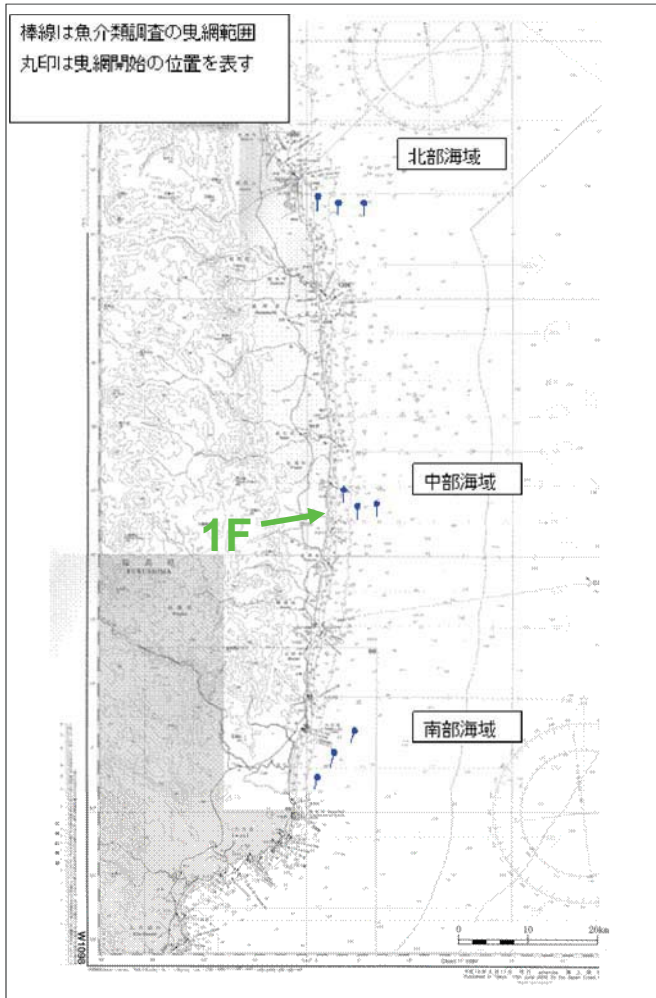
【結果】2012年10月の 66 定点の底質調査の結果、放射性セシウム濃度は 1F 北側と南部沿岸で高値（最大 1,650 Bq/kg）を観察し、また、総じて、南部海域で北部海域より高かった。放射性セシウム濃度の底質中鉛直分布は地点により異なった。底質の TOC、T-N と放射性セシウム濃度との間に相関は認められなかった。一方、2014年1月までの水深 30m 定点での表層底質中の放射性セシウム濃度は、北部で 10〜30 Bq/kg、中部で 30〜50 Bq/kg とほぼ横ばい、南部では 500〜100 Bq/kg に低減した。表層の溶存態放射性セシウム濃度は変動が大きく、底層では 10〜40 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。

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)

材料及び方法

- ✓ 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
- ✓ 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月に北部(相馬市沖)、中部(1F近傍)及び南部海域(いわき市沖)の水深30m以浅の定点で水・底質及び生物(プランクトン、ベントス及び底棲魚介類)試料を採取／採集
- ✓ 水・底質及び魚介類試料を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
- ✓ 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
- ✓ 底棲魚介類は種別の個体数と重量を記録し、一曳網当り漁獲量(CPUE)を算出し解析



福島沿岸9定点における 魚介類等調査

北部、中部及び南部の水深30m:
水質と底質の採取、プランクトン
(植物プランクトン及び大型動物プ
ランクトン)、ベントス(マクロベント
ス及びメイオベントス)及び魚介類
の各試料を採集

北部、中部及び南部の水深10mと
20m:
魚介類試料を採集

調査回数:
年2～3回(7月、10月、1月)
(2014年度以降は、7月と翌年1月
の年2回実施)

背景と目的

- 東日本大震災および福島第一原発事故後の
福島県沖合の浅海域(水深10～30m)

地震・津波による環境改変

原発事故に伴う放射性物質や化学物質等の漏洩
漁業自粛による漁獲圧力低下



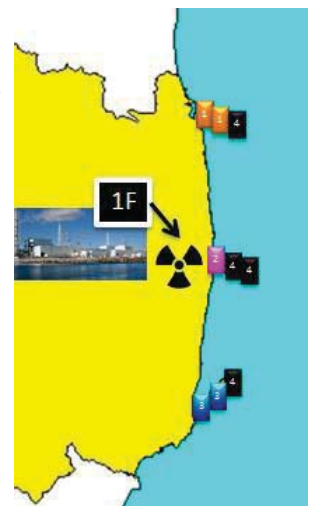
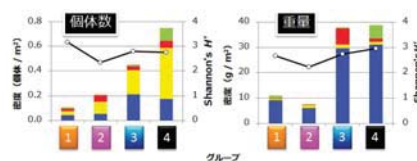
生物相の実態を把握する必要有り

底棲魚介類群集の種組成および生物量の
時空間的变化(2013～2015年)を調査

投稿準備中のため、公開できません。悪しからず。

まとめ

- 生物量・種組成の類似度から、4エリアに区分
北～中部の浅海域で低密度、沖合域で高密度



- 個体数では小型甲殻類・イカ類、
重量では板鰓類・異体類・フグ類が
優占する傾向



- 甲殻類および棘皮類が減少傾向



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。

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

2016年8月3日@京都大学原子炉実験所 事務棟大会議室

○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



放射性物質汚染地域の環境モニタリング

東京電力福島第一原子力発電所事故



放射性物質の放出

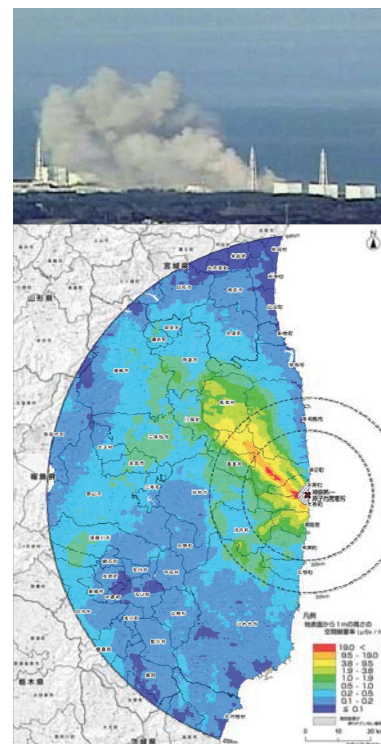
周辺地域の環境中の生物にも影響を
及ぼす可能性

線量率が低下後も、放射線による影
響は当分続くことが予想される



- ・ ヒトへの影響の未然防止
- ・ 生活環境の改善
- ・ 生態系に対する影響評価
- ・ リスク管理や環境保全

放射性物質汚染の影響評価が重要

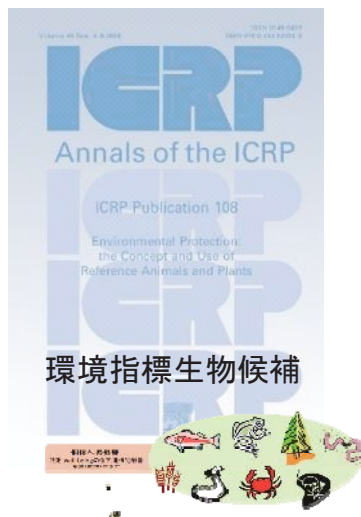




誘導考慮参考レベル

(Derived Consideration Reference Levels)

得られた線量率とその標準動植物において
放射線影響を考慮すべき量であるかを判断するための目安



	0.01	0.1	1	10	100	1000
シカ						
ラット						
カモ						
カエル						
マス						
カレイ類						
ハチ						
カニ						
ミミズ						
マツ						
イネ科植物						
褐藻類海藻						

ICRP Publication 108: Ann. ICRP 38, (2008) より改変



Hirosaki University, Chromosome Research Group

Tomisato Miura, Ph.D.



小型哺乳類（アカネズミ）の調査



アカネズミ (*Apodemus speciosus*)

- ・北海道、本州、四国、九州、多くの島々に分布
- ・植物の根茎部、種実、昆虫類を菜食
- ・繁殖期は、一般的に春と秋の年2回
- ・地中に巣穴を掘る



シャーマントラップ
により捕獲



November 2, 2014

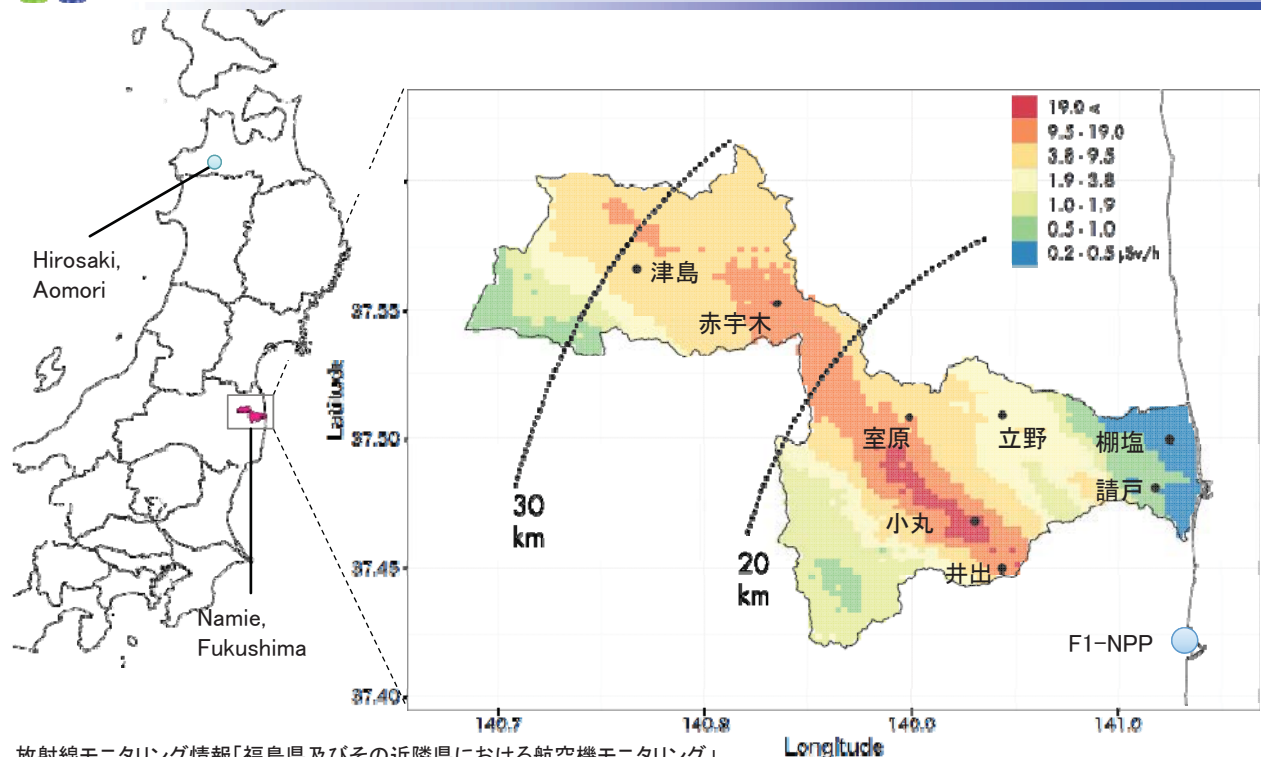


Hirosaki University, Chromosome Research Group

Tomisato Miura, Ph.D.



アカネズミの捕獲地点



放射線モニタリング情報「福島県及びその近隣県における航空機モニタリング」

<http://radioactivity.nsr.go.jp/ja/list/362/list-1.html> にて公開されているデータより浪江町の測定値のみ抜粋



Hirosaki University, Chromosome Research Group

Tomisato Miura, Ph.D.



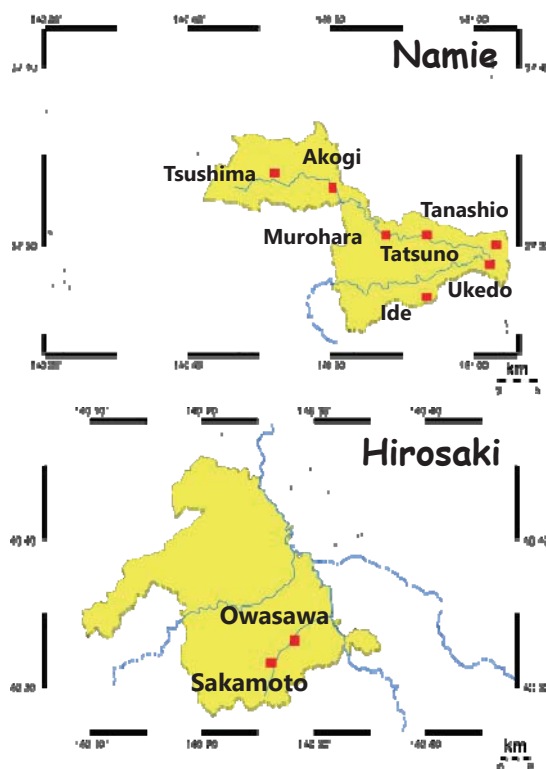
Hirosaki University, Chromosome Research Group

Tomisato Miura, Ph.D.



調査地における空間線量率

Fields	Distance from F1-NPP (km)	Dose rate in the air (μGy/h)			
		2011	2012		2013
		Autumn	Spring	Autumn	Spring
Namie					
Tsushima	28.5	20.2	-	-	-
Akogi	22.8	29.1	28.9	26.9	15.2
Murohara	15.3	-	15.6	14.2	9.7
Tatsuno	12.6	8.79	-	-	-
Tanashio	8.8	0.59	0.55	0.52	0.66
Ide	8.4	-	25.3	24.5	16.4
Ukedo	6.8	-	0.45	-	-
Hirosaki					
Owasawa	352.1	0.05	0.05	0.05	-
Sakamoto	349.2	0.06	0.06	0.06	-

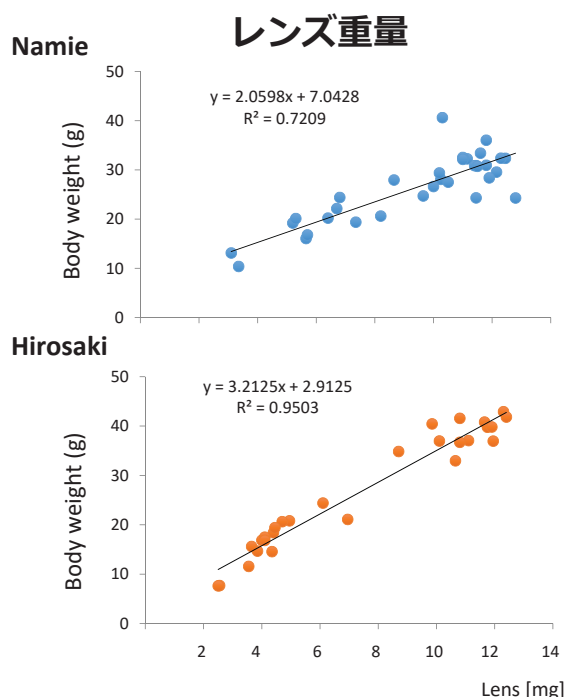
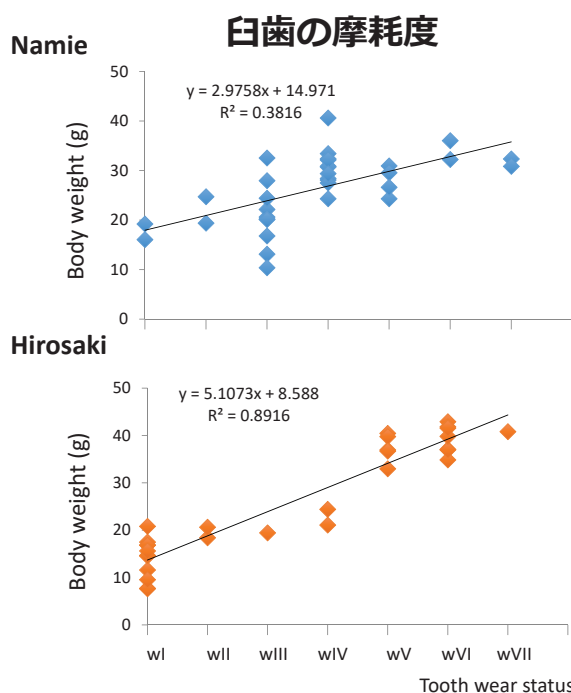


Hirosaki University, Chromosome Research Group

Tomisato Miura, Ph.D.



2012年春におけるアカネズミの個体成長度の比較



福島県警戒地域と青森県では個体成長の度合いに有意な差は検出されなかった



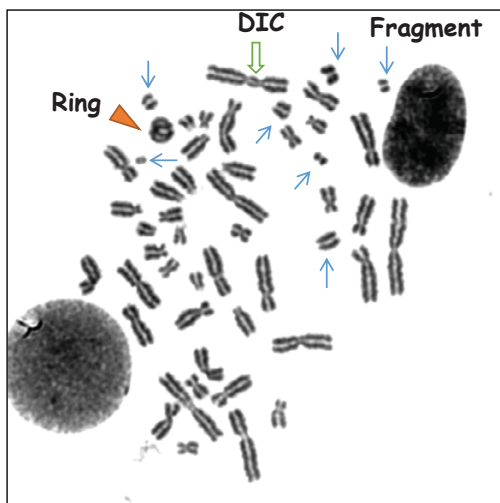
Hirosaki University, Chromosome Research Group

Tomisato Miura, Ph.D.

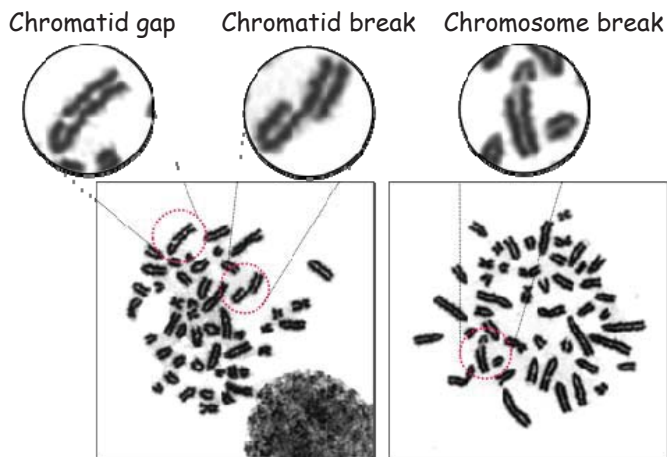


放射線の急性照射による染色体異常

放射線被ばくにより様々な**染色体異常が誘発**される



ヒトの染色体異常例



浪江産アカネズミの染色体異常例

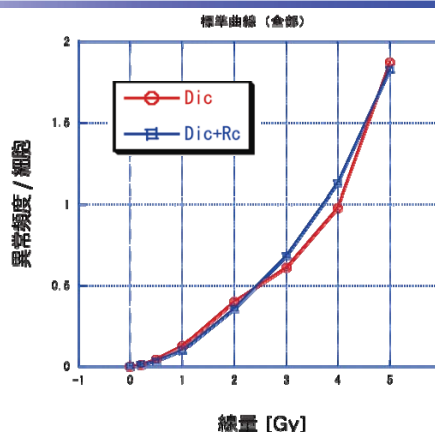
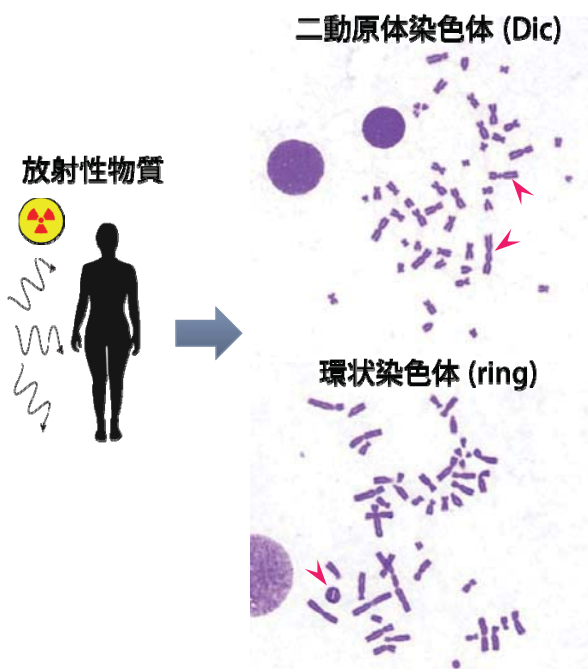


Hirosaki University, Chromosome Research Group

Tomisato Miura, Ph.D.



生物学的放射線被ばく線量評価の概要



染色体異常頻度から、個体レベルの放射線被ばく線量を推定可能

最適な指標

- ・ 急性的被ばく線量推定
- ・ 慢性的被ばくの生物影響評価

緊急被ばく医療における国際的な
生物学的線量評価のゴールドスタンダード



Hirosaki University, Chromosome Research Group

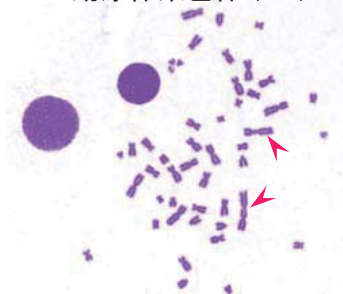
Tomisato Miura, Ph.D.



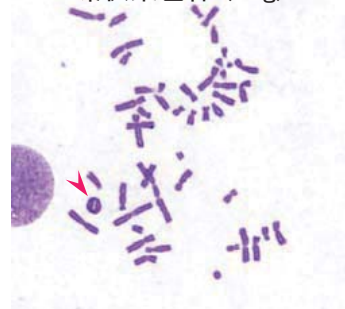
アカネズミの染色体解析に関する背景

放射線に特異性の高い
細胞遺伝学的エンドポイント

二動原体染色体 (Dic)



環状染色体 (ring)



染色体異常解析に関する
既報文献

チェルノブイリ原発事故における調査・研究

Goncharova RI, et al.: *Radiat. Prot. Dosimetry* 62, 37-40 (1995)

Bol'shakov VN, et al.: *Russian J. Ecol.* 34, 314-319 (2003)

高自然放射線地域における調査・研究(ヒト)

Jiang T, et al.: *J. Radiat. Res.* 41 Suppl. 63-68 (2000)

低線量・低線量率慢性被ばく実験(マウス)

Tanaka K, et al.: *Radiat. Prot. Dosimetry* 159, 38-45 (2014)



放射線汚染地域におけるアカネズミの染色体異常解析



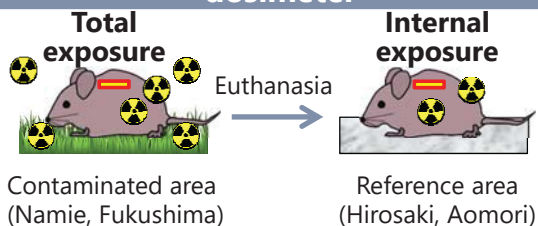
Hirosaki University, Chromosome Research Group

Tomisato Miura, Ph.D.

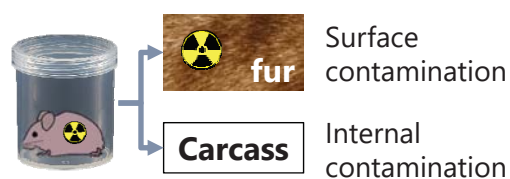


アカネズミの被ばく線量推定

Radiophotoluminescence glass
dosimeter



Gamma-ray spectrometry
by germanium semiconductor detector



アカネズミを
弘前市に持ち帰り
再度線量計を
留置する



Hirosaki University, Chromosome Research Group

Tomisato Miura, Ph.D.



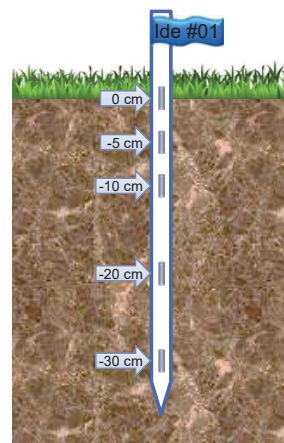
土壌鉛直方向の吸収線量の変化（１）



蛍光ガラス線量計

DoseAce (Chiyoda Technol Co. Japan)

ロングチューブ内に
ガラス線量計を貼付し
土壌中へ埋め込み



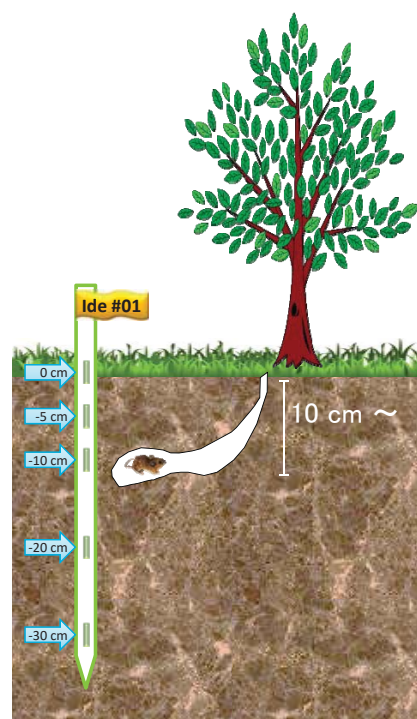
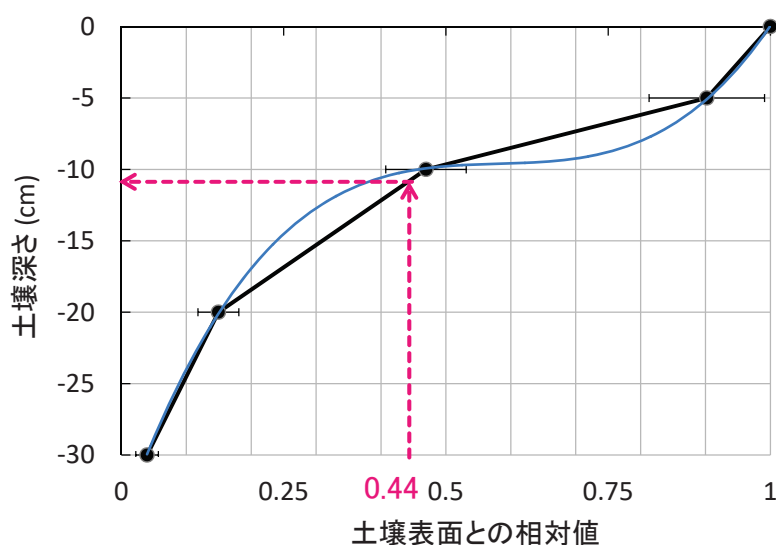
Hirosaki University, Chromosome Research Group

Tomisato Miura, Ph.D.



土壌鉛直方向の吸収線量の変化（２）

中等度線量地域（井手）

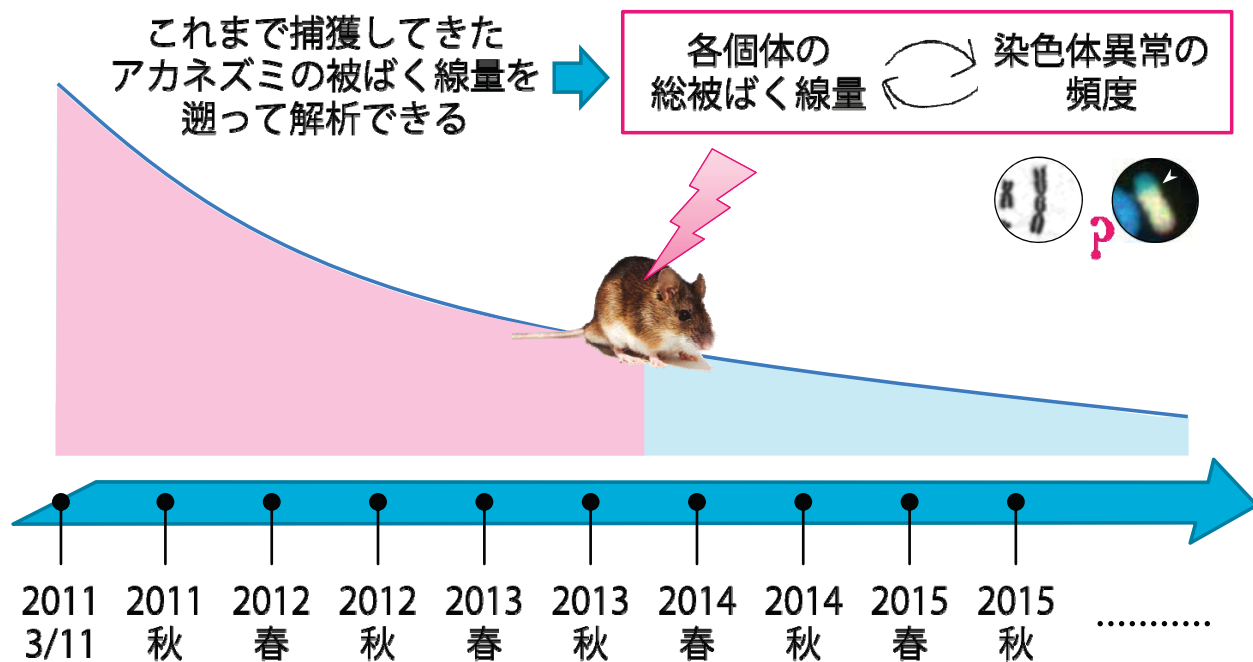


Hirosaki University, Chromosome Research Group

Tomisato Miura, Ph.D.



展望



Hirosaki University, Chromosome Research Group

Tomisato Miura, Ph.D.



アカネズミ調査のまとめ

- 福島県浪江町において震災前後に出生した個体数の減少が観察されているが、個体成長率などに放射線の影響が認められなかった。
- 採集されたアカネズミの染色体を解析した結果、放射線によって誘発される Dic や ring などの染色体異常は認められなかった。
- また、構造異常を有する細胞の頻度は、減少している傾向が認められた。
 - 今後さらに解析検体数および細胞数を増やし、異常が見られないか確認する
- アカネズミの外部被ばく線量推定法を検討した。
 - 小丸、井手地区においては、事故からおよそ5年を経ても依然として影響を考慮するレベルにある
 - 染色体異常頻度と被ばく線量との関係を明らかにする



Hirosaki University, Chromosome Research Group

Tomisato Miura, Ph.D.



共同研究者・協力者（共同演者を含む）

- 弘前大学被ばく医療総合研究所 吉田光明・有吉健太郎
 - 弘前大学大学院保健学研究科 山田正俊・田副博文
 - 北海道薬科大学薬学部 葛西宏介・藤嶋洋平
 - みちのくファウナリサーチ 中田章史
 - 福島県立医科大学 鈴樹亨純
 - 環境科学研究所 坂井晃・阿部悠
 - 東北大学加齢医学研究所 斎藤幹夫
 - 東北大学大学院歯学研究科 福本学, 他
 - 新潟大学農学部 篠田寿, 他
 - 帯広畜産大学原虫病研究センター 山城秀昭
 - 浪江町役場 阿部靖之
- (敬称略)



EGS5を使用したアカネズミの被ばく量推定について

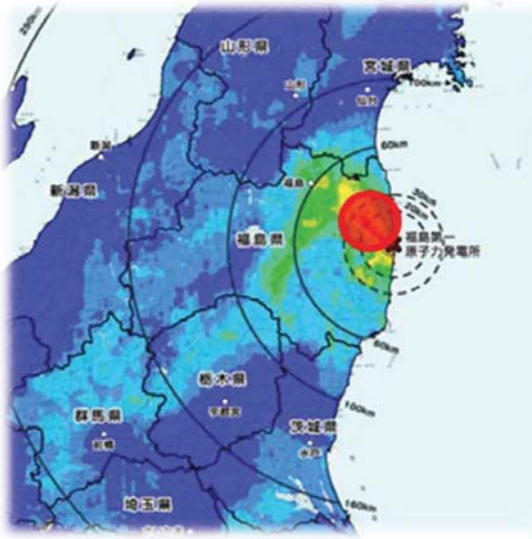
大沼学

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。

EGS5を使用したアカネズミの被ばく量推定について

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

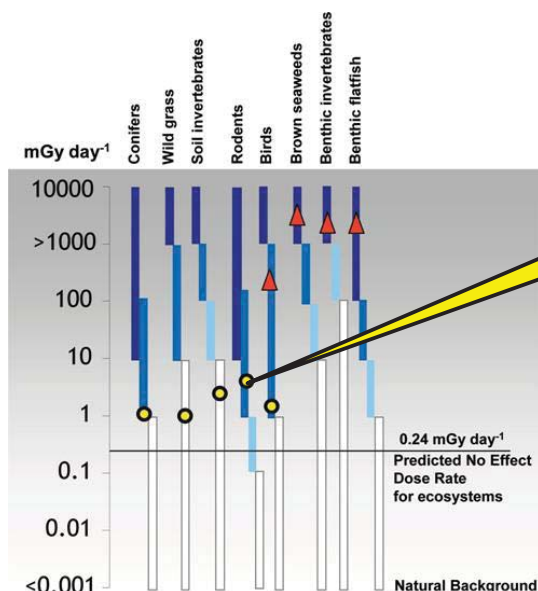


大沼 学

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

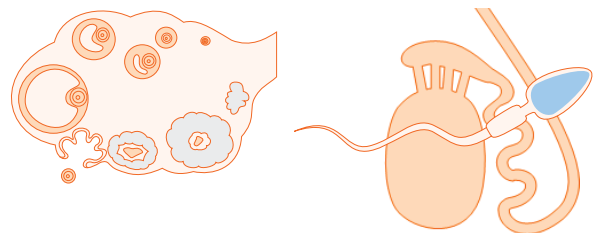
1

事故直後の30日間における齧歯類の被ばく量の推定値 (飯館村の土壌サンプルから推定 Garnier-Laplace J, et. al. (2011))



3.9 mGy/day
(1.4 Gy/year)

1.0～10 mGy/day :雌雄の生殖能力
低下による繁殖能力低下の可能性



Calculated Dose Rates in Fukushima's most impacted areas			
● Maximum dose rate estimates from radionuclide concentrations in soils			
▲ Maximum dose rate estimates from radionuclide concentrations in seawater			
Effects on non-human species			
Mortality or reduction in life span	Reduced reproductive success	Very low probability of effects	No information available

2

ICRPの誘導考慮参考レベル

各線量率で生じる可能性がある放射線影響(ネズミ科)

>1000 mGy/day :造血系障害による死亡(成獣:6-10 Gy LD_{50/30} 胚:1Gy LD₅₀)

100～1000 mGy/day :種々の原因による寿命短縮

10～100 mGy/day :晩発障害の増加。寿命短縮の可能性。繁殖能力の低下

1.0～10 mGy/day :雌雄の生殖能力低下による繁殖能力低下の可能性

0.1～1.0 mGy/day:非常に低い確率で影響が発生する

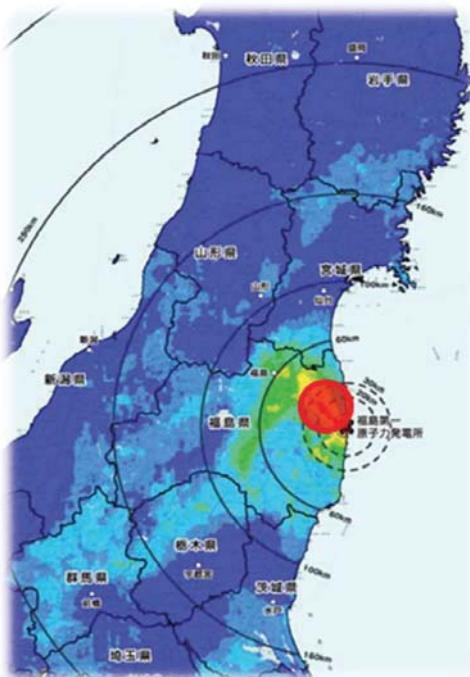
0.01～0.1 mGy/day : 観察される影響無し

<0.01 mGy/day : 自然放射線レベル

International Commission of Radiological Protection and Environmental Protection. The Concept and Use of Reference Animals and Plants; Annals of ICRP; Publication 108;

3

アカネズミの被ばく量推定 供試個体数:2012年～2015年に捕獲 合計73個体(オス:46個体、メス:27個体)



2012 n=27(オス15、メス12)
2013 n=19(オス13、メス6)
2014 n=16(オス10、メス6)
2015n=11(オス8、メス3)

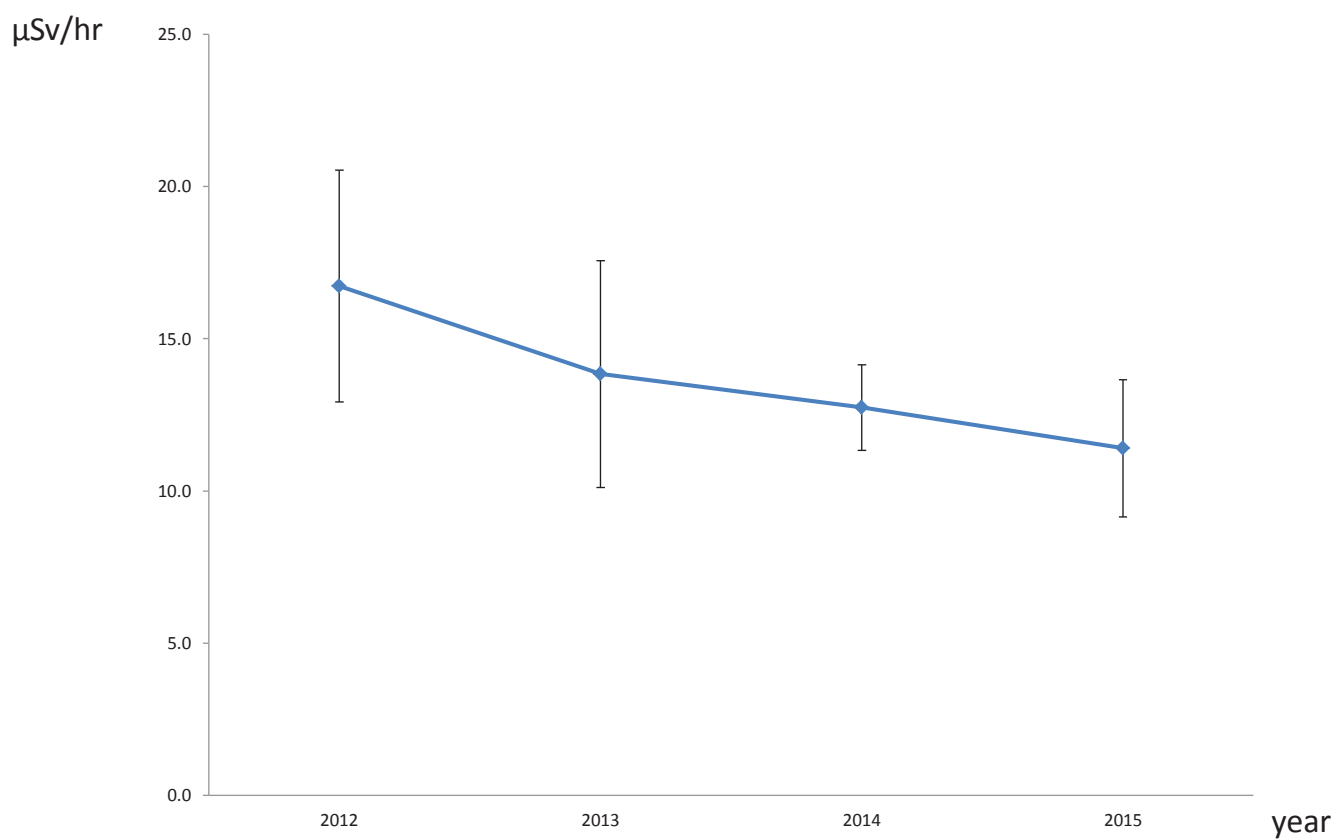


文部科学省による第4次航空機モニタリング
の測定結果について(平成23年12月16日)

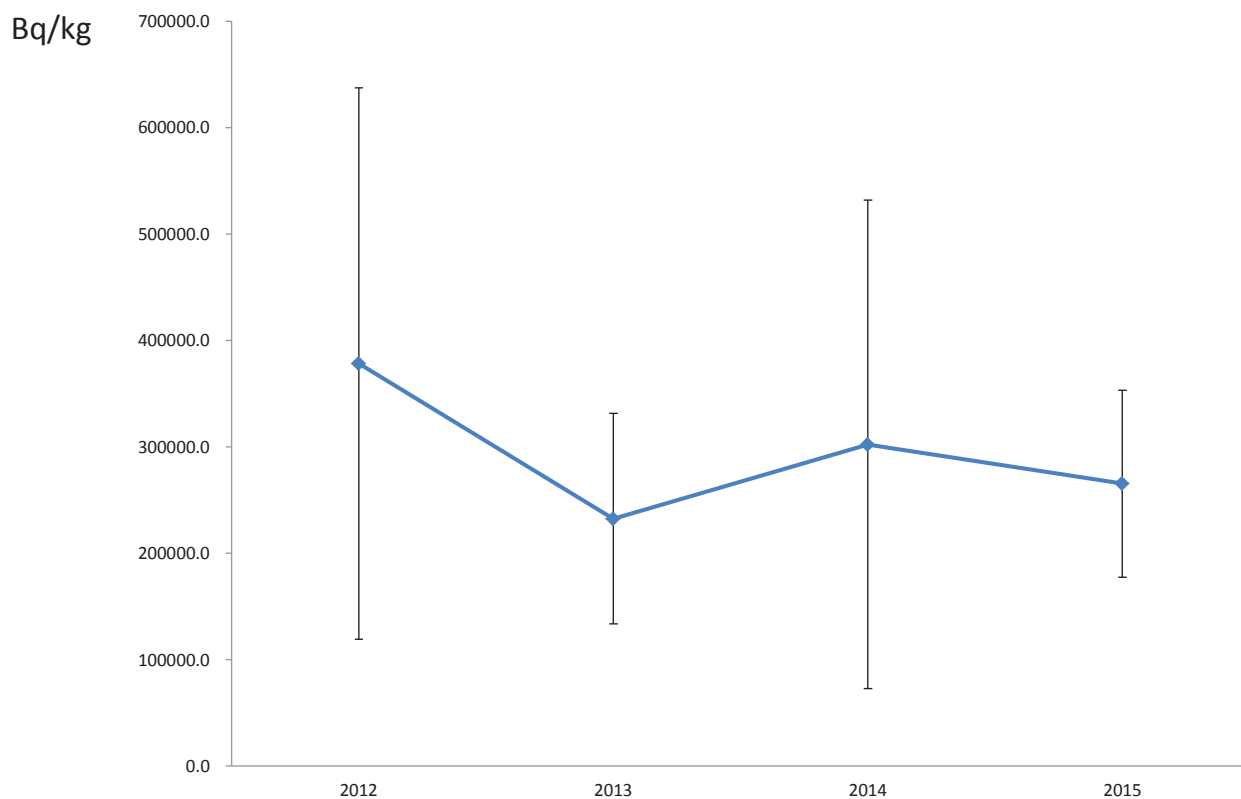
4



空間線量率($\mu\text{Sv/hr}$)の変化(地表面)

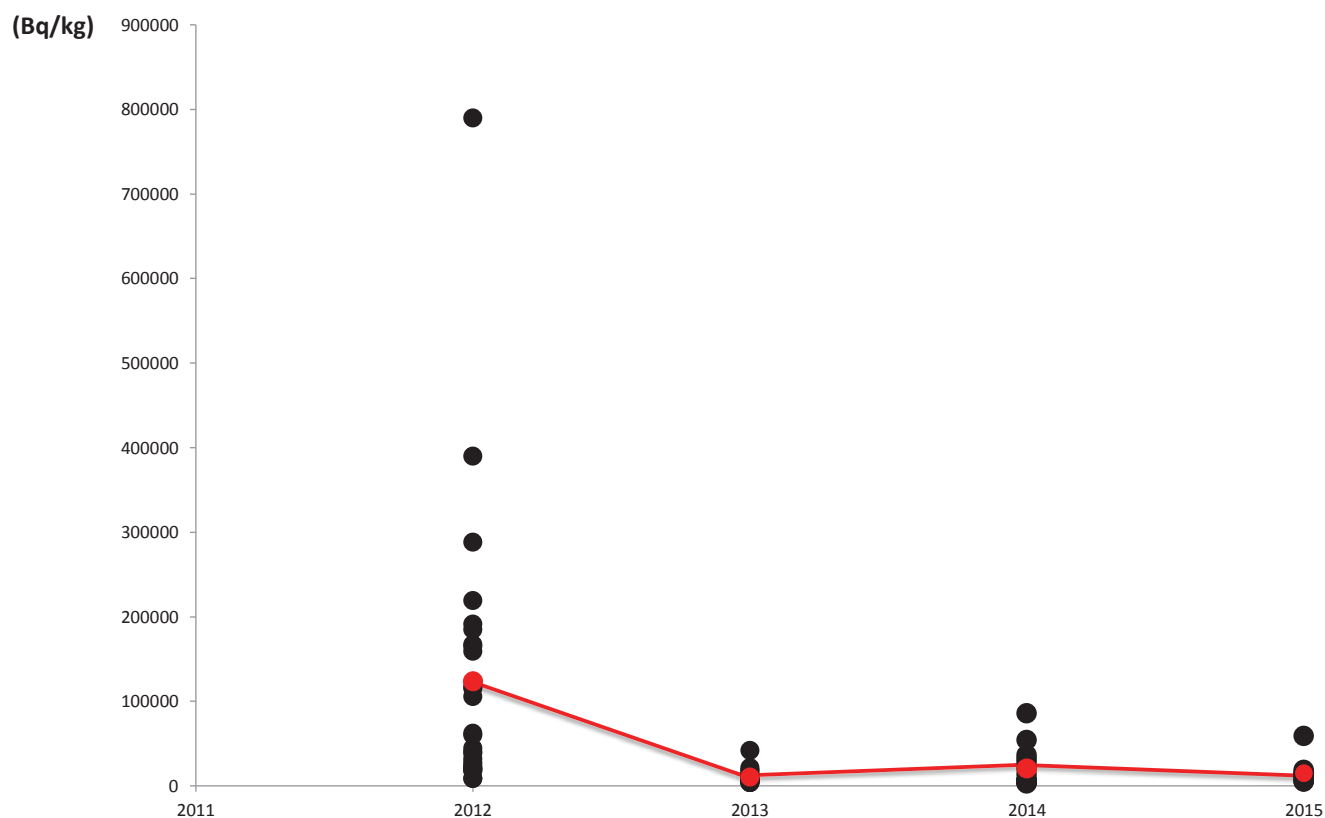


土壌中のセシウム (Cs134とCs137) 量の変化



7

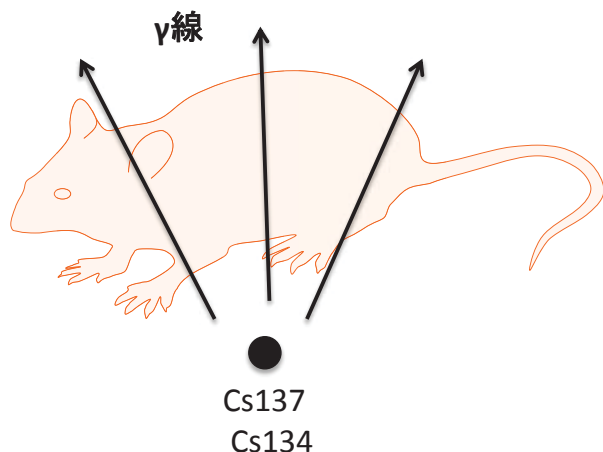
アカネズミ体内中セシウム (Cs134とCs137) 量の変化



8

外部被ばく

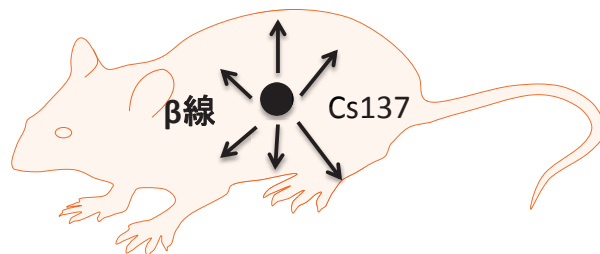
捕獲地点の空間線量率から計算



測定装置: HANDY SURVEYMETER Type
NHE20CY3-131BY-S
(Fuji Electric)

内部被ばく

2012 n=27 (オス15、メス12)
2013 n=19 (オス13、メス6)
2014 n=16 (オス10、メス6)
2015 n=11 (オス8、メス3)



Cs137量測定*
EGS5**によるシミュレーション***

*ゲルマニウム半導体検出器による
**Hirayama, Namito, Bielajew, Wilderman and Nelson
(2005), SLAC-R-730/UC-407 and KEK Report 2004-5
***Cs137のデータのみ使用。遠藤大二教授
(酪農学園大学獣医学群)の協力を得た

9

アカネズミ(成獣)の放射線被ばく線量

体内放射線蓄積量から、被ばく線量を求める

アカネズミの体系を円柱と仮定して計測する。

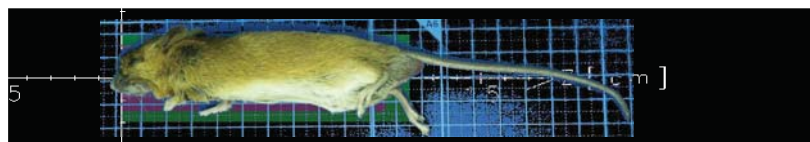
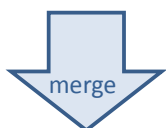
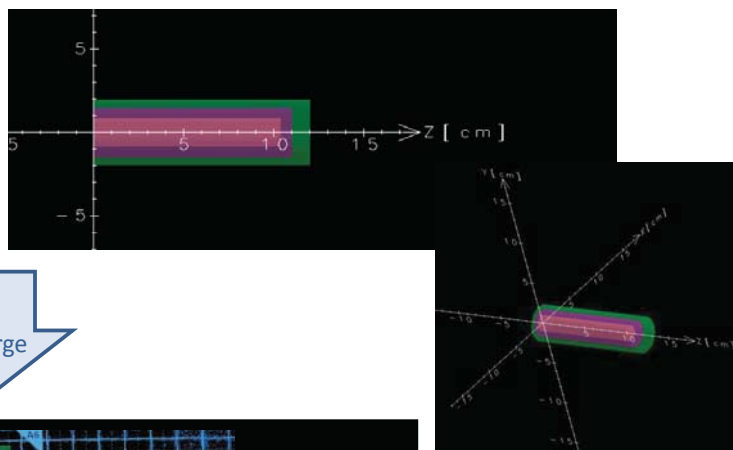
オス(30g以上の個体、歯の摩耗度4*以上)は直径20mm、長さ122mmの円柱
メス(23g以上の個体、歯の摩耗度4以上)は直径17mm、長さ104mmの円柱

(*疋田・村上(1980))

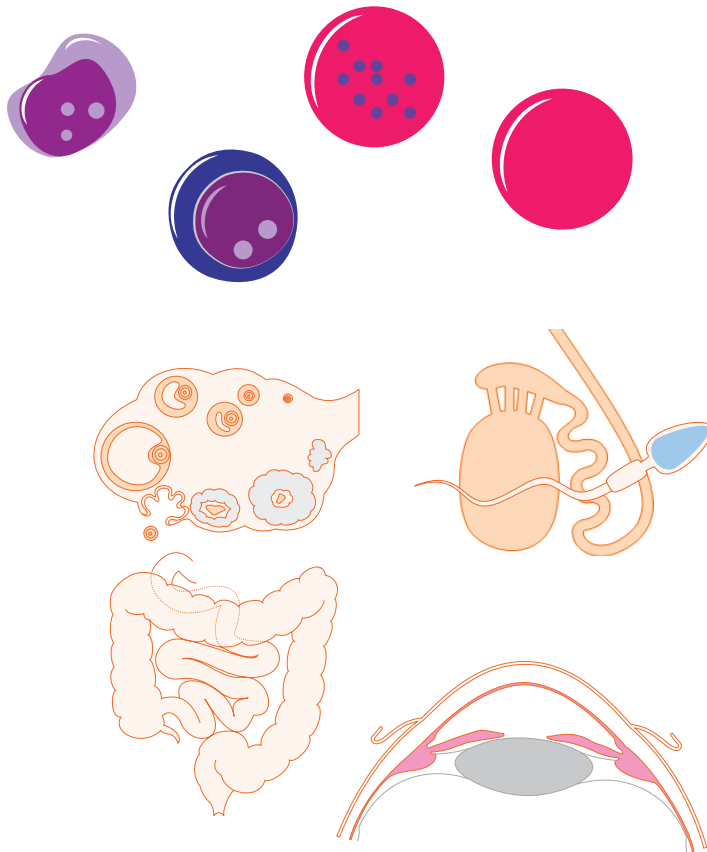
体系データのもと



作成した体系データ



放射線感受性の高い組織



リンパ組織

造血組織(骨髄):小核試験

生殖腺:精巣組織、精子の観察

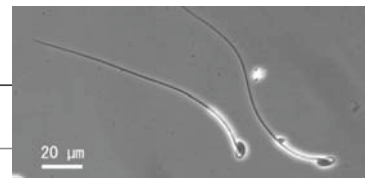
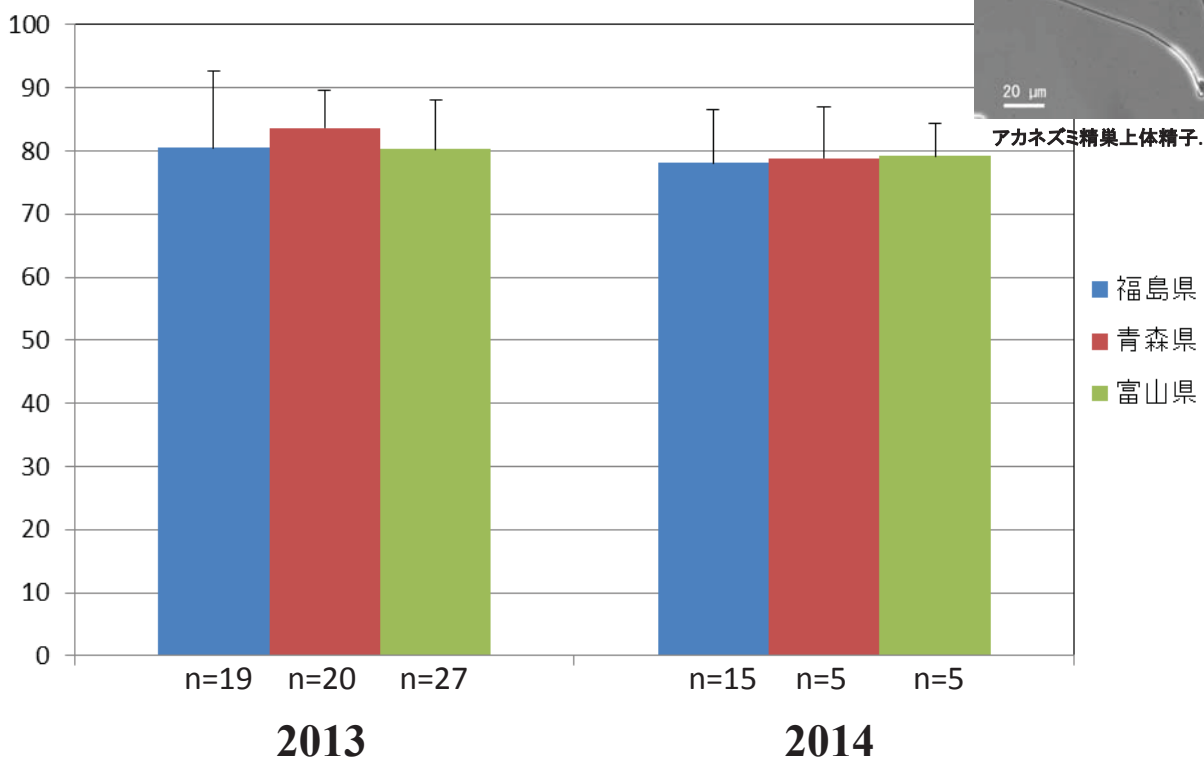
腸上皮

発育中の胎児

水晶体

11

アカネズミ精巣上体精子の正常精子率 (個体ごとに精子100個観察)



アカネズミ精巣上体精子. 位相差顕微鏡像.

「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26.9μGy/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(0.06μGy/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12.3μGy/h)、中線量地区I-2(空間線量5.3μGy/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。

被災アカネズミにおける精巣のEPMA分析

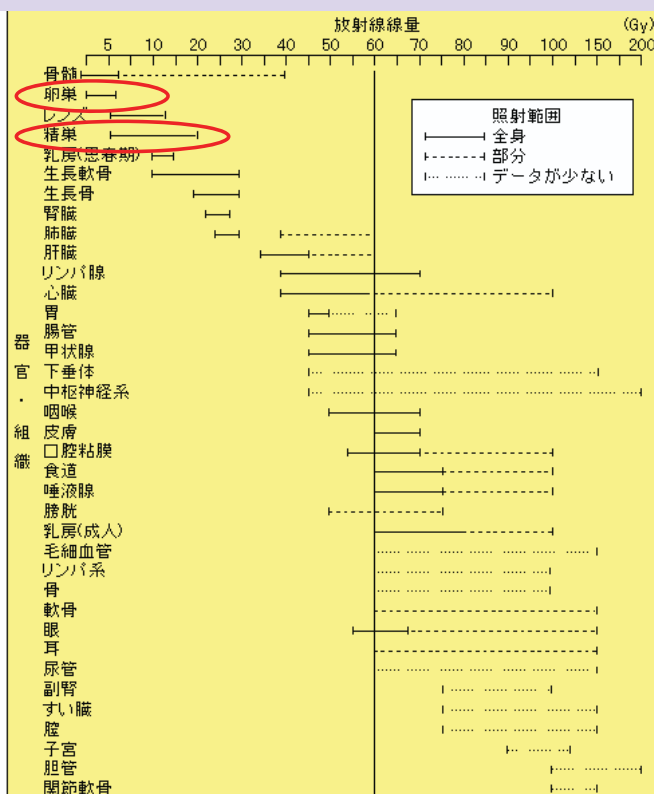


大平 拓也¹, 伊藤 洵¹, 藤嶋 洋平²,
山城 秀昭¹, 中田 章史³, 鈴木 正敏⁴, 有吉 健太郎⁵, 葛西 宏介²,
篠田 壽⁶, 三浦 富智², 福本 学⁷

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

背景

生殖器官および生殖細胞に対する放射性物質の影響



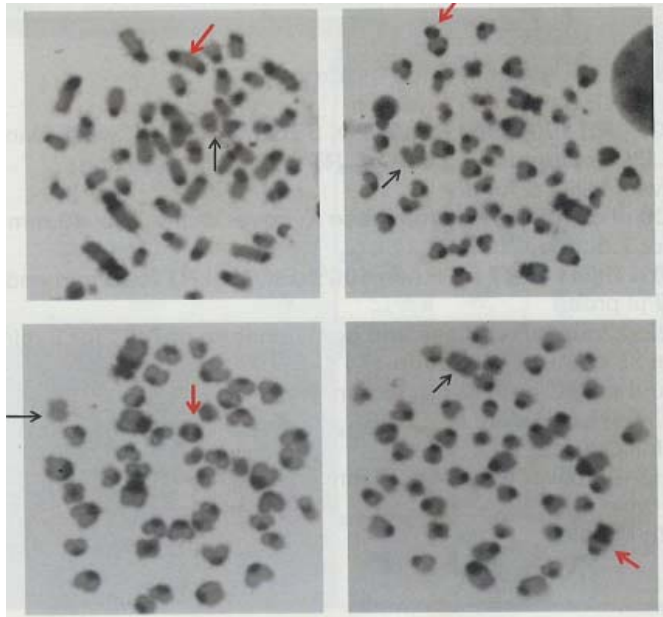
唯一、次世代を生産可能にする生殖細胞は、生殖器官である精巣および卵巣で増殖・分化・生産される。

しかし、それら生殖器官は、放射性物質に対する感受性が他の臓器に比較して高い器官であることが知られている。

(青山 喬(編):放射線基礎医学, 1996年)

背景

福島におけるヒメネズミの放射性物質影響の報告



平成24年度 野生動植物への放射線影響に関する 意見交換会(環境省)

http://www.env.go.jp/jishin/monitoring/results_wl_d130314.pdf

Kubota et al., J Environ Radioact 2015; 142:124–31.

福島のアカネズミにおいて、二動原体染色体異常が認められたが、十分な解析量ではないため現時点で明確なことは言えないと報告された。

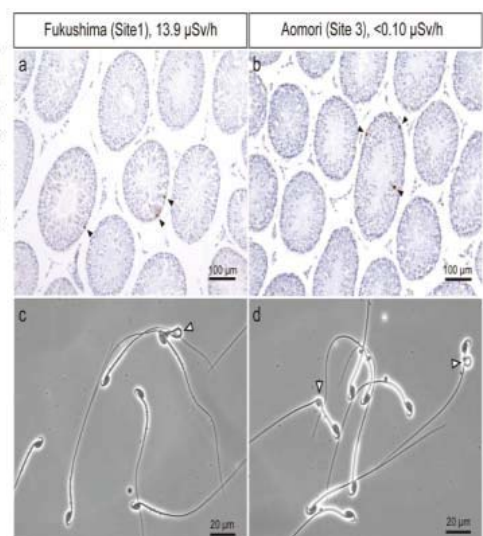
背景

福島におけるアカネズミの放射性物質影響の報告

(Bq/kg wet weight)	2013			2014		
	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	n	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	n
Site 1 (Fukushima)	2,326 (1,771–4,137)	4,331 (3,335–7,806)	12	4,770 (1,140–12,907)	12,312 (2,874–40,131)	10
Site 2 (Fukushima)	1,380 (882–1,766)	2,815 (1,632–3,761)	4	2,359 (954–8,480)	6,426 (2,456–21,738)	8
Site 3 (Aomori)	0 (0–11)	4 (0–21)	10	0 (0–0)	5 (3–8)	5
Site 4 (Toyama)	0 (0–0)	0 (0–3)	10	0 (0–0)	0 (0–6)	8

Table 3. The radioactivity concentrations of ¹³⁴Cs and ¹³⁷Cs in mice (*Apodemus speciosus*). Male adult mice in the breeding season (April and July–September) were used for the measurements. Values are presented as median (minimum–maximum). Values under the detection limits were treated as 0 Bq/kg.

(μSv/h)	2013	2014
Site 1 (Fukushima)	13.9 ± 4.2	12.7 ± 1.6
Site 2 (Fukushima)	4.9 ± 0.4	4.1 ± 0.6
Site 3 (Aomori)	<0.10 (natural background level)	
Site 4 (Toyama)		



122 mGy/Year

Okano et al., Scientific Reports, 6:23601, 2016

青森と福島のアカネズミの精巣の形態および精子の異常率は、差が認められなかった。

目的

生殖器官および生殖細胞に対する放射性物質の影響

福島第一原発事故により放出した放射性物質が、周辺地域に生息する野生ネズミに及ぼす影響は、複数の研究機関、放医研や国環研で現在調査中であり、未だ明確な結論は出されていない。



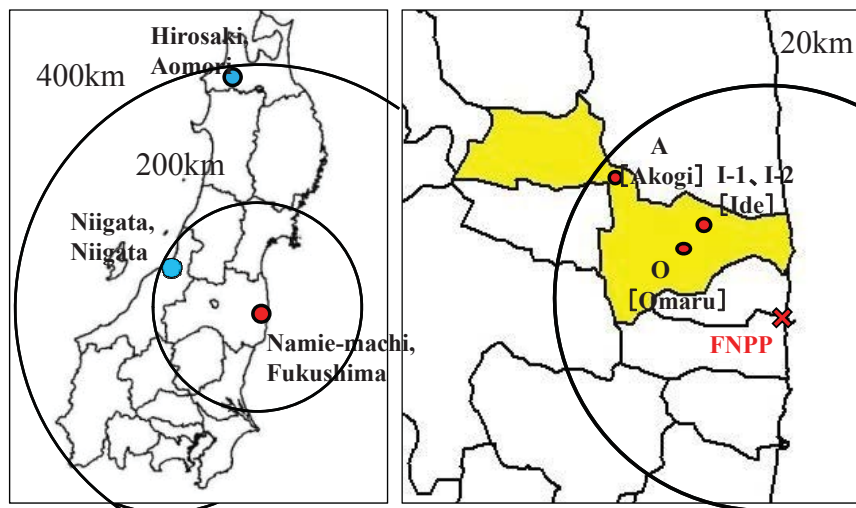
被災アカネズミにおける精巣切片の組織形態学的解析と電子線マイクロアナライザ(EPMA)による、微少領域における元素の定性分析およびCsのマッピング解析を目的とした。

材料

アカネズミ採材、サンプリング

被災アカネズミは、2012年11月と2013年4月、2016年4月にシャーマントラップを用いて捕獲した。

捕獲個体は、体長、体重を計測した後、精巣を摘出した。



材料

個体情報

高線量地区		中線量地区				
コントロール						
Seq	捕獲日	解剖日	場所	体重	全長	
150	2012/5/29	2012/5/29	坂元	36.96		
2721	2015/11/20	2015/11/20	角田	34.15		
2811	2016/4/18	2016/4/18	角田	42.75		
解析区						
Seq	捕獲日	解剖日	場所	体重	全長	線量
215	2012/11/6	2012/11/6	赤宇木	23.53	189	26.9 μ Gy/h
260	2013/4/19	2013/4/19	赤宇木	32.42	195	15.2 μ Gy/h
572	2016/4/12	2016/4/12	小丸	36.21	202	12.3 μ Gy/h
575	2016/4/13	2016/4/13	小丸	29.17	204	12.3 μ Gy/h
590	2016/4/14	2016/4/14	小丸	10.81	145	12.3 μ Gy/h
594	2016/4/15	2016/4/15	小丸	28.08	215	12.3 μ Gy/h
595	2016/4/16	2016/4/16	小丸	44.45	248	12.3 μ Gy/h
257	2013/4/19	2013/4/19	井出	30.2	295	16.4 μ Gy/h
596	2016/4/14	2016/4/14	井出	50.09	245	5.3 μ Gy/h
597	2016/4/14	2016/4/14	井出	43.52	223	5.3 μ Gy/h



方法

分析条件

摘出した精巣は、ブアン液で固定、パラフィン包埋し、3 μ mの切片を作製した後に、H-E染色を施して精巣組織及び精細胞の分化の状況を観察した。

さらに、精巣切片はカーボンコーティングを施し、EPMAを用いて解析を行った。

分析条件

加速電圧	: 15 [kV]
ビーム電流	: 100.0 [nA]
ビームサイズ	: Min
計測モード	: ステージスキャン
分析領域	: 260 × 195 [μ m]
画像サイズ	: 868 × 649 [pixel]
測定ピッチ	: 0.3 [μ m]
積分時間	: 30.00 [ms/point]



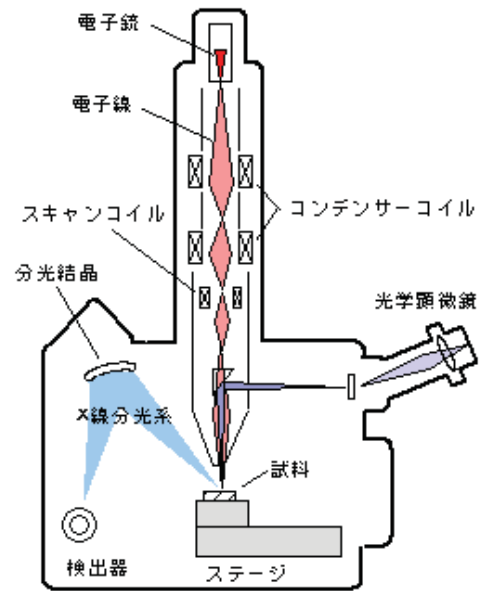
EPMAの原理

Electron Probe Microanalysis : 電子線マイクロアナライザ

絞った電子線を試料に照射し、発生した特性X線を捉えることにより微小部領域について様々な情報を得ることができる。

主な仕様	
分析元素範囲	${}^5\text{B} \sim {}^{92}\text{U}$
X線分光器数	WDX2~5チャンネル 及びEDXから選択
X線取り出し角度	52.5°
ローランド円半径	4インチ
電子光学系	
電子源	Wフィラメント/CeB ₆ カソード
二次電子像分解能	5nm
加速電圧	0~30kV(0.5kVステップ)
試料電流	$10^{-12}\text{A} \sim 10^{-5}\text{A}$
倍率	$\times 50 \sim \times 60,000$

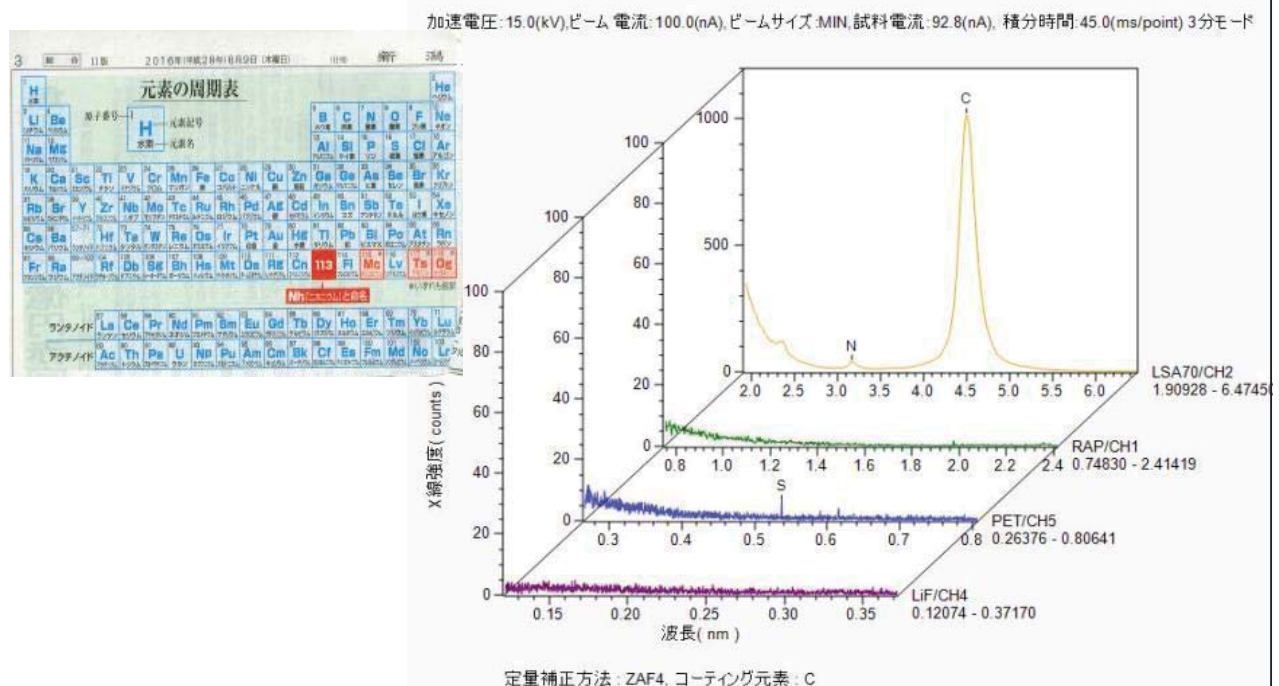
Shimadzu EPMA-1720



www.ube-ind.co.jp

方法

定性分析



実験1

事故後約1年8ヶ月と2年1ヶ月における野生アカネズミの個体情報

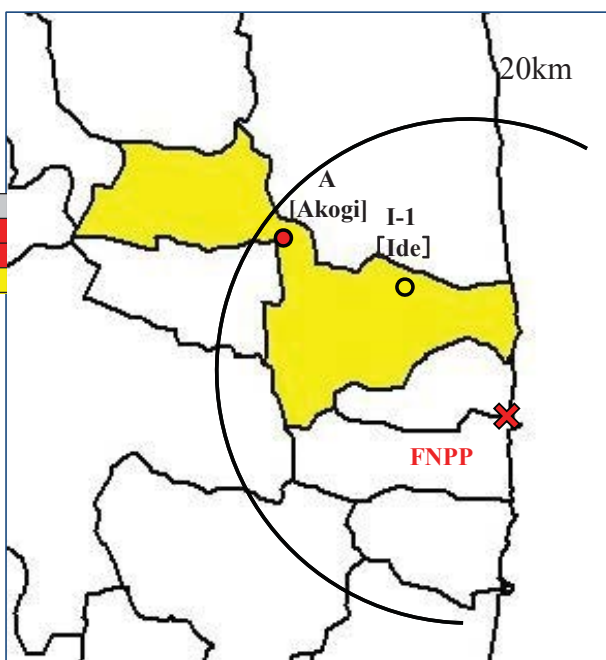
高線量地区 中線量地区

コントロール

Seq	捕獲日	解剖日	場所	体重	全長
150	2012/5/29	2012/5/29	坂元	36.96	

解析区

Seq	捕獲日	解剖日	場所	体重	全長	線量
215	2012/11/6	2012/11/6	赤字木	23.53	189	26.9 μ Gy/h
260	2013/4/19	2013/4/19	赤字木	32.42	195	15.2 μ Gy/h
257	2013/4/19	2013/4/19	井出	30.2	295	16.4 μ Gy/h



実験1: コントロール及び被災アカネズミ精果のEPMA解析

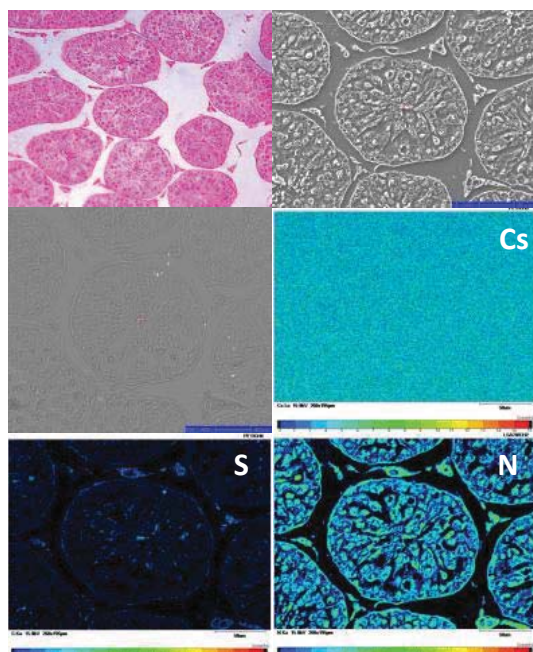
H-E染色像・実体顕微鏡像・反射電子組成像・マッピング解析

コントロール 坂元150

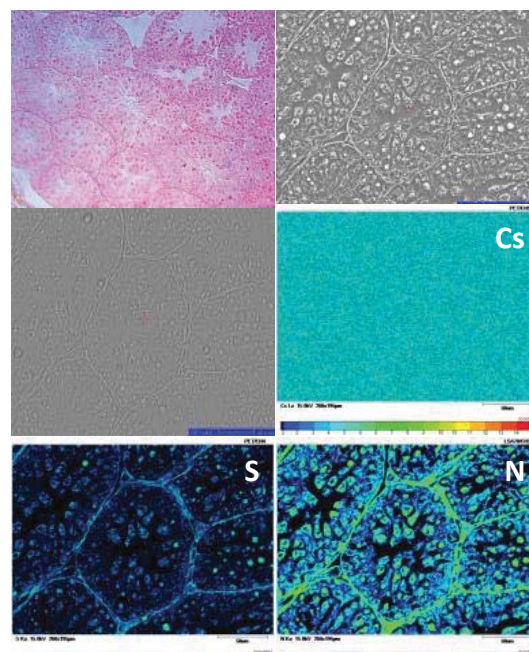
中線量地区 井出257

コントロール

坂元 150 (繁殖期)



井出257(移行期)



実験1:被災アカネズミ精巣のEPMA解析 H-E染色像・実体顕微鏡像・反射電子組成像・マッピング解析

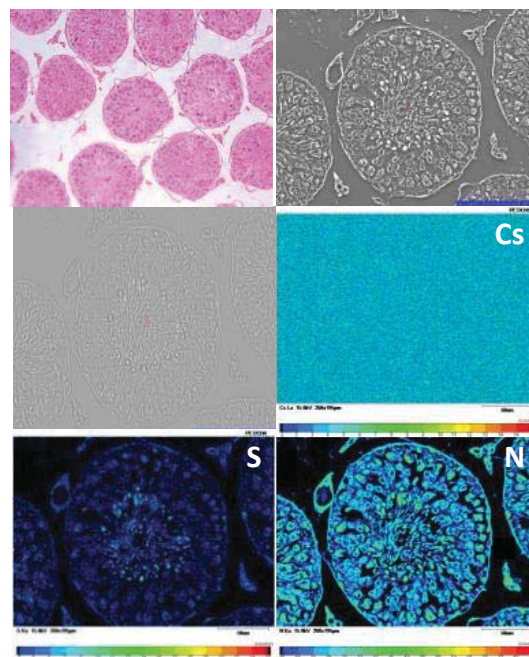
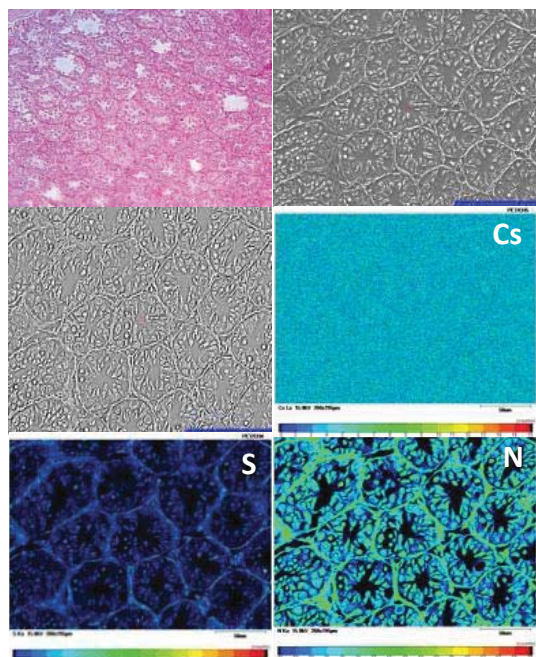
赤宇木215(非繁殖期)

高線量地区

赤宇木260(繁殖期)

赤宇木215

赤宇木260



実験2

事故後5年1ヶ月における野生アカネズミの個体情報

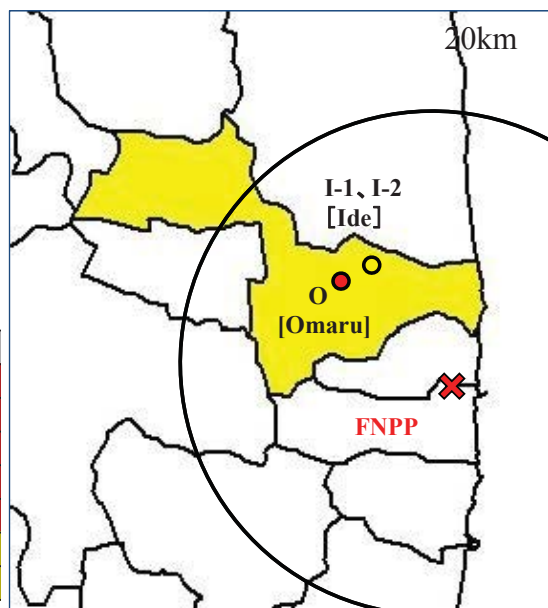
高線量地区 中線量地区

コントロール

Seq	捕獲日	解剖日	場所	体重	全長
2811	2016/4/18	2016/4/18	角戸	42.75	223
2721	2015/11/20	2015/11/20	角戸	34.15	207

解析区

Seq	捕獲日	解剖日	場所	体重	全長	線量
572	2016/4/12	2016/4/12	小丸	36.21	202	12.3 μ Gy/h
575	2016/4/12	2016/4/12	小丸	29.17	204	12.3 μ Gy/h
590	2016/4/13	2016/4/13	小丸	10.81	145	12.3 μ Gy/h
594	2016/4/14	2016/4/14	小丸	28.08	215	12.3 μ Gy/h
595	2016/4/14	2016/4/14	小丸	44.45	248	12.3 μ Gy/h
596	2016/4/14	2016/4/14	井出	50.09	245	5.3 μ Gy/h
597	2016/4/14	2016/4/14	井出	43.52	223	5.3 μ Gy/h



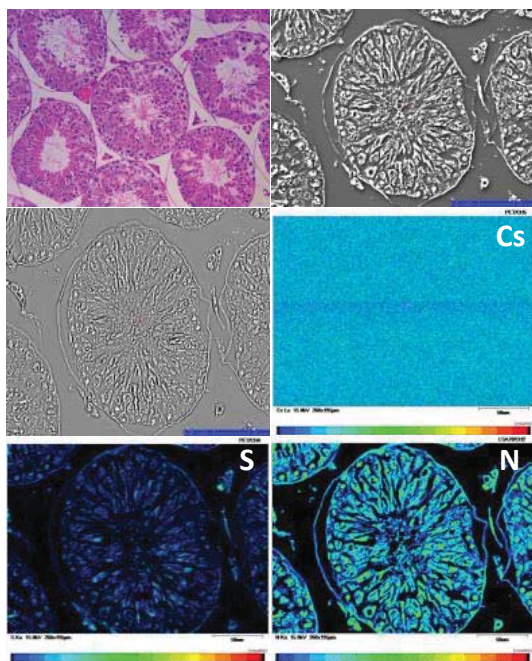
実験2 : コントロール精巢のEPMA解析 H-E染色像・実体顕微鏡像・反射電子組成像・マッピング解析

新潟2811(繁殖期)

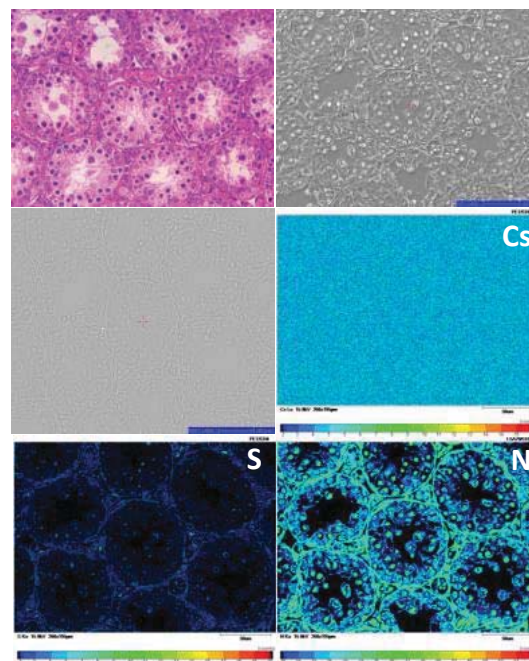
コントロール

新潟2721(移行期)

新潟2811



新潟2721



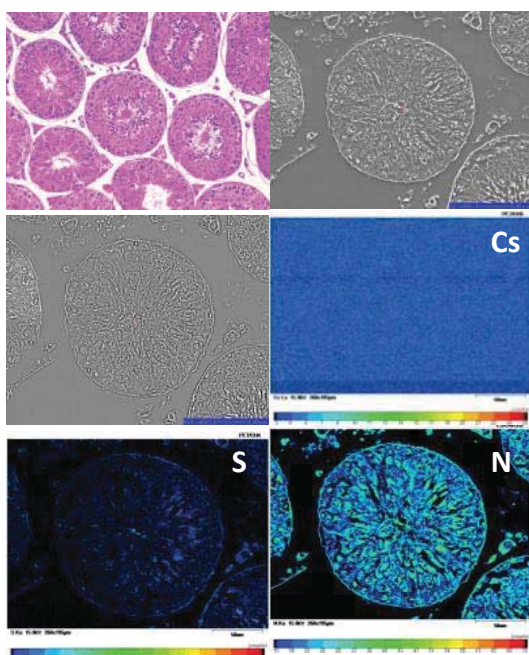
実験2 : 被災アカネズミ精巢のEPMA解析 H-E染色像・実体顕微鏡像・反射電子組成像・マッピング解析

井手596(繁殖期)

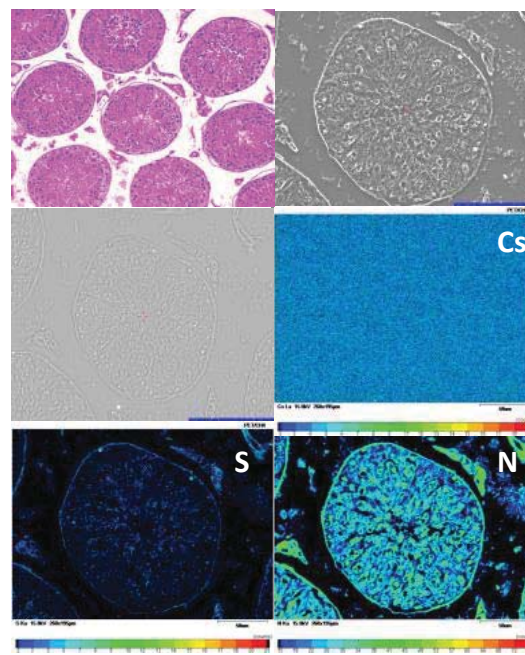
中線量地区

井手597(繁殖期)

井手596

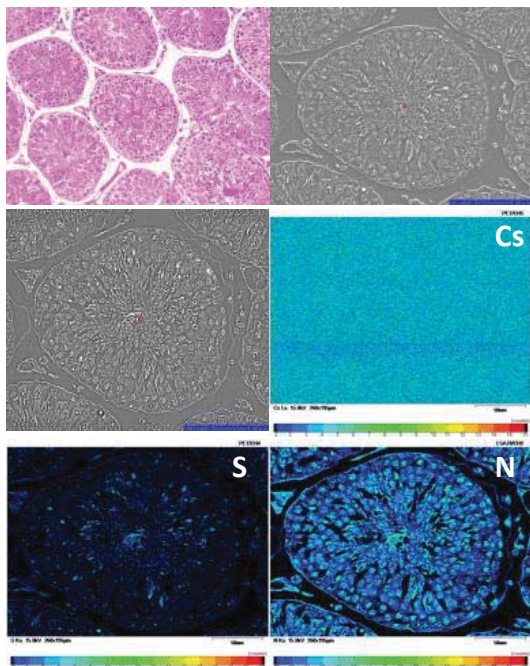


井手597

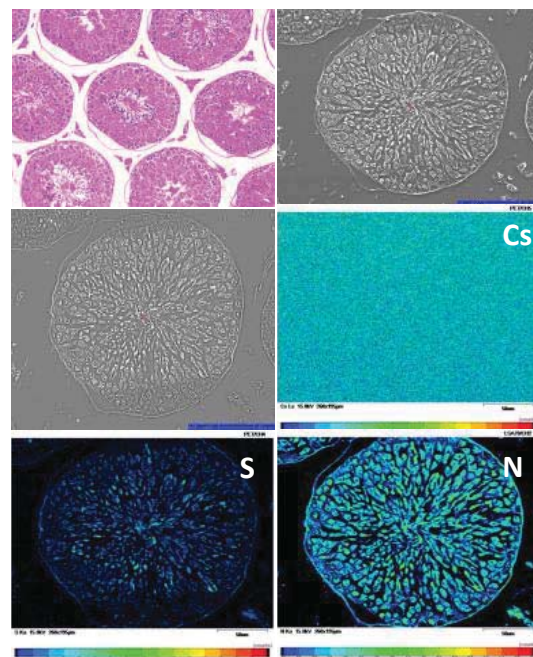


実験2:被災アカネズミ精巣のEPMA解析
H-E染色像・実体顕微鏡像・反射電子組成像・マッピング解析
: 小丸572(繁殖期) 高線量地区 小丸595(繁殖期)

小丸572

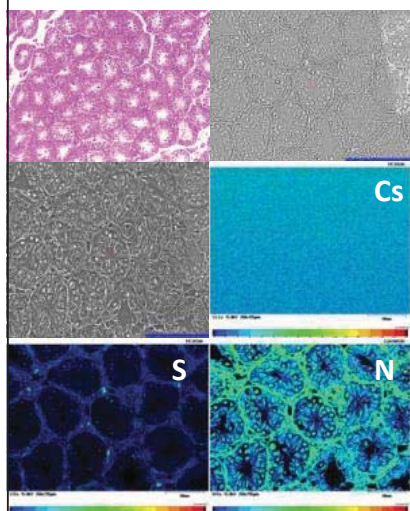


小丸595

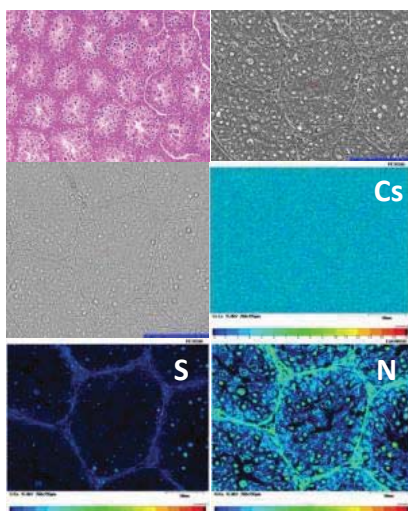


実験2:被災アカネズミ精巣のEPMA解析
H-E染色像・実体顕微鏡像・反射電子組成像・マッピング解析
高線量地区

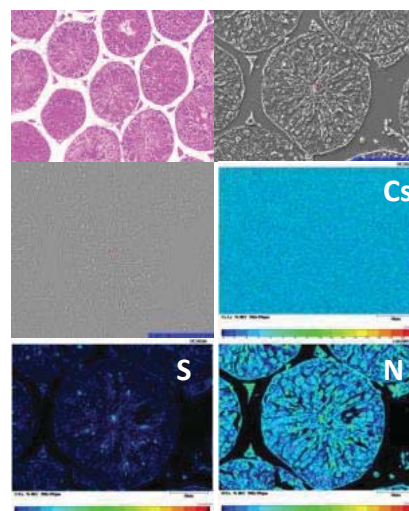
小丸575(非繁殖期)



小丸594(移行期)



小丸590

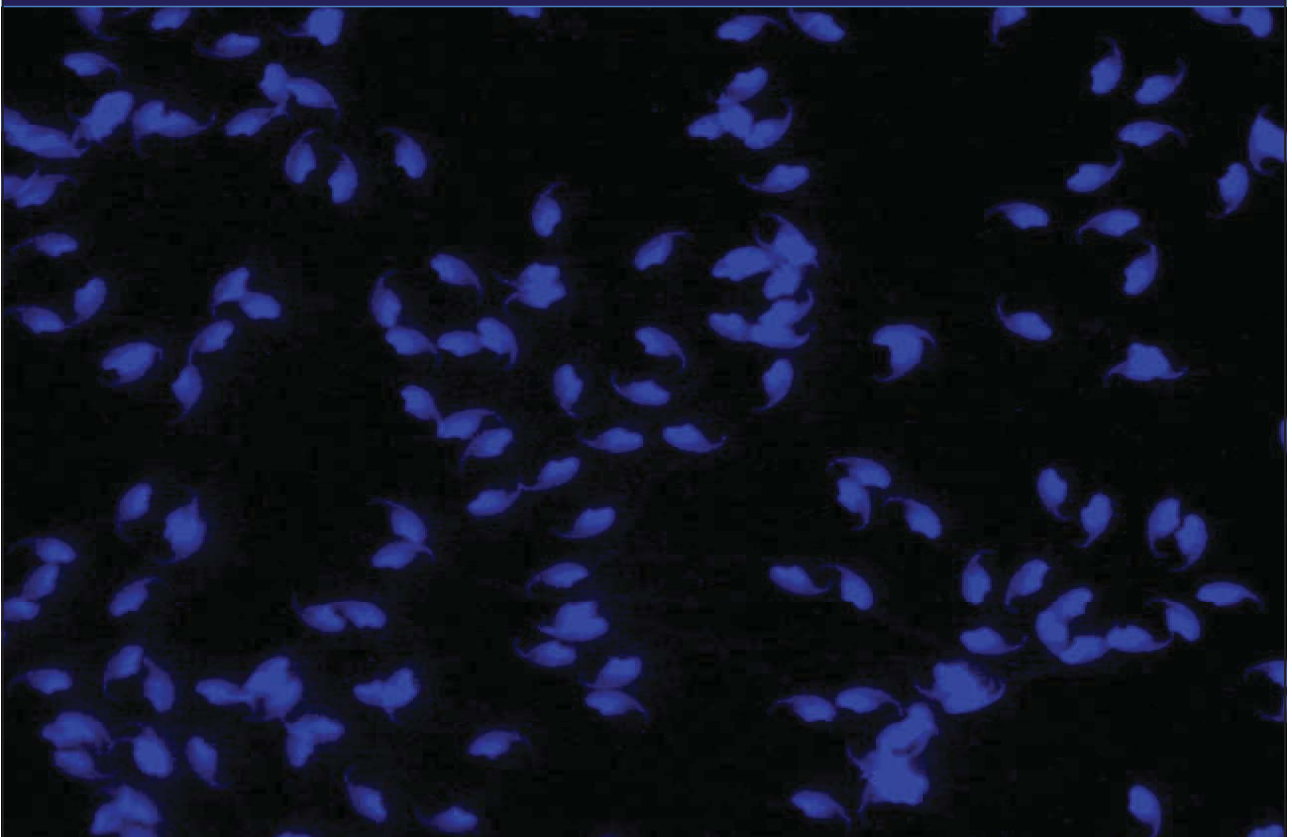


まとめ

- ・被災アカネズミ精巢のHE染色像においては、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、精巢切片にはS、Nの元素が多く検出された。
- ・EPMAにてマッピング解析を行った結果、いずれの精巢においてもCsは検出されなかった。

福島第一原発事故後1年8ヶ月、2年1ヶ月、及び5年1ヶ月に捕獲した被災アカネズミの精子形成・退行に異常は認められず、精巢切片におけるCsの分布は、明らかにされる濃度ではなかった。

予備実験：精子核染色画像



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。

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

(森林総合研究所野生動物研究領域 ¹鳥獣生態研究室, ²東北支所)



京都大学原子炉実験所専門研究会「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」
日時 2016年8月3-4日
場所 京都大学原子炉実験所 590-0494 大阪府泉南郡熊取町

森林に普通に生息
→ 他地点との比較が容易

雑食性(ドングリ・種子・昆虫・ミミズなど)

地表性・地中生活者



はさまざまな動物の餌になっている(食肉類, 猛禽類)。

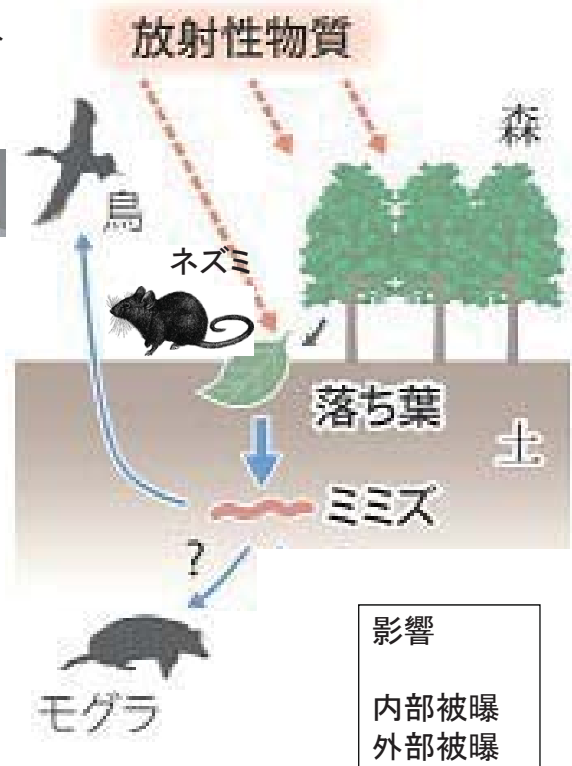
耕作放棄地の森林化でアカネズミの分布拡大が予想



線量評価, 核種移行データ把握

個体や個体群への影響把握
(致死, 健康状態の低下, 遺伝的影響, 繁殖力低下)

なぜノネズミ類・食虫類?



調査地

高線量地

福島県飯館村(飯館調査地)

空間線量 7-10 uSv/hr

調査期間 2012年-

中線量地

福島県川内村(川内調査地)

空間線量 3.6 uSv/hr

調査期間 2011年-

低線量地

茨城県北茨城市(小川調査地)

空間線量 0.2uSv/hr

調査期間 2011年-



材料と方法

1. ネズミ・食虫類の捕獲

解剖, 計測(齢査定)

2. サンプル採取

・放射性物質用検体仕分け(毛皮, 筋肉(骨格含む), 内蔵)

・その他(血液・尿サンプルなど)の採取

・空間線量測定

3. 放射能測定

・前処理: 灰化処理(放射能測定法シリーズ13に準じて実施)

・測定: U8容器内の検体をゲルマニウム半導体検出器で10時間(最大)

4. ・窒素・炭素安定同位体比分析
胃の筋肉で分析



①検体
検体(ネズミ・食虫類)は臭いが感じられる。はきみで顔を隠し、約15gを200mLのボトル・ビーカーに採取。ボトル・ビーカーにふたをして灰化。



はきみによる焼却



灰化後状態

②硝酸ナトリウム添加
・灰化試料に硝酸ナトリウムを添加し、均一化を図る。
・原重量の1.5倍量の硝酸ナトリウム添加で均一化が難しい場合は、2倍量を加える(0.5倍量追加)
・硝酸ナトリウムの量が多すぎると均一化が難しくなる。
・試料のサイズによって、最適な硝酸ナトリウムの量は異なる。
・均一化後、U8容器に充填する。

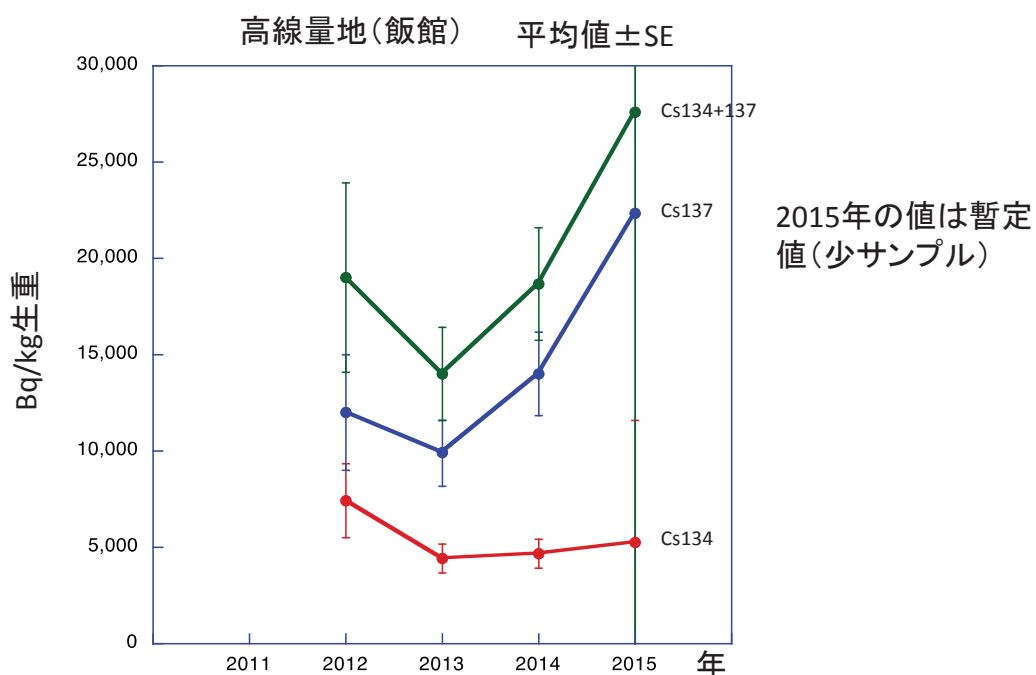


硝酸Na添加による均一化試料



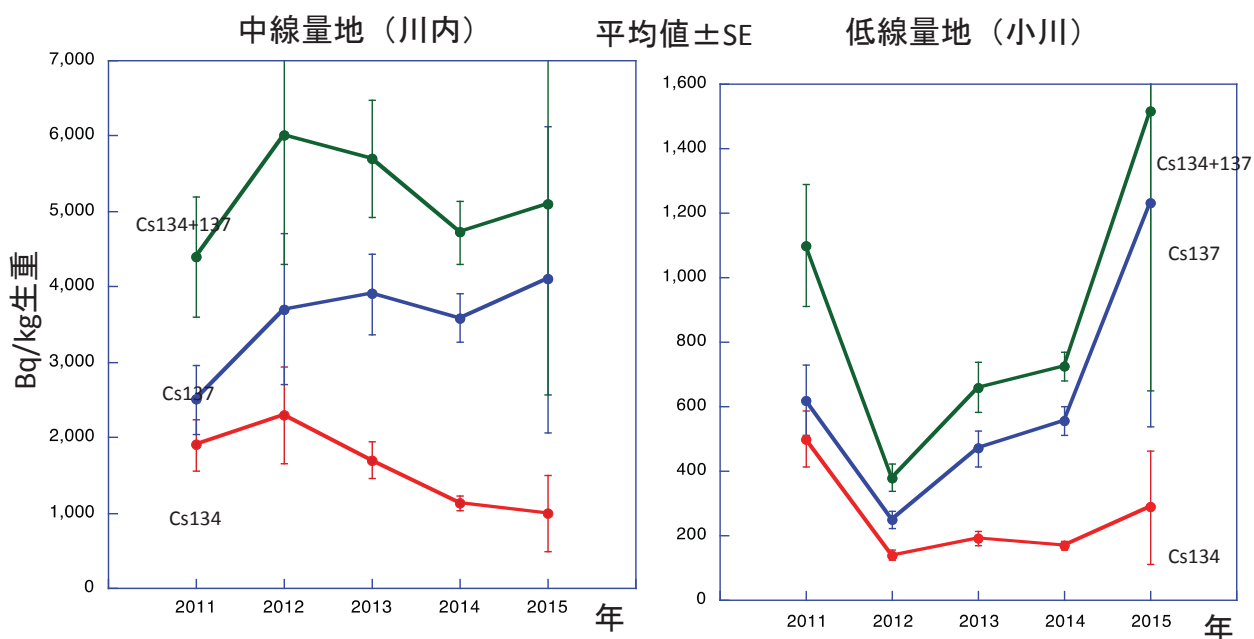
灰化試料: 灰化後ネズミ・食虫類Na

アカネズミの筋肉中(骨格含む)の放射性セシウムの平均濃度の経年変化



放射性セシウム134は物理的減衰で減少
放射性セシウム137は増加
高線量地では、経年変化に差がないが、やや増加

アカネズミの筋肉中(骨格含む)の放射性セシウムの平均濃度の経年変化



放射性セシウム134は物理的減衰で減少
放射性セシウム137は増加
中線量地では、経年変化に差がない。
低線量地では、やや増加

まとめと今後

体内濃度の経年変化

経年変化に差がないが、やや増加 生息環境ではリターで減少、土壌で変化はない。

餌との関係

汚染度の高いものを食べると濃度高まり、汚染度低いものを食べると濃度低まると予想。

小型哺乳類

ノネズミ類では、ヤチネズミの濃度が高い。アカネズミとヒメネズミは同程度。食虫類では、ヒミズがアカネズミと同程度。アズマモグラは低い。

今後のデータ整理を行い公表に努める。

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。

福島県内野生ニホンザルへの被ばく影響評価

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

¹量研機構放医研、²東北大、³東北医科薬科大、⁴日本電気株式会社、
⁵新潟大、⁶東京医科大

野生ニホンザルのサンプリング



提供：JAふくしま未来今野文治

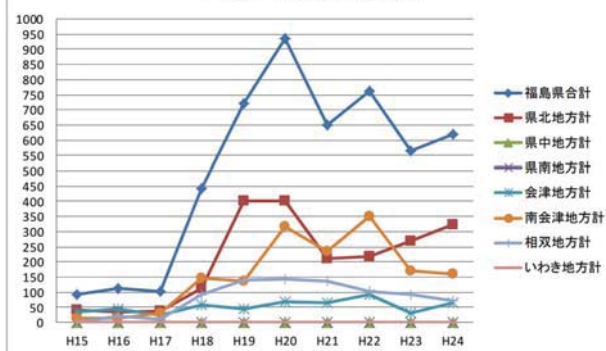
ニホンザルは野生霊長類として東北地方に広く生息
→ 原発事故により被災した動物の中でヒトに最も近い

ニホンザル保護管理計画を基にした頭数調整の実施
→ 個体群および群れ分布の把握
→ 捕獲場所情報管理
→ 長期的な検体数の確保

福島県内各地域個体群および群れ分布図
(平成24年度)



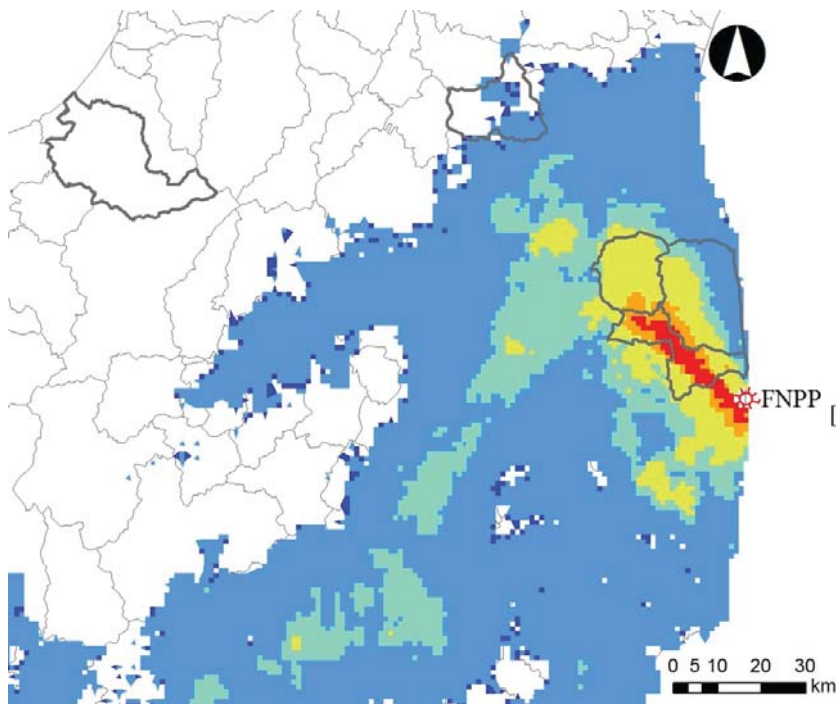
ニホンザル捕獲数推移



福島県(2015):ニホンザル保護管理計画(第2期計画)より引用

サンプリング頭数

事故由来放射性セシウムによる空間線量率マップ
(2013/3/11)



サンプリング頭数
(2012/3/17 ~ 2016/7/20)

捕獲場所	頭数
福島県	255
宮城県	72
新潟県	12
動物実験施設	16
	355

発表内容

放射性セシウムの体内分布

- ・臓器、筋肉、抹消血中Cs-137の相対濃度
- ・授乳中母サルと仔ザルのCs-137濃度比較

造血機能への影響評価

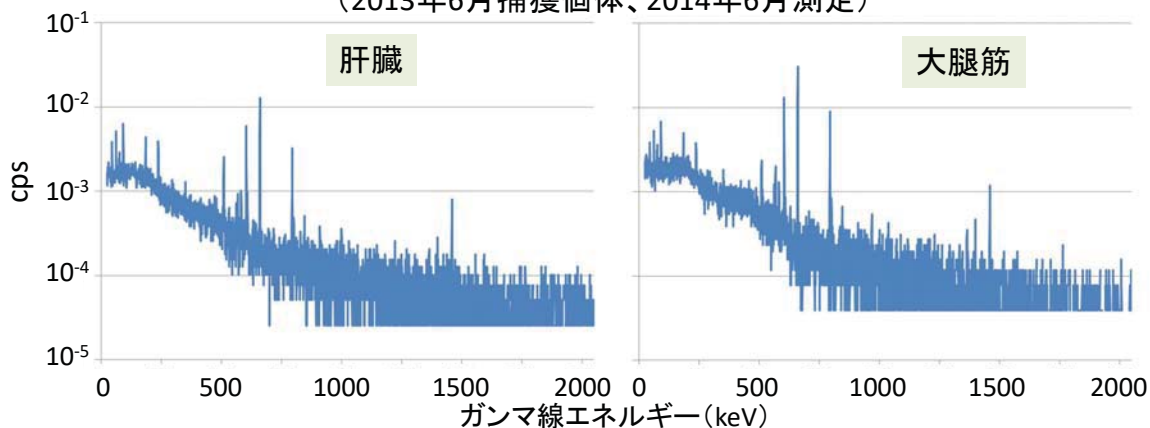
- ・末梢血中血球数の解析
- ・骨髓中細胞数の解析

サンプリング部位と放射能濃度測定

サンプリング部位

筋組織	大腿筋	最長筋	咬筋	舌	横隔膜	心臓	
その他組織	腎臓	脾臓	膵臓	肺	肝臓	脳	皮膚
	顎下腺	胸腺	甲状腺	副腎			
生殖組織	精巣	精囊	子宮	(卵巣)			
消化管	胃	小腸	大腸	膀胱			
体液	末梢血	胆汁	羊水				

Ge半導体検出器による放射能濃度測定
(2013年6月捕獲個体、2014年6月測定)



母ザル、仔ザル間のCs-137濃度比較



メスは5-7歳で性成熟
秋季から冬季に交尾
妊娠期間は161 - 186日
春季から夏季に出産
授乳期間は11 - 18か月

355頭のうち、同日に同群(同捕獲場所)のニホンザルが複数頭捕獲された例は21例

母ザル × 仔ザル(生後1年未満) 7例
母ザル × 仔ザル(生後1 - 2年) 5例
その他* 9例

➡ 大腿筋中放射性セシウム濃度の比較

*その他には兄弟ザルや両ザルともに3歳以上の個体を含む

まとめー1

放射性セシウムの体内分布

・臓器、筋肉、抹消血中Cs-137の相対濃度

ニホンザルにおいて骨格筋中Cs-137濃度が最も高く、筋肉以外でCs-137濃度の高い組織が存在する

生物種ごとのCs-137相対濃度の比較では、同等の相対濃度を示す組織も存在するが、生物種によって相対濃度の異なる組織も存在する

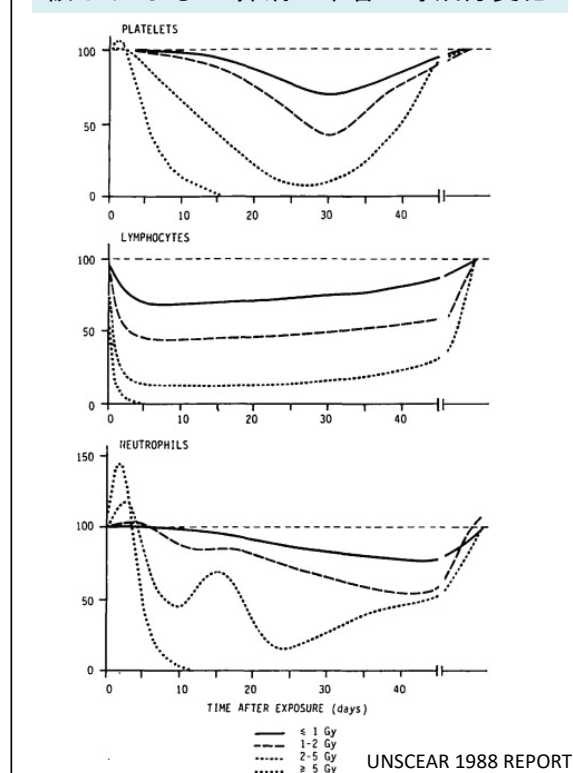
➡ カリウム濃度測定
胃腸内容物、尿の測定からセシウム取り込み、排出量を算出

・授乳中母サルと仔ザルのCs-137濃度比較

➡ 大腿筋以外の組織について比較
胎仔と母ザルのCs-137比について解析

造血機能への影響評価

被ばくによるヒト抹消血中各血球成分変化



全身被ばくによる臨床症状

組織	影響	急性被ばくのしきい線量 (Gy)
精巣	一時不妊	0.15
	永久不妊	3.5～6
卵巣	一時不妊	0.65～1.5
	永久不妊	2.5～6
水晶体	水晶体混濁	0.5～2
	白内障	2～10
骨髄	機能低下	0.5(全骨髄被ばく)
皮膚	紅斑・乾燥皮膚炎	5(広範囲被ばく)
胎児	奇形	0.1

窪田宜夫ほか「放射線生物学」より引用、改変

造血組織(骨髄)は、
放射線感受性が高い

造血機能への影響評価

SCIENTIFIC
REPORTS

OPEN

Low blood cell counts in wild Japanese monkeys after the Fukushima Daiichi nuclear disaster

Kazuhiko Ochiai¹, Shin-ichi Hayama¹, Sachie Nakiri¹, Setsuko Nakanishi², Naomi Ishii¹, Taiki Uno¹, Takuya Kato¹, Fumiharu Kanno³, Yoshi Kawamoto⁴, Shuichi Tsuchida¹ & Toshinori Omi¹

SUBJECT AREAS:
RISK FACTORS
ENVIRONMENTAL SCIENCES

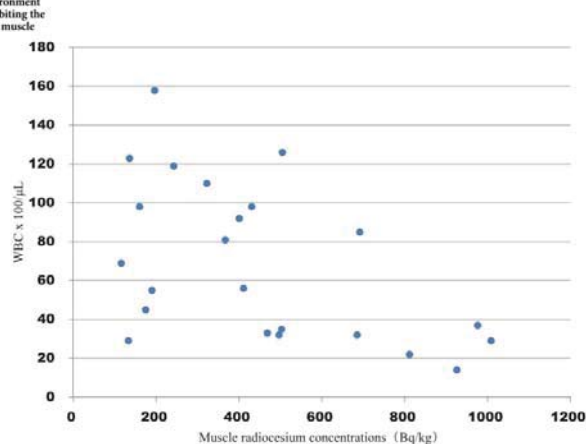
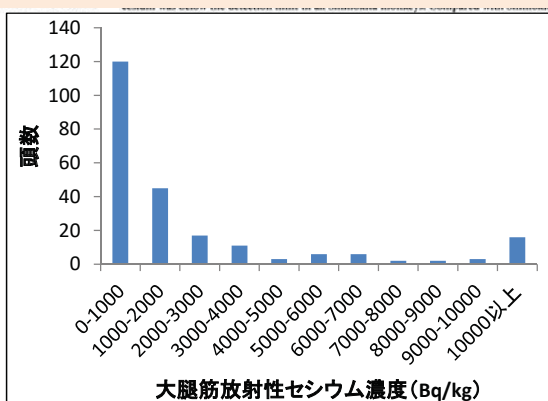
Received
6 February 2014

Accepted
24 June 2014

Published
24 July 2014

In April 2012 we carried out a 1-year hematological study on a population of wild Japanese monkeys inhabiting the forest area of Fukushima City. This area is located 70 km from the Fukushima Daiichi

捕獲個体の筋肉中放射性セシウム濃度



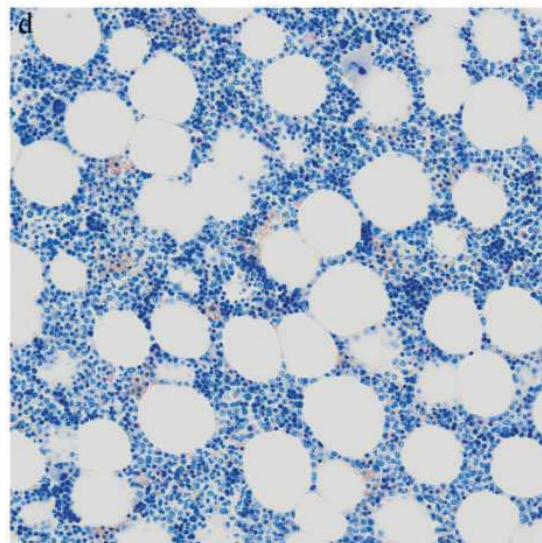
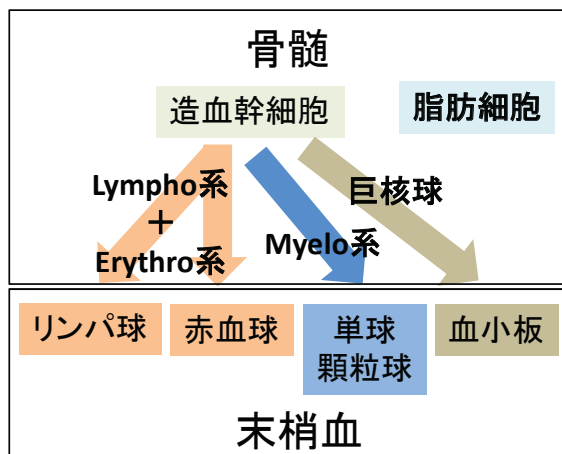
野生ニホンザルの大腿骨中骨髓細胞の解析

2013年度の冬季に捕獲されたニホンザル18頭

2-3歳の幼獣 9頭

7-10歳の成獣 9頭

ニホンザル大腿骨髓メイギムザ染色画像



まとめ-2

造血機能への影響評価

・末梢血中血球数の解析

2013-2014年に捕獲されたニホンザルでは成獣、幼獣ともに末梢血液成分は筋肉中放射性セシウム濃度との顕著な相関がみられない

・骨髄中細胞数の解析

2013年度の冬季に捕獲された成獣9頭の解析において、筋肉中放射性セシウム濃度と相関を示す項目があった

継続調査

➡ 他の解析方法による検証（染色体解析、CFUアッセイ、放射線感受性試験）
内部、外部線量評価

本研究にご協力いただいた以下の方々に御礼申し上げます。

サル検体提供

南相馬市議会議員
南相馬市 経済部 農政課
南相馬市 鹿島区 産業建設課
JA新ふくしま農業協同組合 危機管理センター
浪江町 産業・賠償対策課
飯舘村 前田行政区
新潟県 新発田市 環境衛生課

大山 弘一
桃井 保典、佐藤 和身
渡部 利幸
今野 文治
志賀 隆寿、志賀 貴光
長谷川 健一

（敬称略）

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る。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変が認められ、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。

放射能汚染地域に生息するコイの健康調査2013-2015

鈴木 譲

東京大学名誉教授（元農学生命科学研究科附属水産実験所）



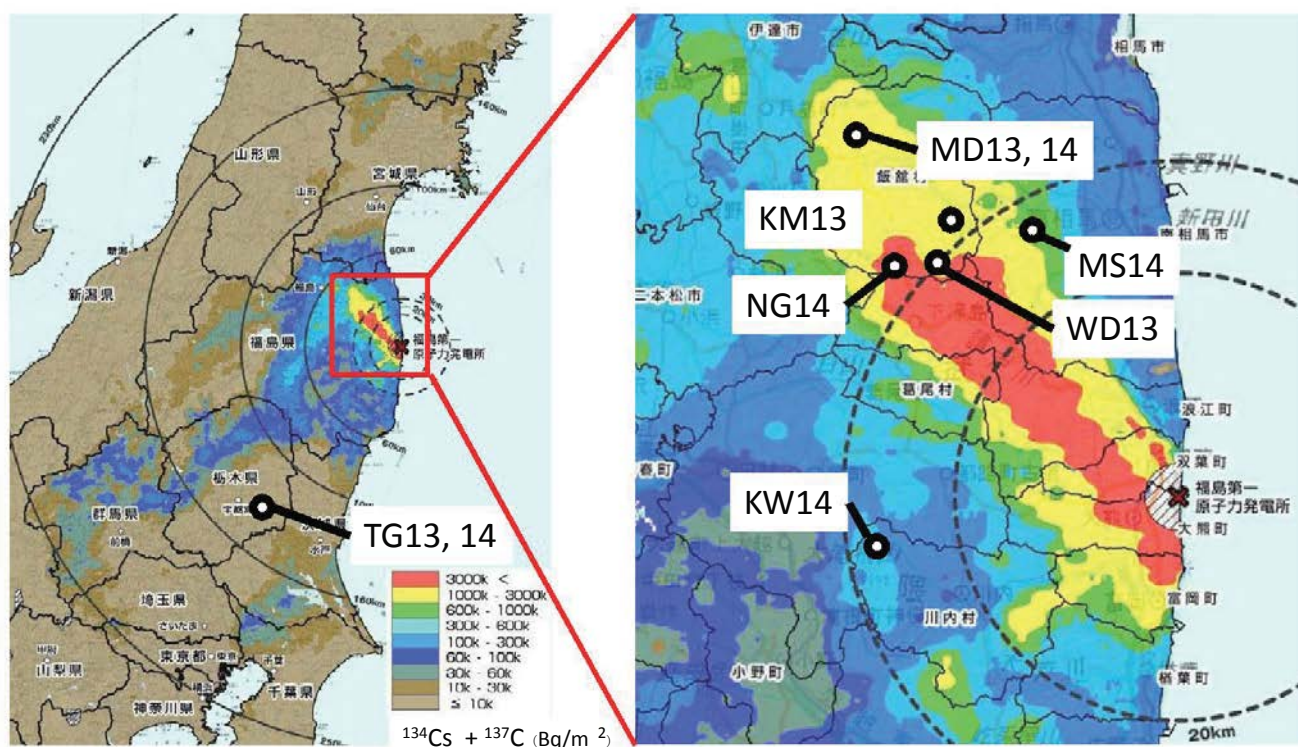
私の調査。福島事故後、ため池に閉じ込められたままのコイなら、生育条件も均質であり、放射線の影響を適切に評価できるはず。殺して切り刻んでも誰も文句をいわない。



予備知識もないままに、免疫系への影響を調べることにした。

調査地の状況と調査方法 2013年，2014年

調査地点とセシウム沈着量 (2011年11月5日の値に換算)



MD13, 14 : 飯舘村前田
NG14 : 飯舘村長泥
TG13,14: 栃木県芳賀町

KM13 : 飯舘村小宮
MS14 : 南相馬市原町区

WD13: 飯舘村蕨平
KW14 : 川内村

調査方法 ー 現場での作業



採集風景（南相馬）



採血し解剖

1. コイを4～5尾釣り上げる.
2. 血液性状検査： 魚を麻酔してヘパリン処理注射器で採血
 - ・ 血液を希釈し，血球計算盤上で顕微鏡観察し，赤血球数を算定する.
 - ・ スライドグラスに血液を薄く塗布した塗抹標本を作製する.
3. 組織学的検査： 魚を解剖して各組織を切り出し，ホルマリンで固定する.
4. 放射線量測定： 筋肉を切り出し，細かく切り刻む.

調査方法 ー ラボでの作業



組織薄切用マイクローム（東大水実）



ゲルマニウム半導体測定器（ちくりん舎）

2. 血液性状検査： 塗抹標本にMay-Grunwald Giemsa染色を施して顕微鏡で観察し，各白血球数を算出する.
3. ホルマリン固定した組織をパラフィンに包埋した後，マイクロームで厚さ $5\mu\text{m}$ の切片を作製し，H.E染色を施して顕微鏡で観察する.
4. 放射線量測定： 筋肉サンプル中のセシウム量を測定する（NPO法人市民放射能監視センターちくりん舎に依頼）.

セシウム濃度測定結果のまとめ

調査地点	空間線量 (uSv)	筋肉中セシウム量 (Bq/kg)				底泥中 ¹³⁷ Cs Bq/kg乾重)
		個体数	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	Cs total	
2013年						
MD13	2.5	5	402	921	1323 ± 731	8200
KM13	2.5	4	1540	3493	5033 ± 1157	53000
WD13	3.6	5	1818	4168	5986 ± 2619	21000
TG13	0.04	4	3	10	13 ± 5.5	55
2014年						
MD14	1.5	5	100	328	438 ± 214	12000
NG14	3.3	5	306	1004	1310 ± 532	57000/66000
MS14	0.9	4	243	815	1058 ± 294	38000
KW14	0.2	5	21	69	90 ± 42	4100
TG14	0.03	5	-	6	6 ± 1	11

福島のため池底泥には大量のセシウムが長期にわたって堆積し，コイ筋肉中にも高濃度の放射性セシウムが蓄積していた。

免疫関連諸臓器に見られる組織学的変化は放射線の影響なのだろうか？

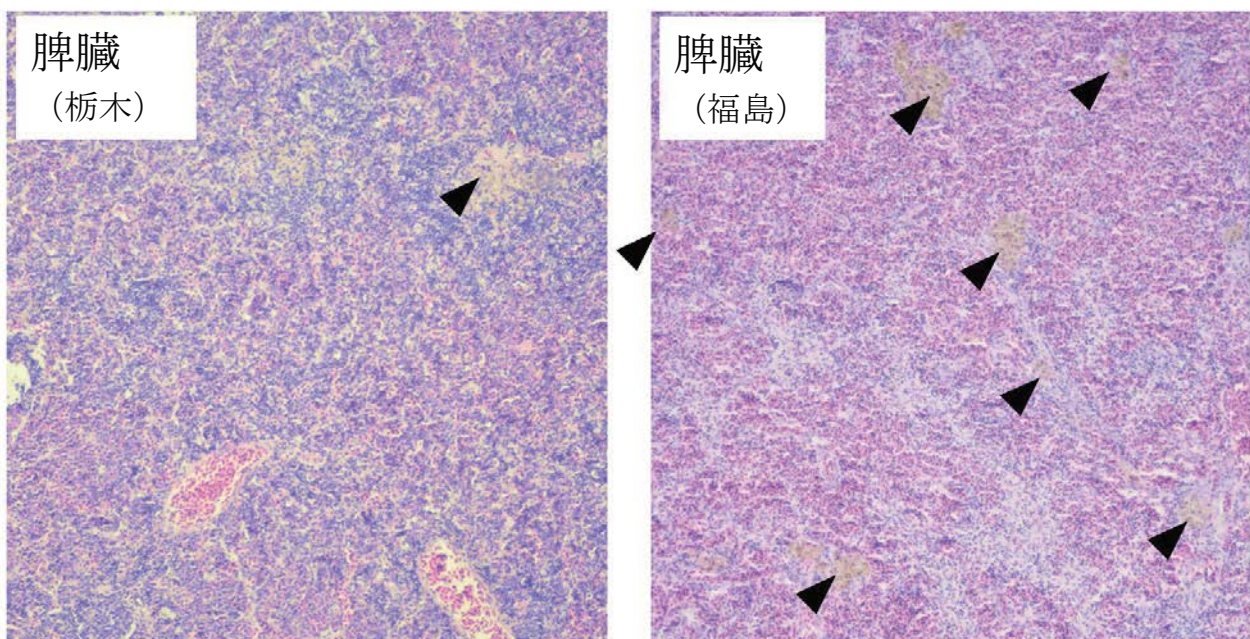
脾臓： 魚にはリンパ節がなく，脾臓が免疫応答の場となり，抗原情報に基づき抗体が産生される．血液中の異物も脾臓でトラップされて処理される．器官内に脾臓組織を併せ持つ．

頭腎： 腎臓の前方部分で，哺乳類の骨髄と同様，胸腺で作られるT細胞以外の血球産生が行われる．副腎組織も併せ持つ．

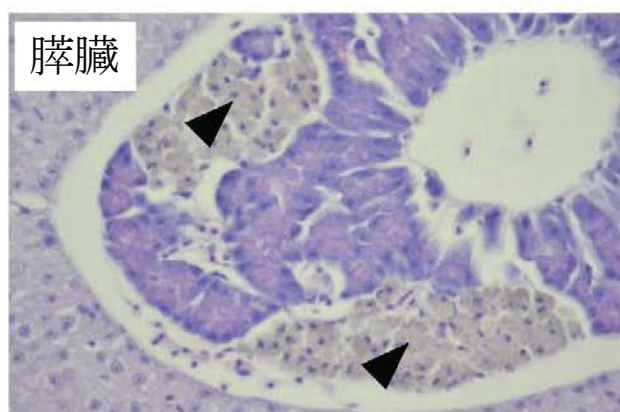
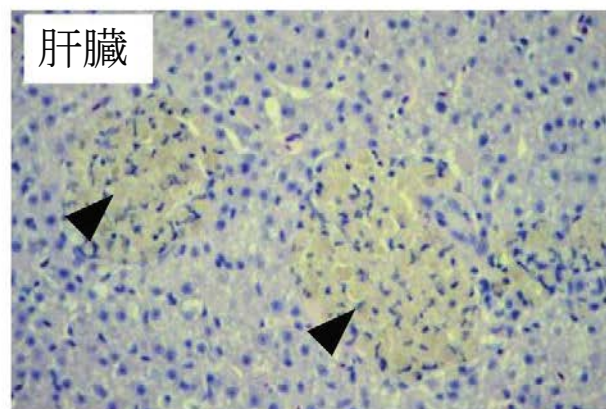
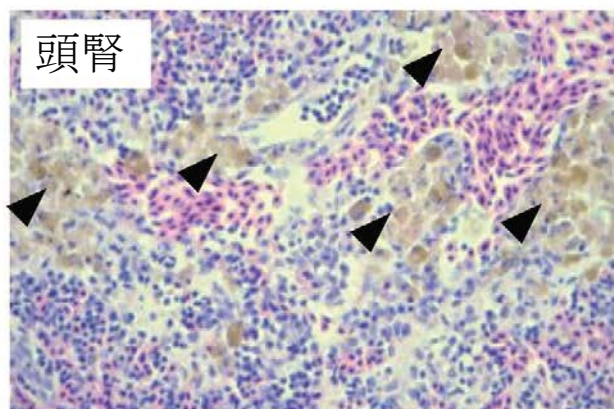
腎臓： 尿をつくる器官だが，頭腎同様に血球産生が行われる．

肝臓： さまざまな免疫関連分子を産生する．哺乳類と異なり，クッパー細胞は見当たらない．器官内に脾臓組織を併せ持つ．

福島のコイに見られたマクロファージの異常な増殖

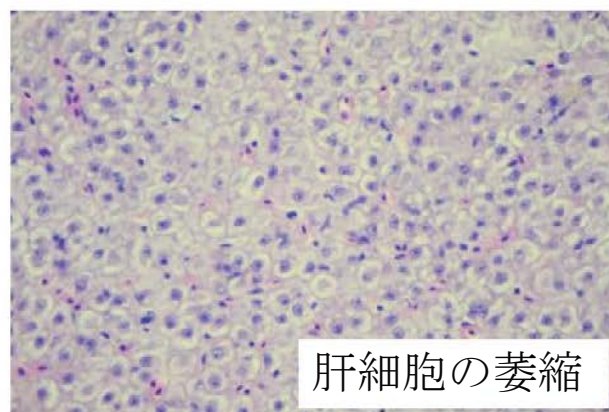
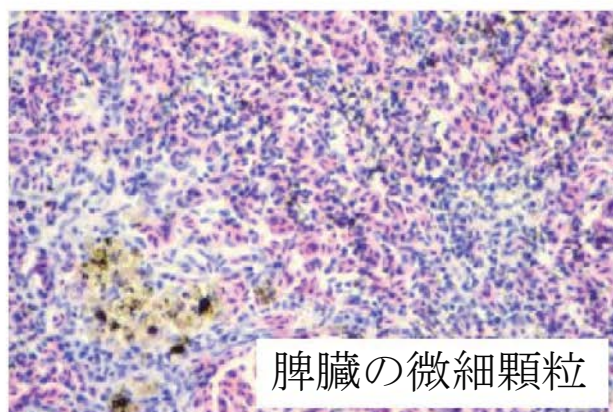


免疫応答の場である脾臓や造血器官の頭腎では，病原生物や不要な細胞を処理するマクロファージが集塊状のメラノマクロファージセンター（MMC：矢頭）を形成しているが，福島のコイでは異常に発達していた．MMCの異常な発達はヤマメでも観察されており（東北大・中嶋正道准教授），放射線の影響が強く疑われる．



MMCの異常な発達は脾臓や頭腎の他，通常は存在しない肝臓，脾臓でも認められた．放射線でダメージを受けた大量の細胞がマクロファージに取り込まれ，仮置き場のように保管されている像と推察される．

福島のコイに見られたその他の異常

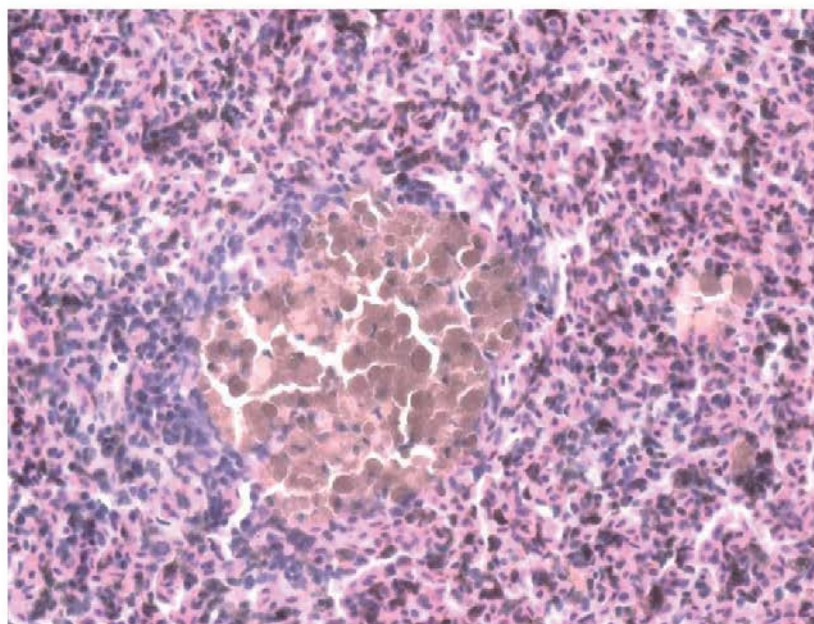


2013年，福島の一部の個体では脾臓に細胞外に微細な黒色顆粒が認められた．崩壊した細胞に由来するものと推察される．

また，一部の個体では肝細胞が円形に萎縮し，配列も乱れていた．

しかし，こうした変化はすべての個体に見られたわけではない．

ところが！2014年には栃木県のコイ脾臓にも異常が

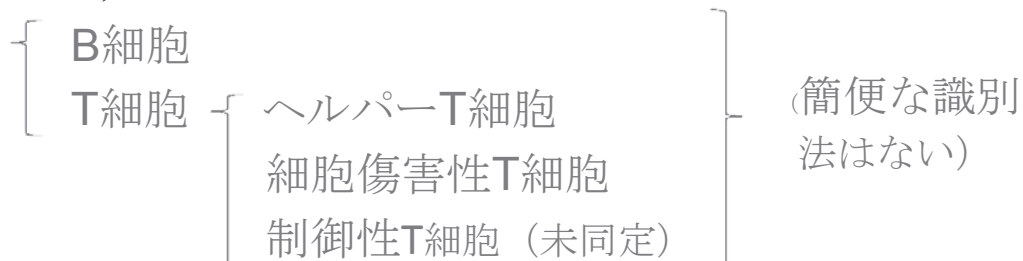


組織観察の結果，2014年には栃木県芳賀町のコイにもマクロファージの異常増殖が見られ，前年の結果を裏付けることができなかった．初期被曝の影響が事故から3年を経て現れた可能性も含め，今後の検討課題である．

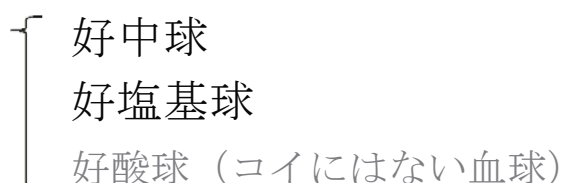
白血球数の変化は放射線の影響を示すものと言えるだろうか

単球／マクロファージ

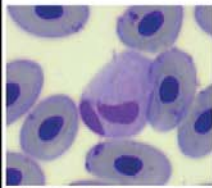
リンパ球



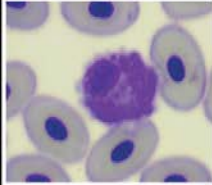
顆粒球



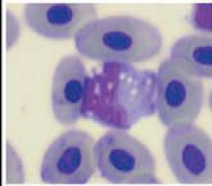
栃木県と飯舘村のコイにおける各白血球数の比較 (2013)



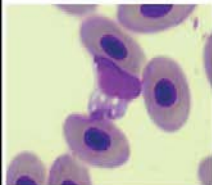
好中球(Neutrophil)
 バクテリアを食べて殺す



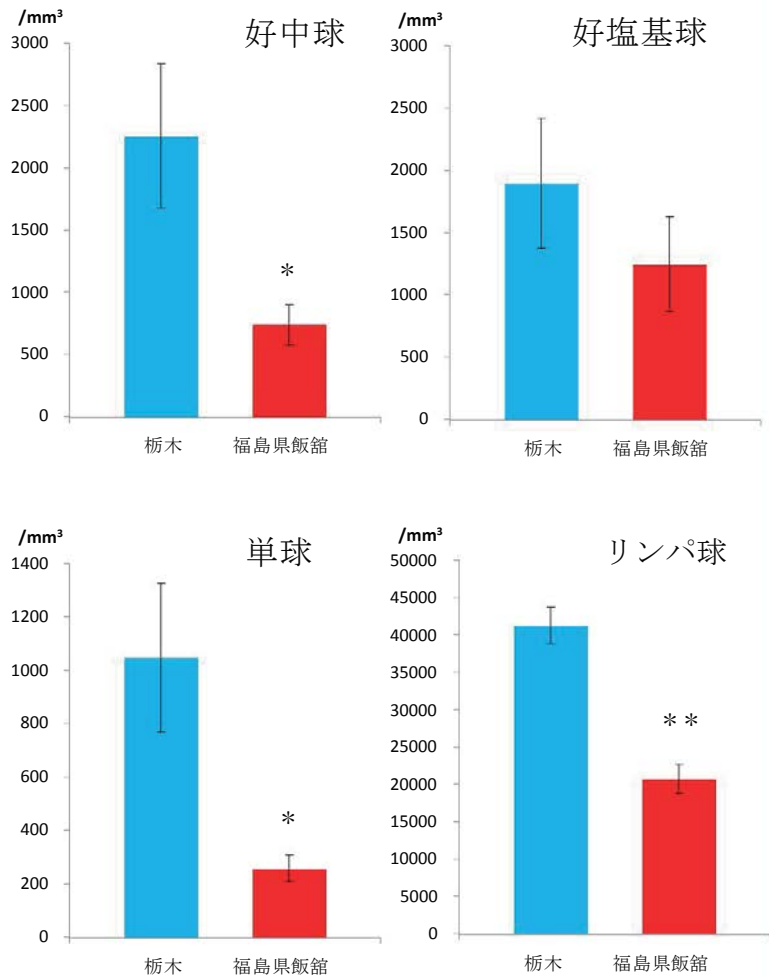
好塩基球(Basophil)
 機能不明。寄生虫防御？



単球(Monocyte)
 バクテリアを食べてその抗原情報をリンパ球に提示

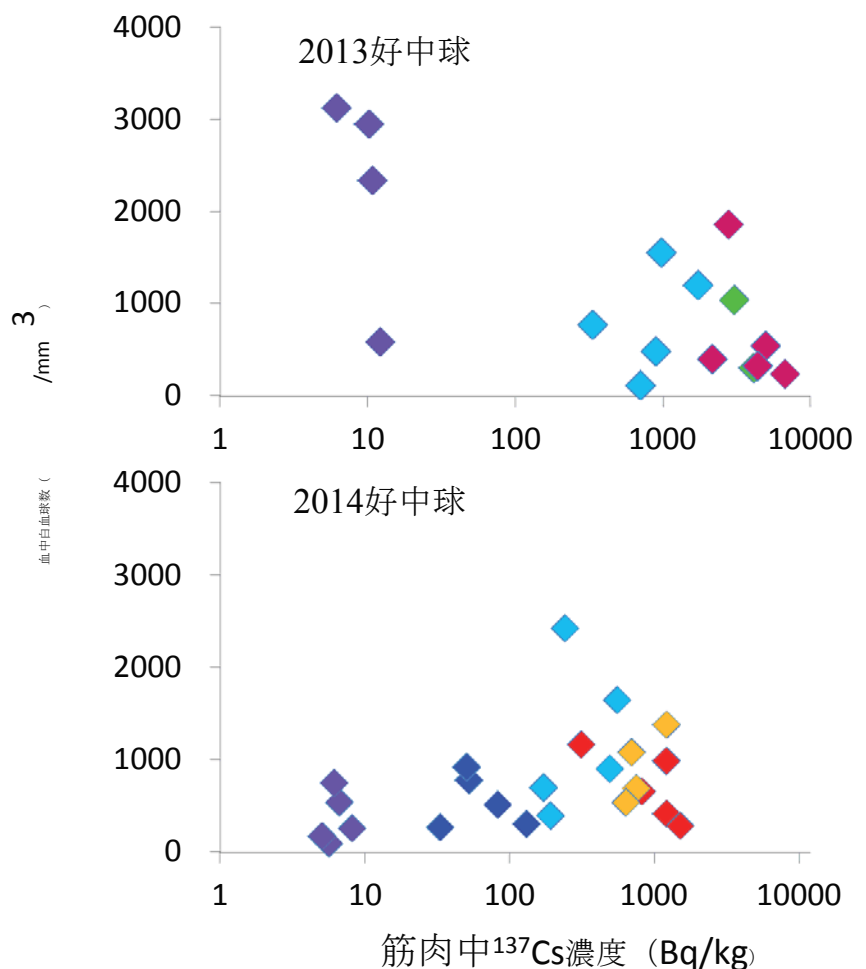


リンパ球(Lymphocyte)
 抗原情報に基づき抗体を作る



セシウム蓄積量と白血球数の関係は2014年には不明瞭になった (好中球)

栃木の血球数が大幅に減少

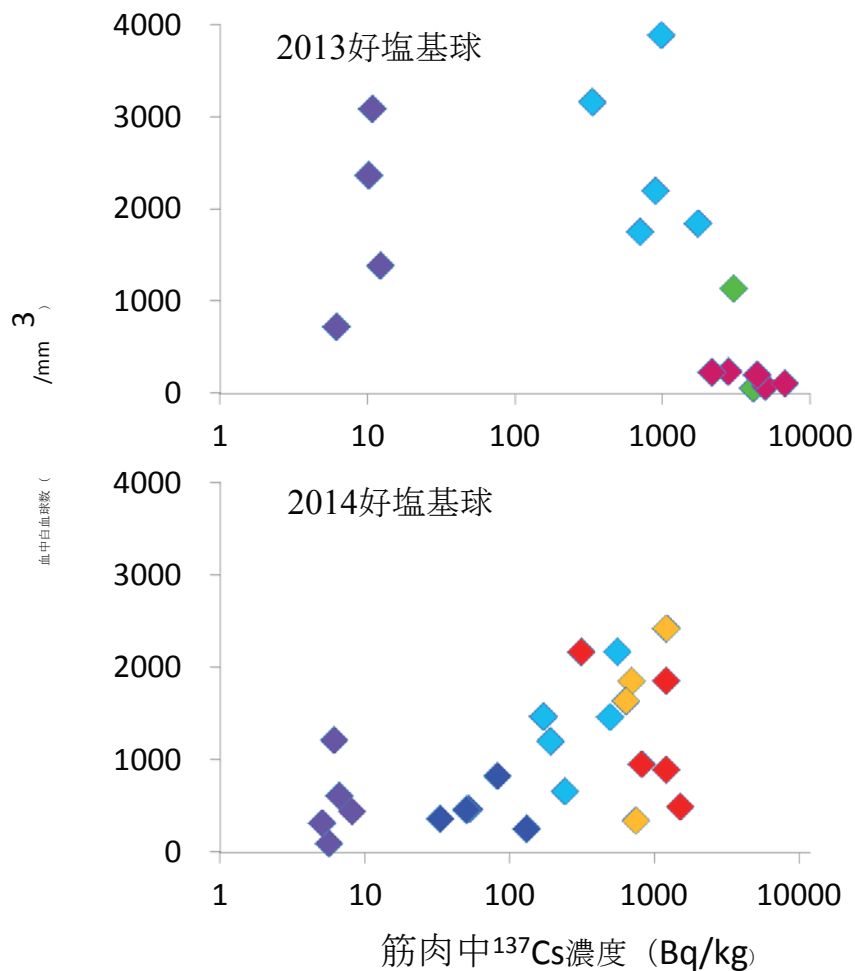


- ◆ NG14 : 飯舘村長泥
- ◆ WD13:飯舘村蕨平
- ◆ MS14 : 南相馬市原町区
- ◆ KM13 : 飯舘村小宮
- ◆ MD13, 14 : 飯舘村前田
- ◆ KW14 : 川内村
- ◆ TG13,14:栃木県芳賀町

セシウム蓄積量と白血球数の関係は2014年には不明瞭になった（好塩基球）

栃木の血球数が大幅に減少

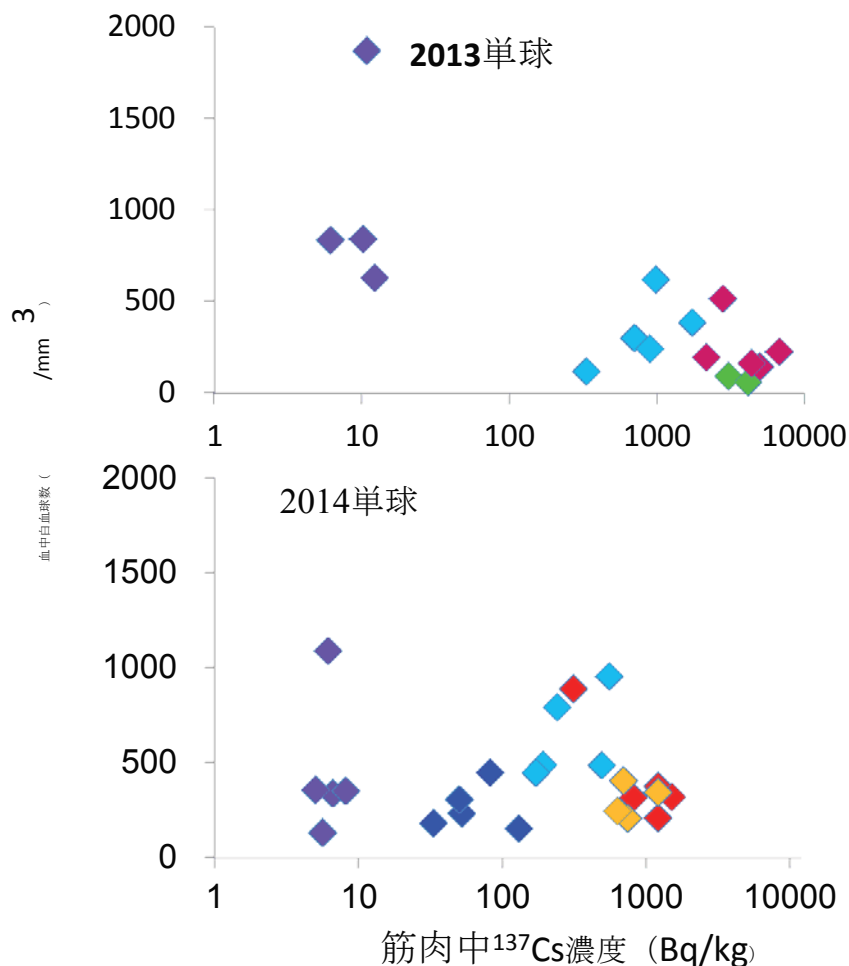
- ◆ NG14：飯舘村長泥
- ◆ WD13:飯舘村蕨平
- ◆ MS14：南相馬市原町区
- ◆ KM13：飯舘村小宮
- ◆ MD13, 14：飯舘村前田
- ◆ KW14：川内村
- ◆ TG13,14:栃木県芳賀町



セシウム蓄積量と白血球数の関係は2014年には不明瞭になった（単球）

栃木の血球数がやや減少

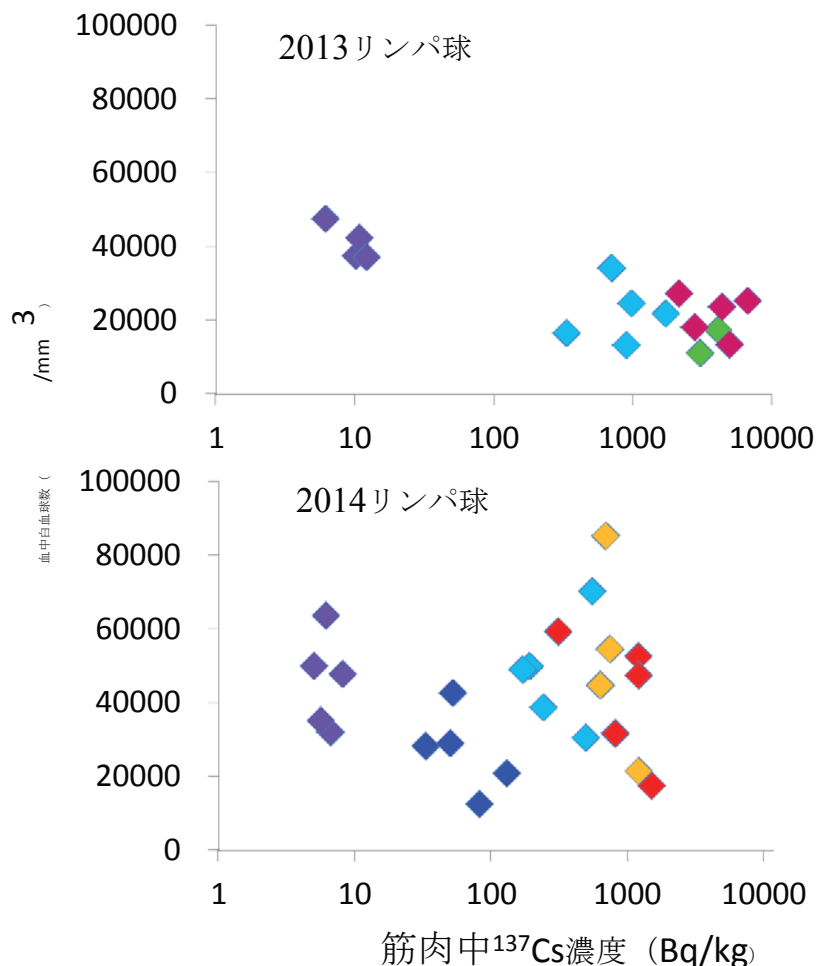
- ◆ NG14：飯舘村長泥
- ◆ WD13:飯舘村蕨平
- ◆ MS14：南相馬市原町区
- ◆ KM13：飯舘村小宮
- ◆ MD13, 14：飯舘村前田
- ◆ KW14：川内村
- ◆ TG13,14:栃木県芳賀町



セシウム蓄積量と白血球数の関係は2014年には不明瞭になった（リンパ球）

2013年の空白部分は埋まったが

- ◆ NG14 : 飯舘村長泥
- ◆ WD13: 飯舘村蔵平
- ◆ MS14 : 南相馬市原町区
- ◆ KM13 : 飯舘村小宮
- ◆ MD13, 14 : 飯舘村前田
- ◆ KW14 : 川内村
- ◆ TG13,14: 栃木県芳賀町



2013年にはコイの白血球数に汚染地域と非汚染地域とで明瞭な差が見られた。しかし、2014年には差が見られなくなってしまった。

これまでの調査の弱点は福島と比較すべき対照を栃木1か所しか設定できなかったことであり、これでは確実な結論を出すことができない。今後、非汚染地域での調査を充実させることがなにより重要である。

調査のまとめ

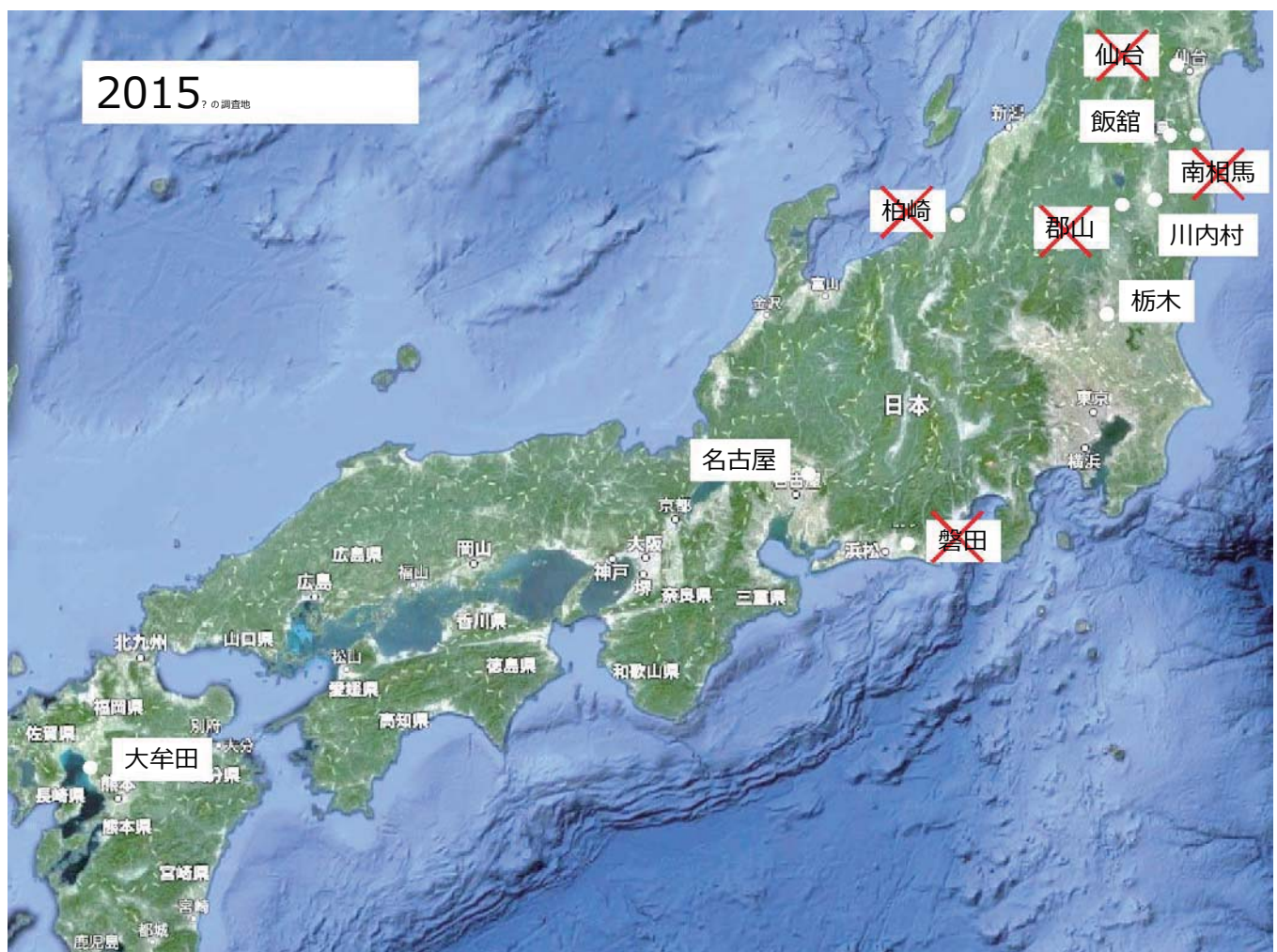
福島のため池には大量のセシウムを含む底泥が堆積しており，コイ筋肉にも最大という高濃度のセシウムが蓄積されていた．

福島のコイは放射性セシウムの大量蓄積により何らかの形で不健康状態におちいつている可能性が高いが，断定することはできなかった．

2015年の調査

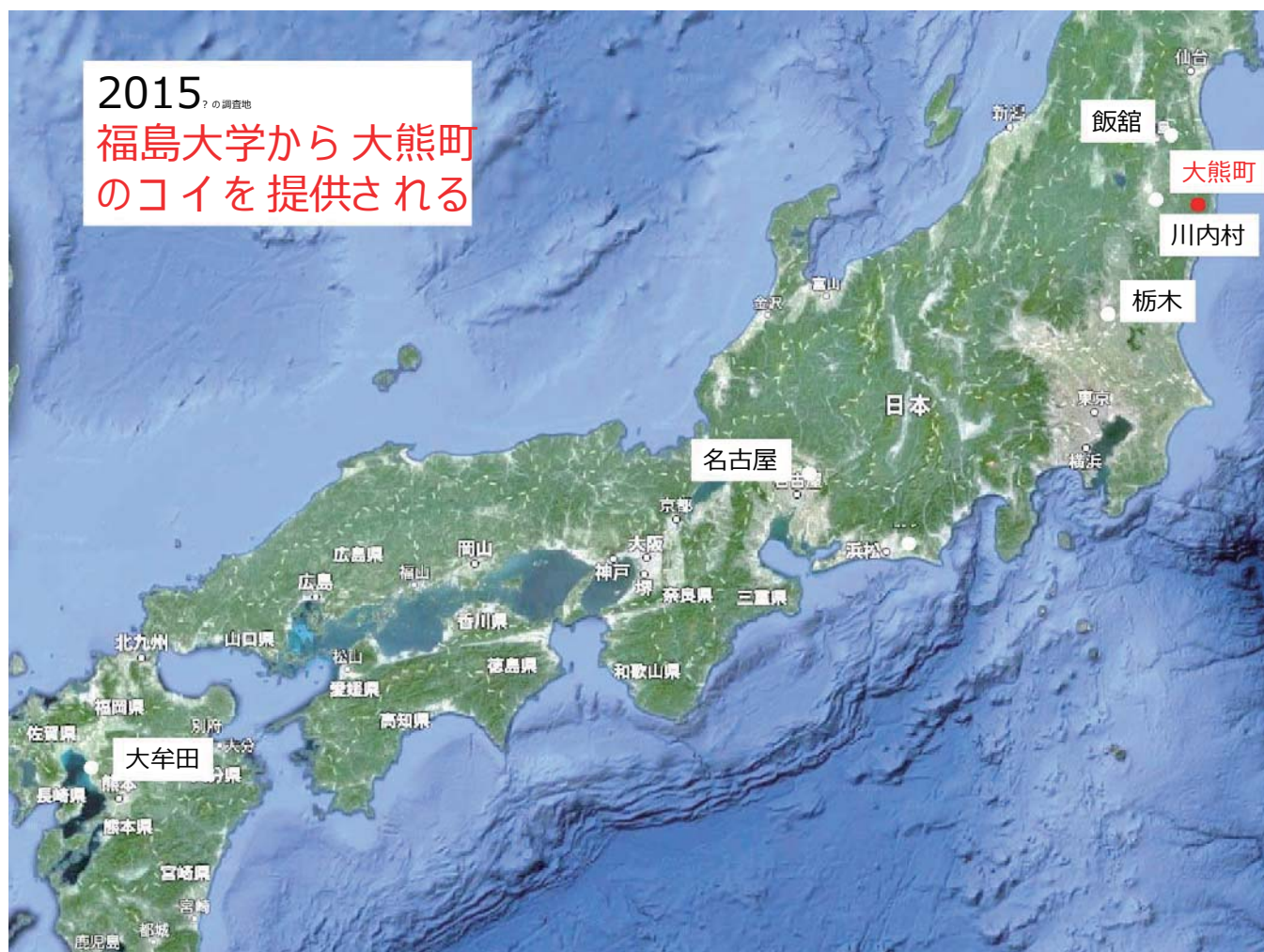
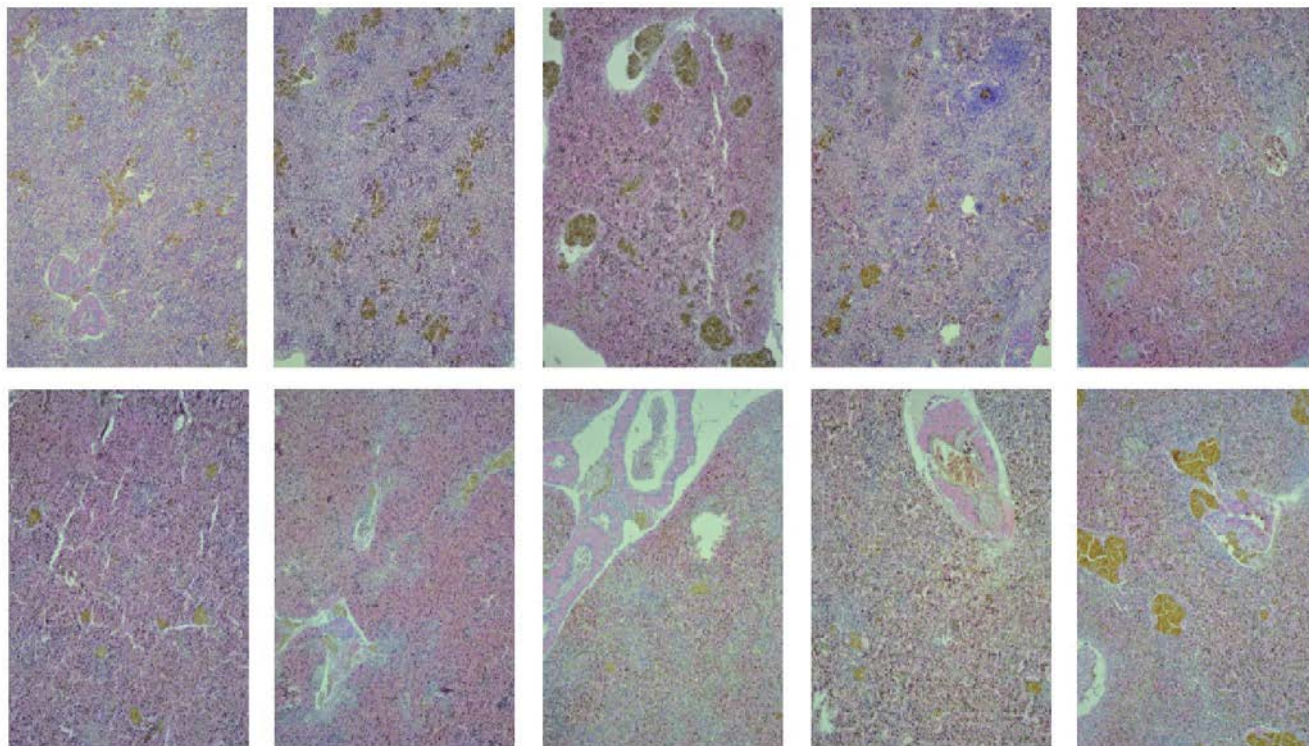
低濃度から高濃度まで幅広い放射能汚染段階で調べることが重要．その中でも特に関東，東北以外の非汚染地域の対照を複数設定することが必須である．

低濃度汚染地域として仙台，郡山を，非汚染地域として柏崎・刈羽，磐田，名古屋，大牟田を加えて調査を行なった．

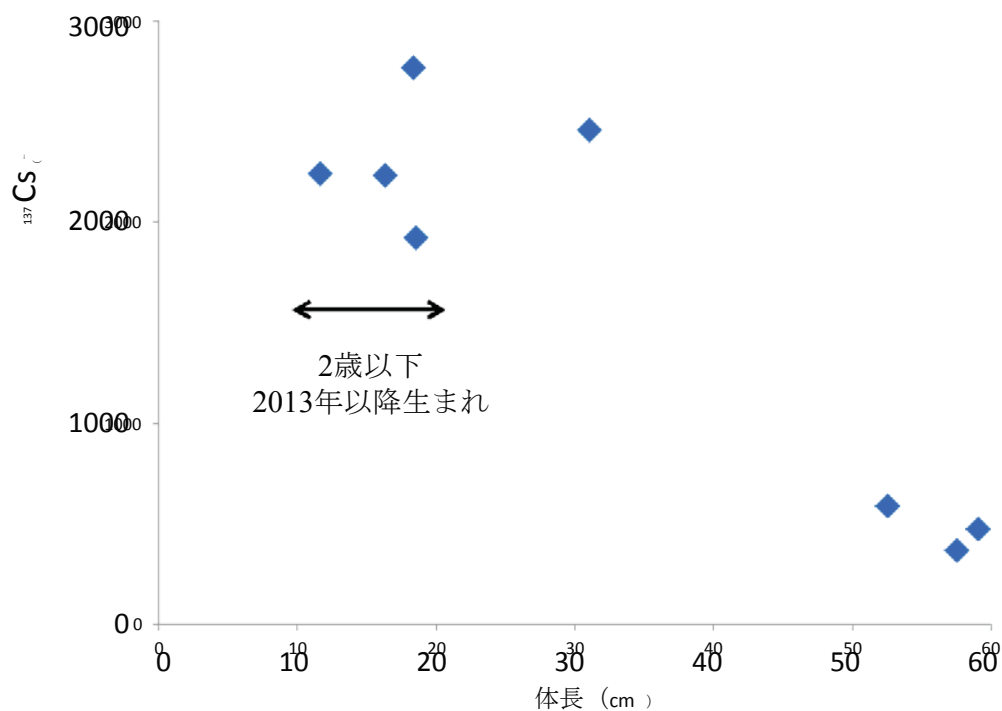


組織観察の結果，対照でもマクロファージの異常増殖，脾臓の微細顆粒等が認められ，放射線の影響は分からなかった。

上段大牟田，下段飯舘村前田



大熊町におけるコイの体長と筋肉中¹³⁷Cs (2015.10.7.)



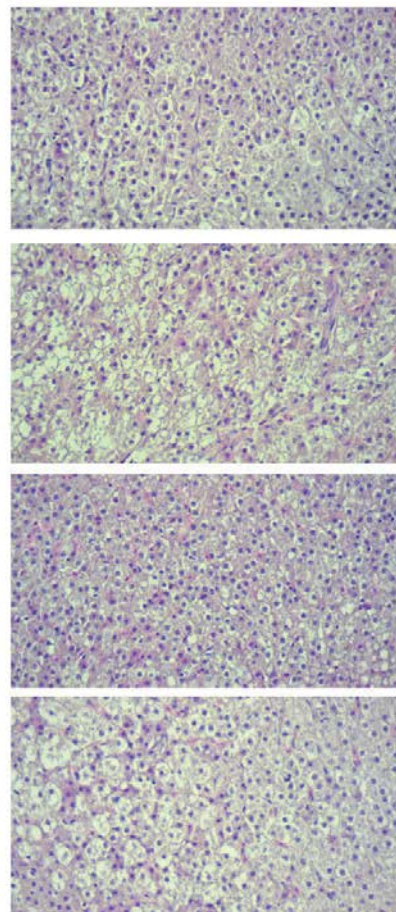
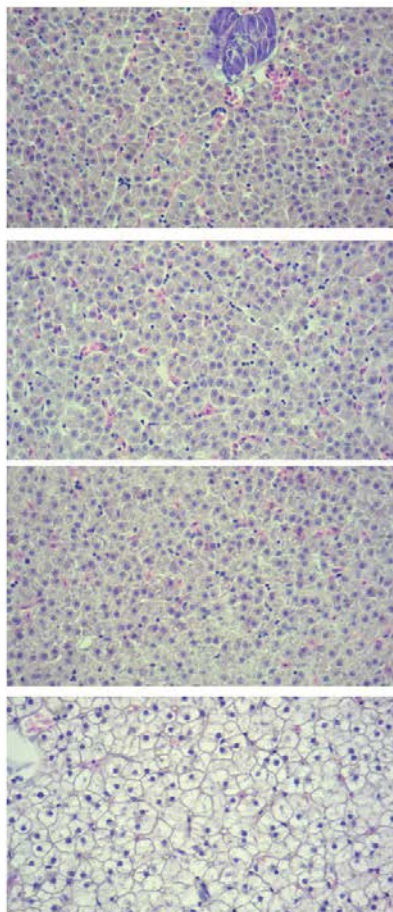
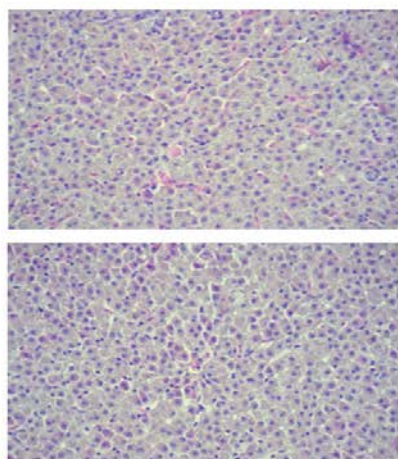
地域差も考慮すべきだが、事故後に生まれた魚のCs蓄積は明瞭で、底泥や周囲の汚染が残る限り問題は解決しないだろう。

若齢魚の肝臓

郡山市

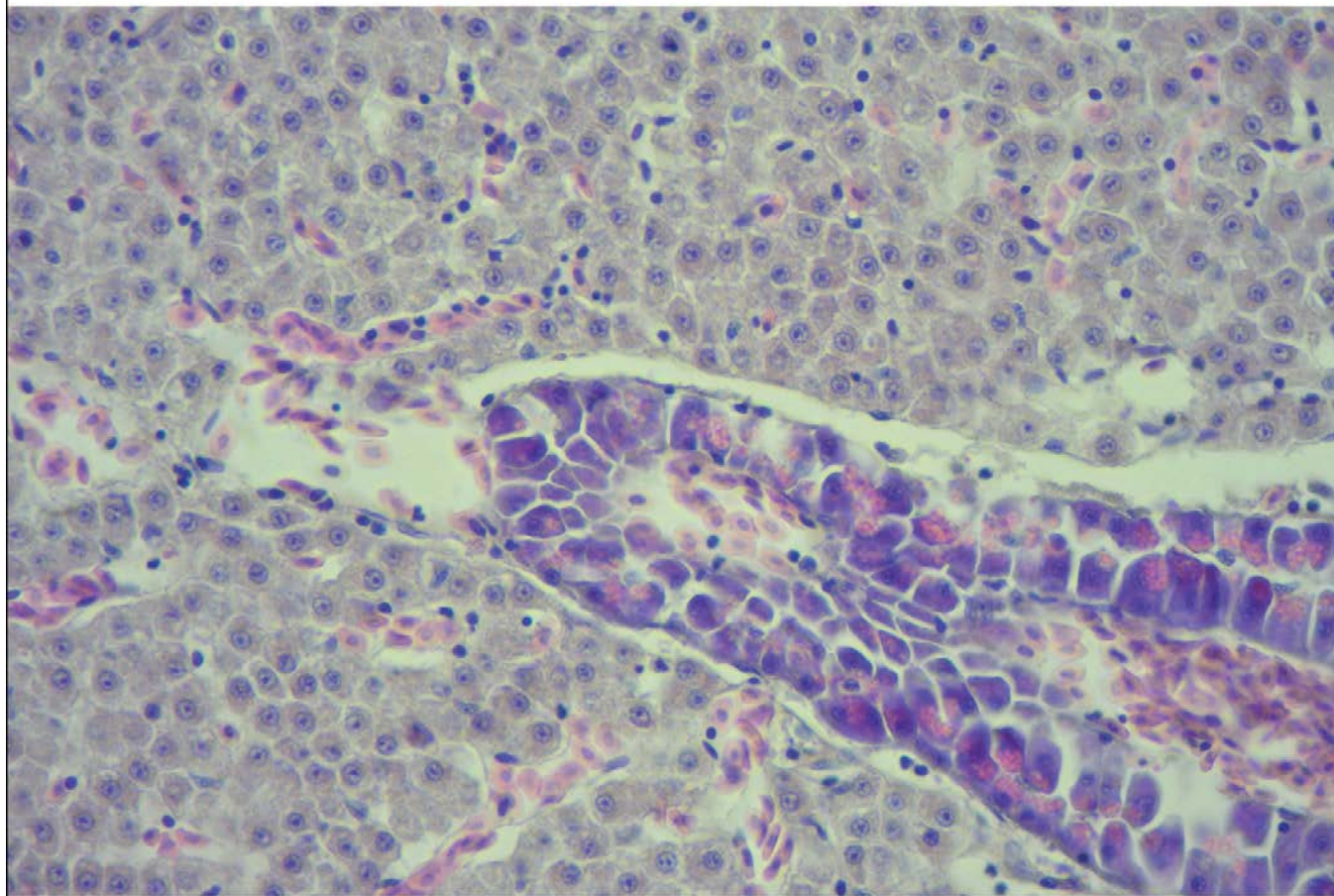
大熊町

磐田市桶ヶ谷沼

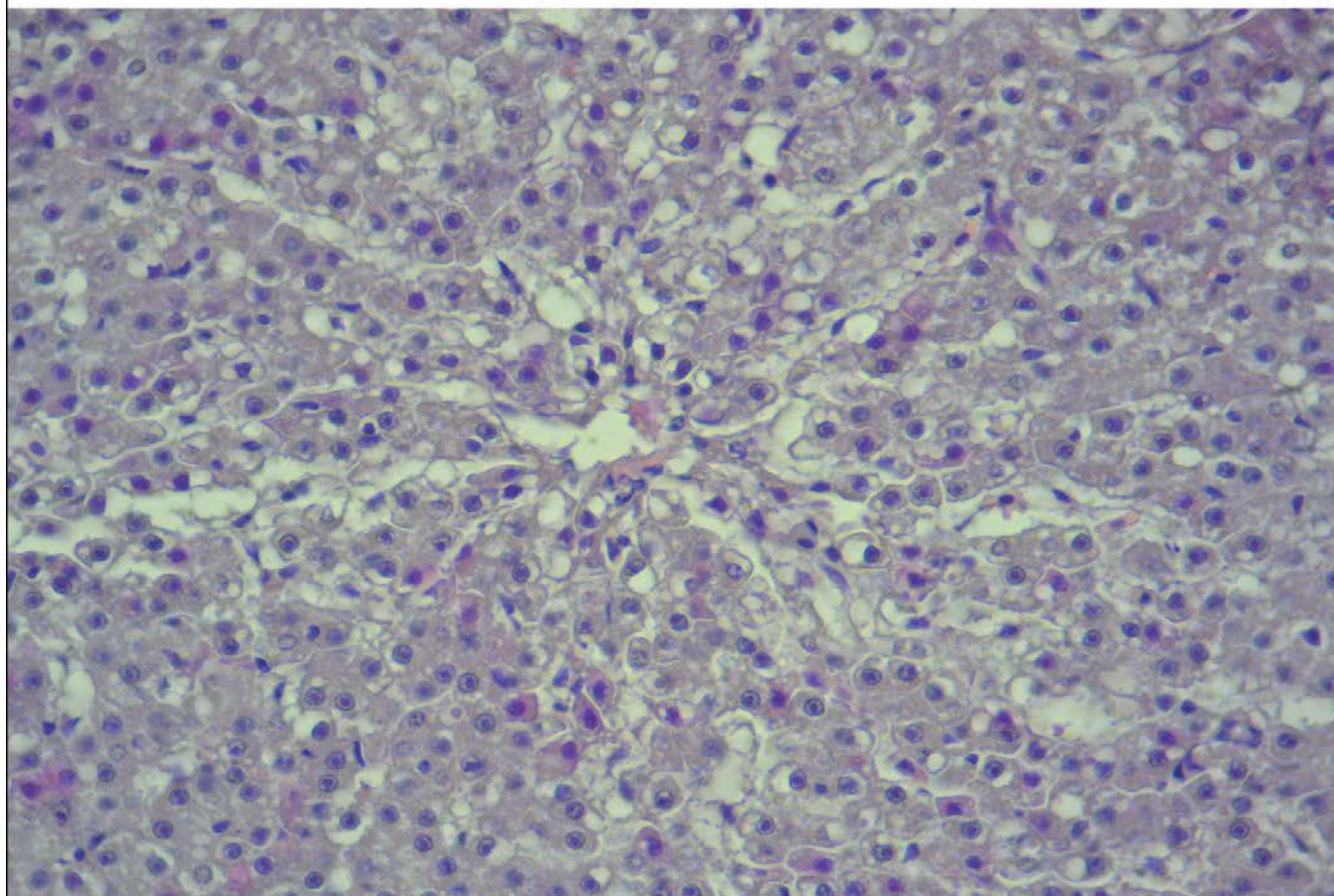


磐田市のコイの充実した肝臓に比べ、大熊町では異常が目立つ

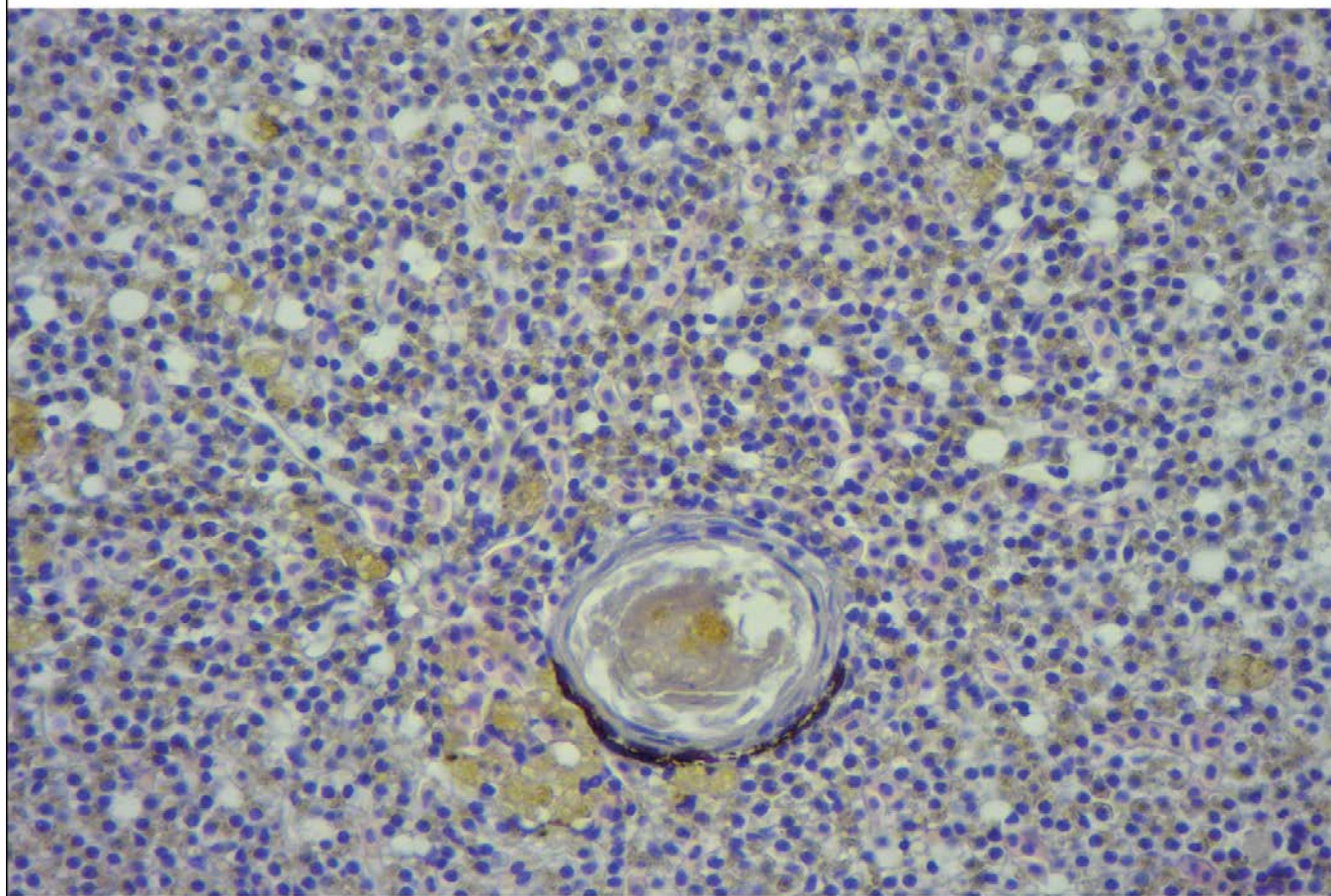
コイ若齢個体の充実した肝臓と膵臓（郡山）



大熊町では肝細胞の空胞化が目立つ



大熊町の1個体では肝細胞が崩壊（寄生虫影響も否定できない）



これまでの調査のまとめ

福島のコイは放射性セシウムの大量蓄積により何らかの形で不健康状態におちいつている可能性が高いが，断定することはできなかった．

放射線の影響は同一の環境で生育していた個体であっても様々な形で現れ，しかもそれぞれの変異は加齢や病気など他の要因でも起こり得るもので，因果関係の特定は困難である．ただ大熊町のコイに見られた肝臓障害は他では認められず，今後追求すべき課題と言えるだろう．

実験室内での研究手法を野外に適用しても個体差が大きく結論を出すのが困難であることを率直に反省する．

今年から新規の実験的研究を実施

条件をできるだけ均等にするため、養殖されたコイ若齢魚を各地の池に放流し、1年後に再捕獲して分析する実験をスタート。

現在東大水産実験所にて飼育中。秋ごろ放流で、結果がでるのは来年以降になる。2016年9月2日までにすべての放流完了。



調査にご協力いただいた多くの皆様に感謝の意を表します

- ・飯舘村放射能エコロジー研究会（IISORA） 小澤祥司氏ら、多くのIISORAメンバー
- ・飯舘村 伊藤延由氏、長谷川健一氏、庄司正彦氏ら、多くの皆様
- ・南相馬市 小澤洋一氏、末永伊津夫氏、志賀利通氏、および「ふくいち周辺環境放射線モニタリングプロジェクト」の皆様
- ・川内村 山下和正氏
- ・郡山市 渡辺正氏
- ・栃木県芳賀町 高橋伸拓氏
- ・群馬県沼田市 小淵均氏
- ・神奈川県小田原市 諏訪間順氏
- ・新潟県刈羽村 近藤容人氏
- ・磐田市 細田昭博氏、浜松市 片桐和雄氏
- ・名古屋市 飯尾俊介氏
- ・大牟田市 田中隆基氏、新宿区 渡辺好庸氏
- ・ちくりん舎（NPO法人市民放射能監視センター） 浜田和則氏、青木一政氏、辻よし子氏
- ・NPO法人 いわき放射能市民測定室 たらちね 織田良孝氏、鈴木薫氏、天野光氏
- ・九州大学農学研究院 教授 中尾実樹氏
- ・東京大学農学生命科学研究科 教授 金子豊二氏
- ・同 附属水産実験所 准教授 菊池潔氏ほか多くの皆様
- ・福島大学環境放射能研究所 教授 難波謙二氏 准教授 和田敏裕氏
- ・その他、お手伝いあるいは応援して下さる大勢の皆様
- ・年金生活にも関わらず調査への出費を容認してくれる妻

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.

Transcriptomic, Proteomic and Metabolomic Profiling of Low-Level Gamma Irradiated Rice at Iitate Village, Fukushima

Randeep RAKWAL

Professor, Faculty of Health and Sport Sciences, UT
Tsukuba International Academy for Sport Studies
(plantproteomics@gmail.com / 090-1853-7875)

KURI - AUGUST 3, 2016



CONTENTS

☐ Brief Introduction

- ☐ -Radiation
- ☐ - OMICS

☐ LEAF

➤ TRANSCRIPTOMICS

➤ PROTEOMICS

☐ SEED

➤ Genes to Metabolites



CONTENTS

☐ Brief Introduction

- ☐ -Radiation
- ☐ - OMICS

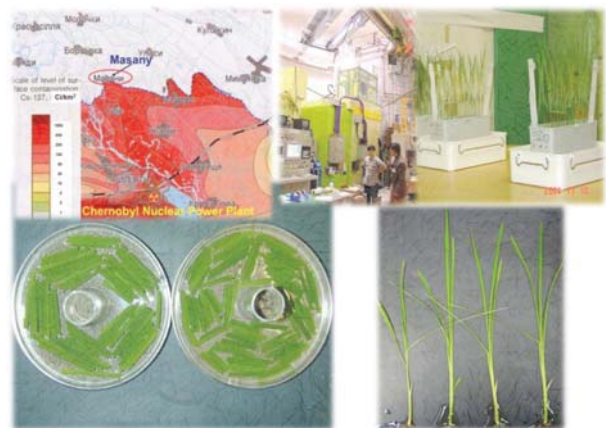
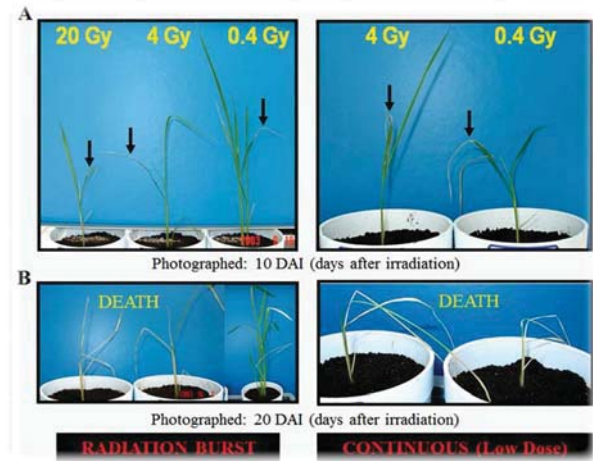
☐ LEAF

➤ TRANSCRIPTOMICS

➤ PROTEOMICS

☐ SEED

➤ Genes to Metabolites

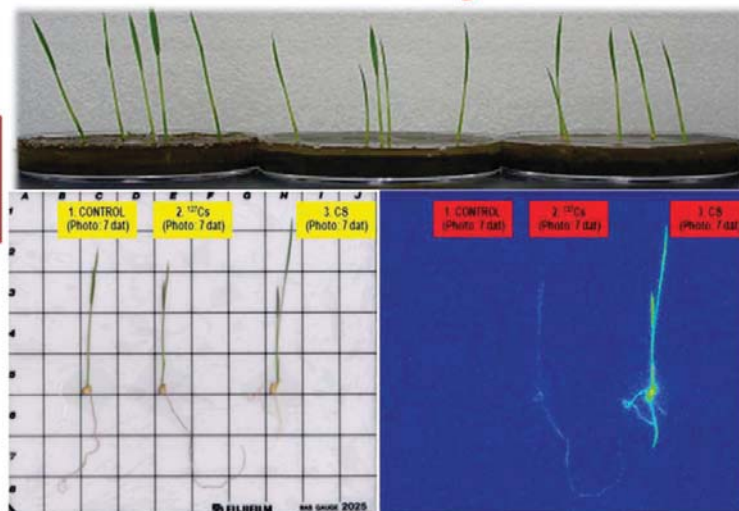


The Start@TSUKUBA

RADIATION : Decade of Work

1. Contaminated Soil/Gamma radiation
2. Two-week-old model system for stress

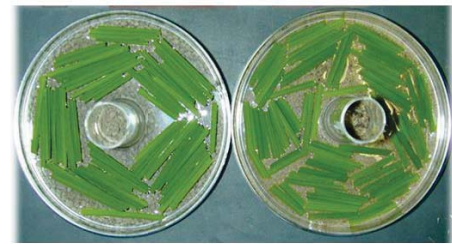
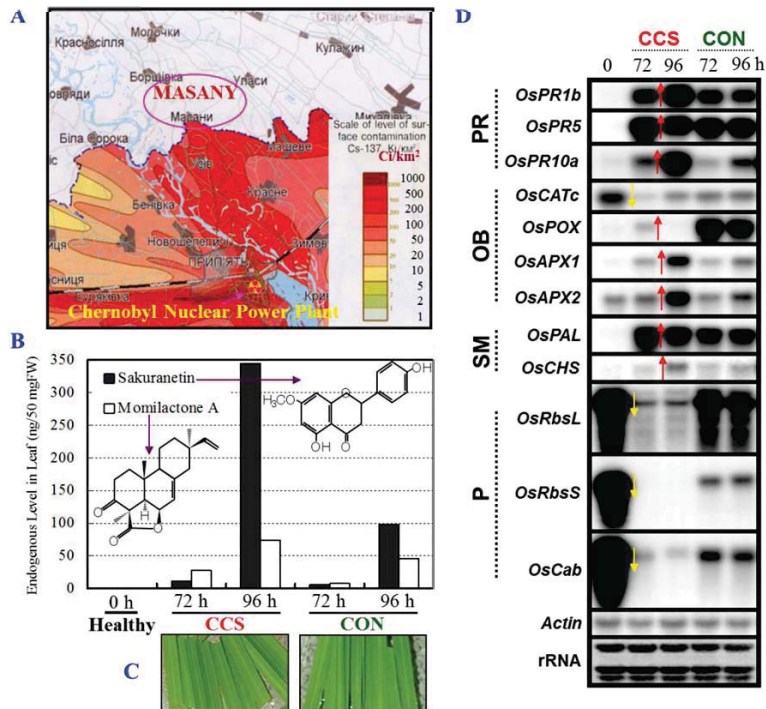
Masany, 10 km
from Chernobyl
nuclear reactor



5.34 $\mu\text{Gy/day}$;
10.90-fold over
natural
background
control level

Ultra-low dose gamma radiation (high levels of cesium-137 (^{137}Cs) and strontium-90 (^{90}Sr)- both fission products from the reactor core) exposed rice seedling

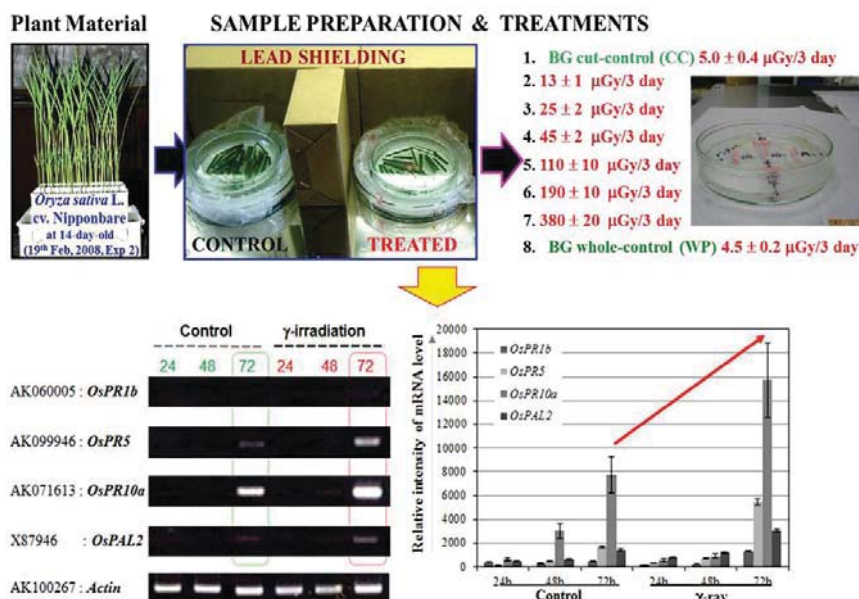
The Start@TSUKUBA



1. DNA microarray analysis revealed 516 differentially expressed genes that were categorized into three main functions of information storage and processing, cellular processes and signaling, and metabolism, and changes in genes, proteins, and secondary metabolites

(Kimura et al., RGN, 24:52-54, 2008)

Continue@KURI



2. In-lab fabricated gamma ray ^{137}Cs source at six dose rates (13 ± 1 , 25 ± 2 , 45 ± 2 , 110 ± 10 , 190 ± 10 and $380 \pm 20 \mu\text{Gy}/3 \text{ days}$) to rice seedling leaves activated multi-layered defense/stress-related biological processes

Japonica-type rice (*Oryza sativa* L.) cv. Nipponbare was used as the test material. The seeds were received from National Institute for Environmental Studies (NIES), Tsukuba, Japan.

(Rakwal et al., Int. J. Mol. Sci. 10:1215-1225, 2009)

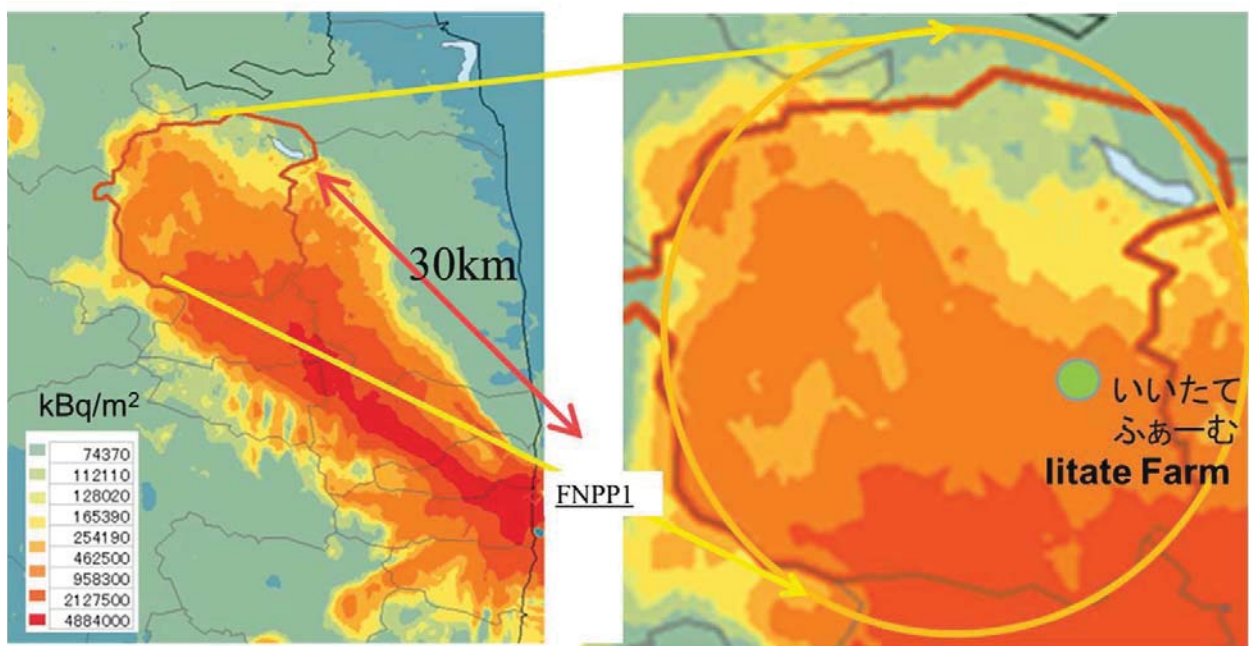
In the Laboratory - Not in the Field

Continue@IITATE - Fukushima



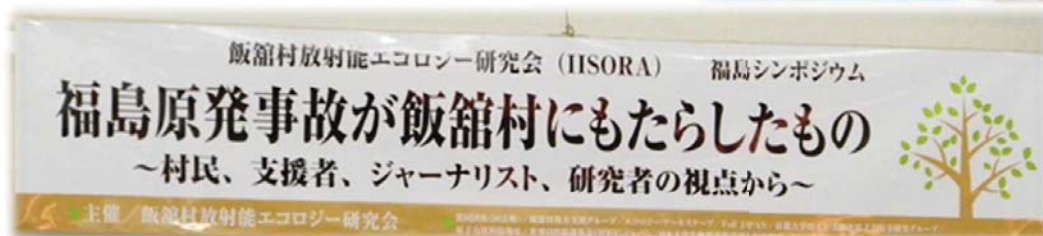
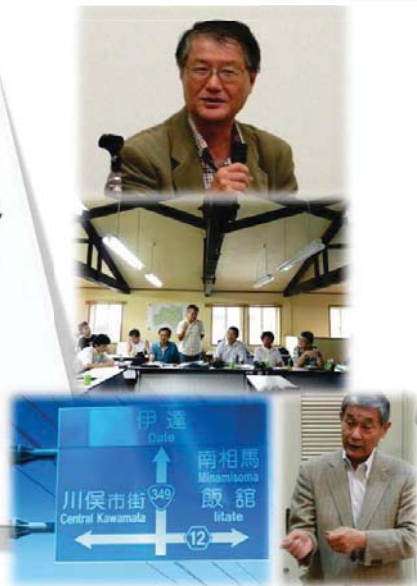
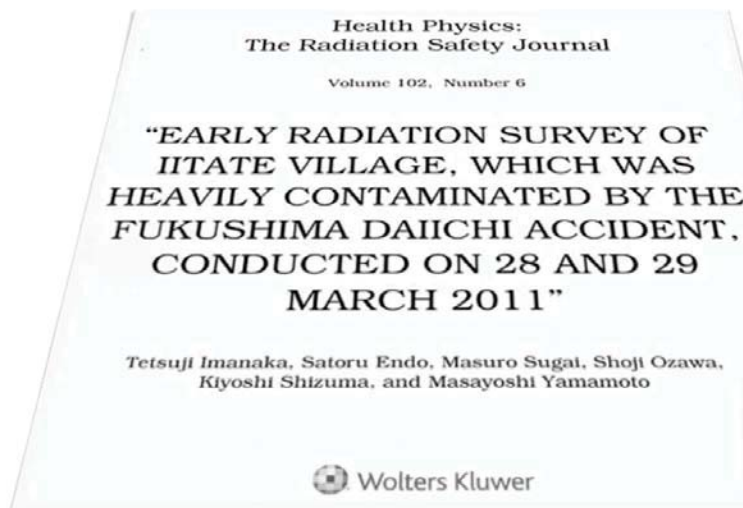
The events following the 2011, 3.11 nuclear accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant (FNPP) after the Great Tohoku Earthquake unexpectedly ...

Continue@IITATE / IITATE FARM - Fukushima

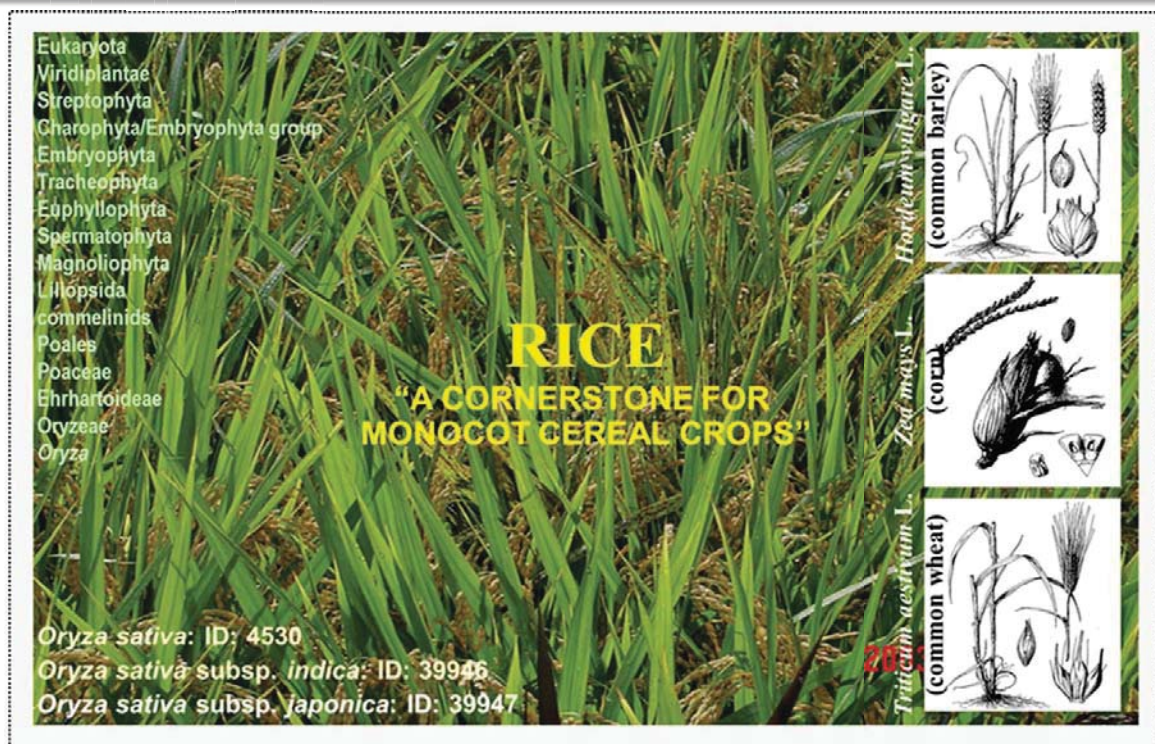


... provided an opportunity to initiate a new research project with fellow physicist's/radiation experts at the highly contaminated field (Iitate farm) in the Iitate village of Fukushima prefecture, Japan

IISORA – Iitate-mura Society for Radioecology



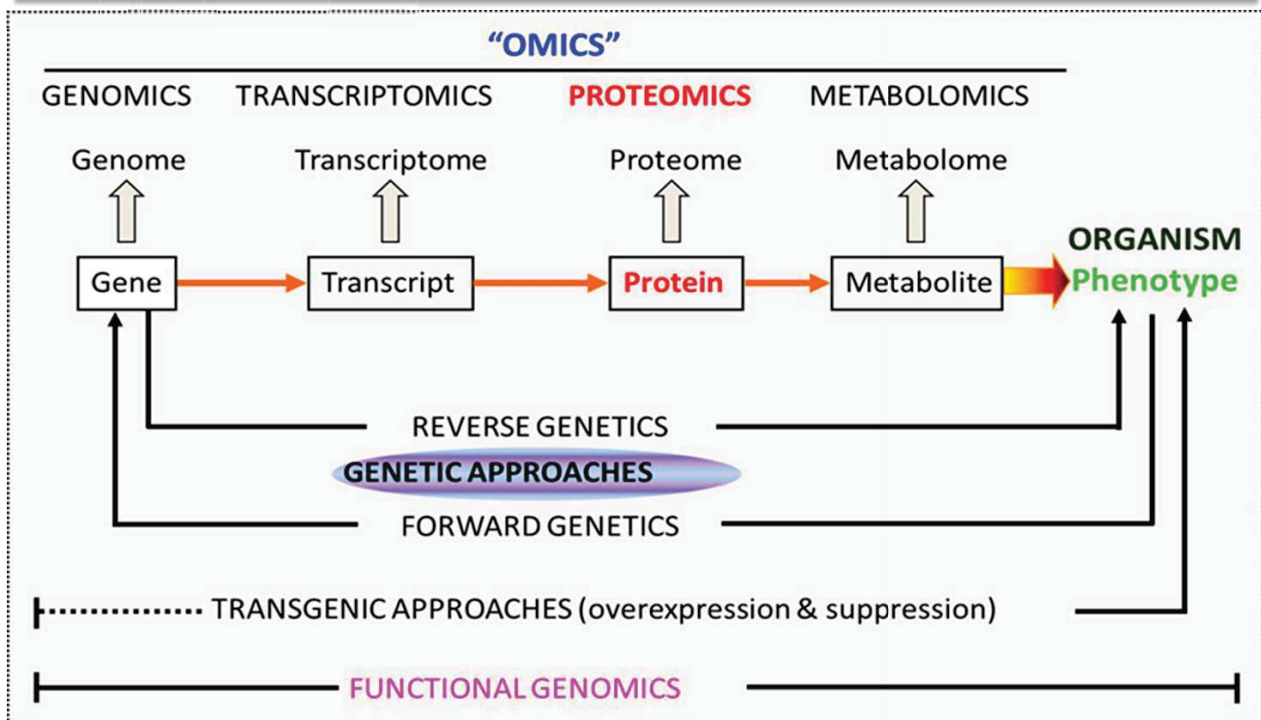
RICE – WHY?



Source: Adapted from - Mass Spectrometry Reviews, 2013, 32, 335–365; Agrawal GK et al. ©2013 by Wiley Periodicals, Inc.

Rice is a research model / Rice is life

RICE – OMICS?



Source: Adapted from - Mass Spectrometry Reviews, 2013, 32, 335–365; Agrawal GK et al. ©2013 by Wiley Periodicals, Inc.

Omics to Systems Biology – Functional Genomics



CONTENTS

☐ Brief Introduction

- ☐ - Radiation
- ☐ - OMICS

☐ LEAF

➤ TRANSCRIPTOMICS

➤ PROTEOMICS

☐ SEED

➤ Genes to Metabolites

12/17/2014 PUBLIC RELEASE DATE: 14-Aug-2014
[Print] [E-mail] [Share] [Close Window]

Contact: Nancy Steinberg
nsteinberg@ncsu.edu
541-961-3459
American Genetic Association

Fukushima's legacy
Biological effects of Fukushima radiation on plants, insects, and animals

Following the 1986 Chernobyl nuclear power plant meltdown, biological samples were obtained only after extensive delays, limiting the information that could be gained about the impacts of that historic disaster. Determined not to repeat the shortcomings of the Chernobyl studies, scientists began gathering biological information only a few months after the disastrous meltdown of the Fukushima Daiichi power plant in Japan in 2011. Results of these studies are now beginning to reveal serious biological effects of the Fukushima radiation on non-human organisms ranging from plants to butterflies to birds.

A series of articles summarizing these studies has now been published in the *Journal of Heredity*. These describe widespread impacts, ranging from population declines to genetic damage to responses by the repair mechanisms that help organisms cope with radiation exposure.

"A growing body of empirical results from studies of birds, monkeys, butterflies, and other insects suggests that some species have been significantly impacted by the radioactive releases related to the Fukushima disaster," stated Dr. Timothy Mousseau of the University of South Carolina, lead author of one of the studies. Most importantly, these studies supply a baseline for future research on the effects of ionizing radiation exposure to the environment.

Common to all of the published studies is the hypothesis that chronic (low-dose) exposure to ionizing radiation results in genetic damage and increased mutation rates in reproductive and non-reproductive cells.

One of the studies (Hayashi et al. 2014) documented the effects of radiation on rice by exposing healthy seedlings to low-level gamma radiation at a contaminated site in Fukushima Prefecture. After three days, a number of effects were observed, including activation of genes involved in self-defense, ranging from DNA replication and repair to stress responses to cell death.

"The experimental design employed in this work will provide a new way to test how the entire rice plant genome responds to ionizing radiation under field conditions," explained Dr. Randeep Rakwal of the University of Tsukuba in Japan, one of the authors of the study.

Another team of researchers (Tara et al. 2014) examined the response of the pale grass blue butterfly, one of the most common butterfly species in Japan, to radiation exposure at the Fukushima site. They found size reduction, slowed growth, high mortality and morphological abnormalities both at the Fukushima site and among laboratory-bred butterflies with parents collected from the contaminated site.

All of these studies highlight the need for early and ongoing monitoring at sites of accidental radiation release. "Detailed analyses of genetic impacts to natural populations could provide the information needed to predict recovery times for wild communities at Fukushima as well as any sites of future nuclear accidents," Mousseau said. "There is an urgent need for greater investment in basic scientific research of the wild animals and plants of Fukushima."

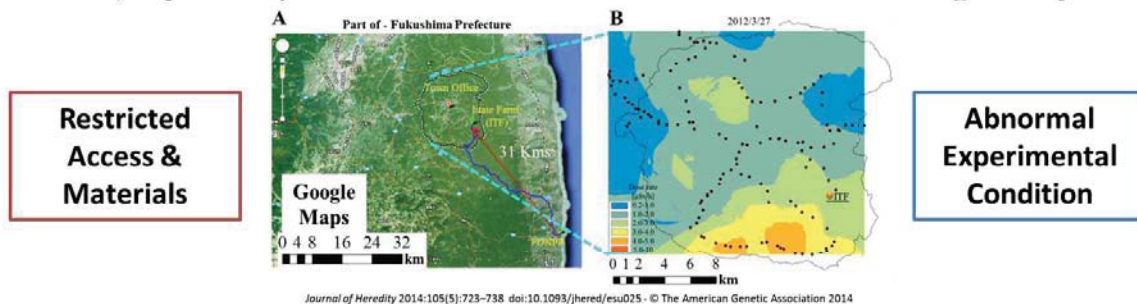
Image: This is a pale grass blue butterfly, one of the most common species of butterfly in Japan. Recent research has revealed major impacts on this species from the radiation leaks.

Click here for more information.

Exp 1: Rice seedling preparation for ITF



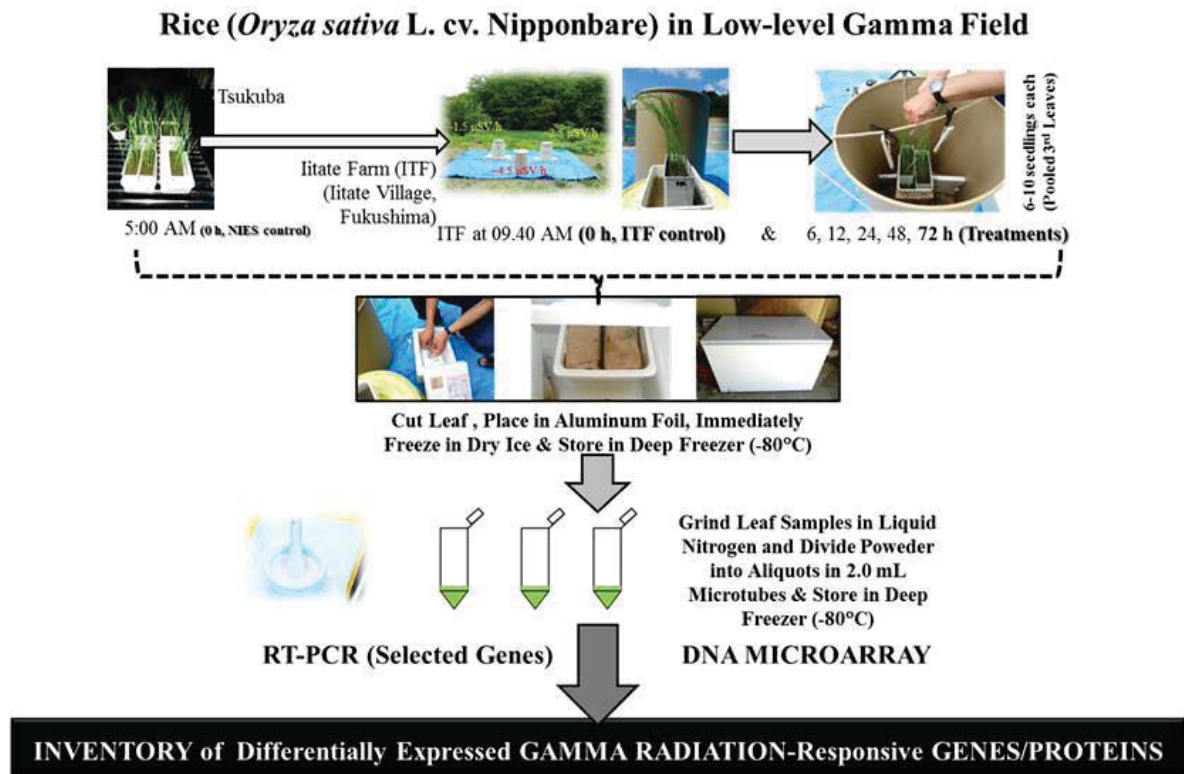
Germination and growth of rice plants to 12-days old stage with 3rd leaf, grown in the controlled greenhouse at the National Institute for Environmental Sciences (NIES), Tsukuba, Japan. 20 μSv was the total accumulated dose for the whole growth period.



Set up experimental field at ITF & transport of rice



Experimental design & strategy



Journal of Heredity 2014;105(5):723–738 doi:10.1093/jhered/esu025 - © The American Genetic Association 2014

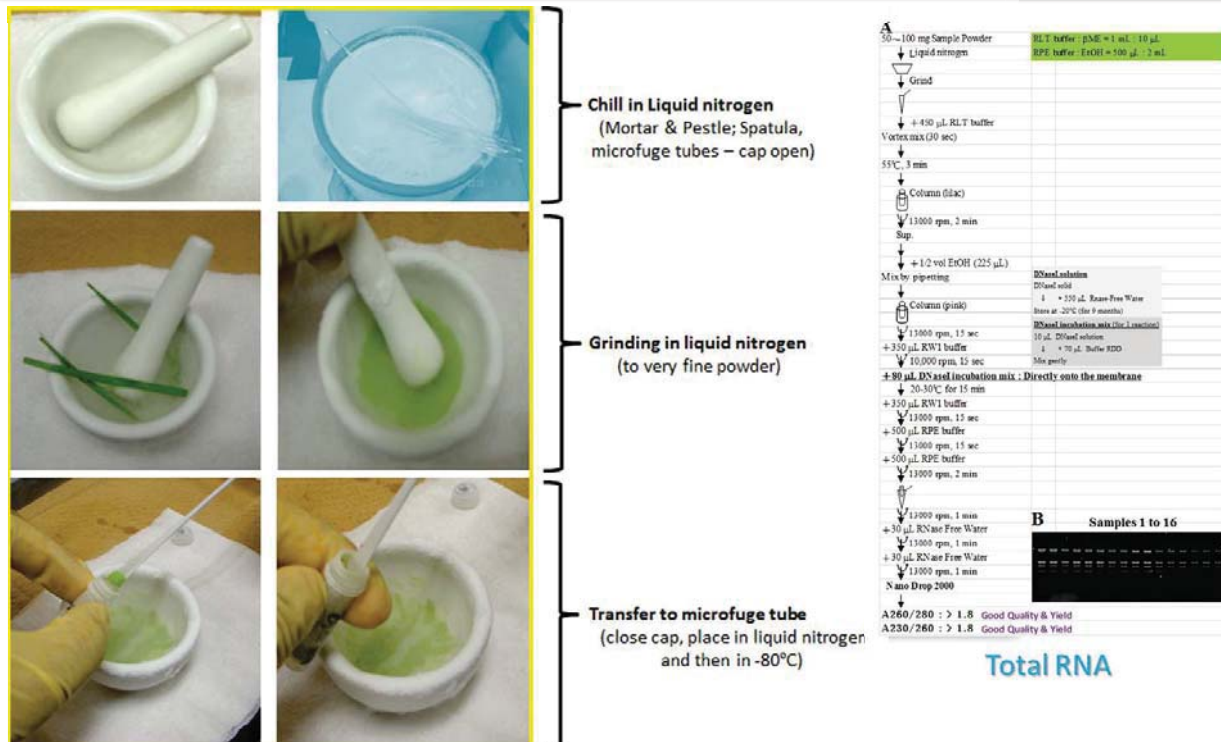
Result 1: Visual Observation



Gamma radiation affects the tips of rice seedling leaves. **A)** Leaf tips at 3-days post exposure to gamma radiation; 3rd leaves are marked by arrows. **B)** 3-day exposed seedlings showing the drying of the leaf (3rd) tips progression (marked by arrows) at 30 days post-germination, in the control greenhouse (NIES, Tsukuba). **C)** Healthy seedlings show no such damage to the 3rd leaf or any other leaf.

Journal of Heredity 2014;105(5):723–738 doi:10.1093/jhered/esu025 - © The American Genetic Association 2014

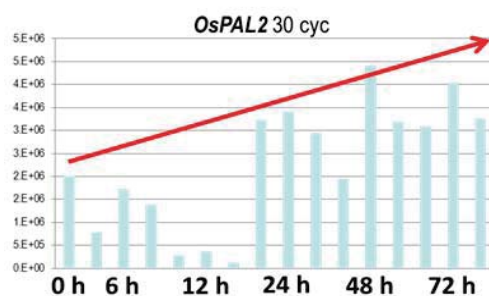
Back to laboratory & sample preparation



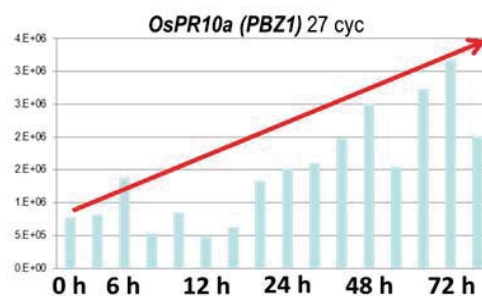
Pictorial representation of the rice leaf powder preparation protocol in liquid nitrogen using a pre-chilled (in liquid nitrogen) ceramic mortar and pestle.

Result 2: Gene expression changes via RT-PCR

**Phenylalanine
Ammonia-Lyase**
(Phenyl propanoid pathway
of Plants)
Contribute to all
aspects of plant
response to STRESS



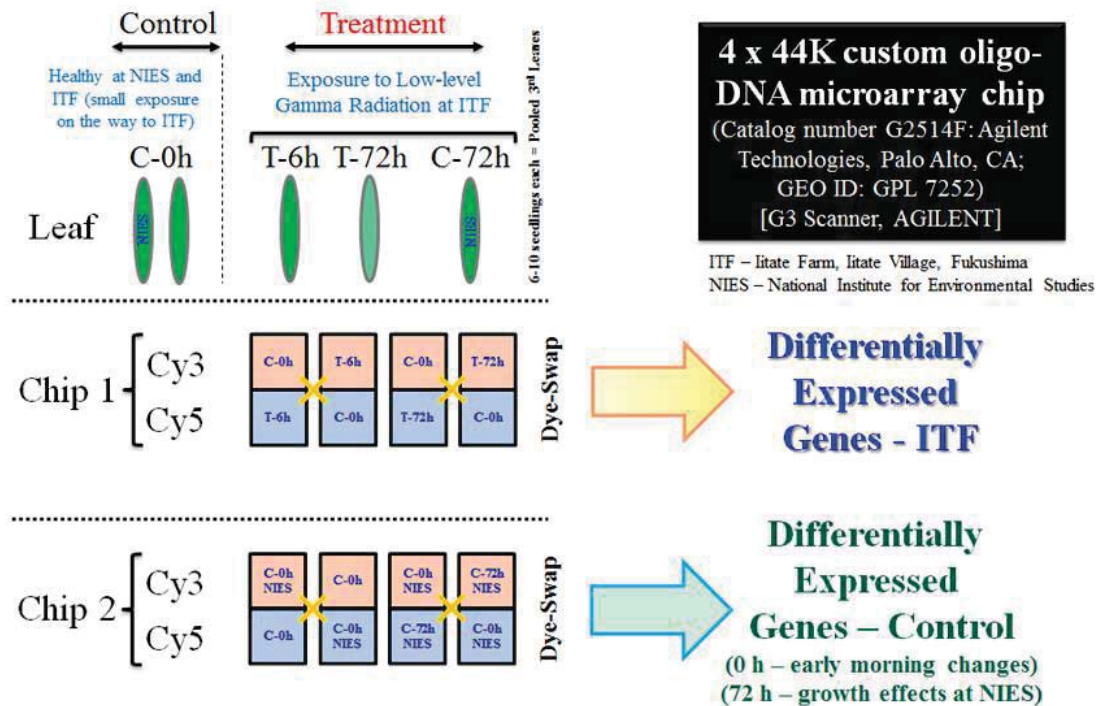
**Pathogenesis-Related
10a (PBZ1)**
(Probenazole-Induced Protein 1)
Plant DEFENSE/STRESS
response related
(RNase activity)
(Involved in Cell Death)



Gene expression analysis of 22 selected genes. Beta-actin gene was used to check the quality of cDNA and as a positive control. Relative abundance of gene expression calculated from the bands on agarose gels were plotted against treatment (gamma radiation) time and dose.

Journal of Heredity 2014;105(5):723–738 doi:10.1093/hered/esu025 - © The American Genetic Association 2014

Genomics – DNA microarray technology

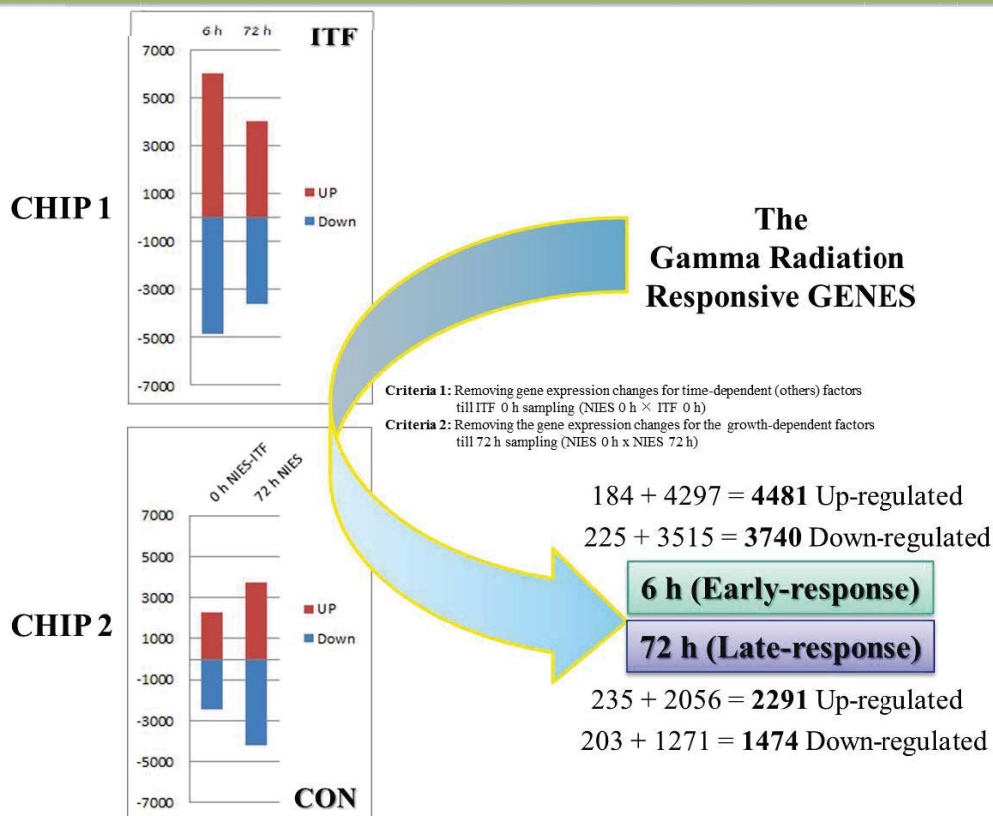


DNA microarray chip/slide design and placement of control and treatment sample sets using the dye-swap approach. Two 4x44K chips were used in this study.

Result 3: Gene expression changes genome-wide

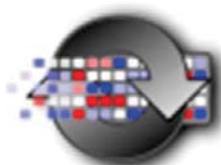
ProbeName	SystematicName	annotation	description	AK	Sequence	251784510080_1_1	251784510080_1_2	Fold	average	average
						On x 6h Iitate Farm	swap		Log	Fold
						gProcess	gProcess			
						seedSign	seedSign			
						rProcess	rProcess			
						edSign	edSign			
R5_c02_05	LOC_Os02g05470	CCT motif family protein, expressed	CCT domain containing pr	AK120401	TTAGAAT	784	299765	382.13	350176	2932
R5_c07_28	LOC_Os07g39740	esterase precursor, putative, express	Similar to Esterase precu	AK071404	CGGGAT	39	6767	173.76	6594	44
R5_c11_39	LOC_Os11g32650	chalcone synthase, putative, expres	Similar to Chalcone synth	AK067810	GTGAGG	1063	307008	288.85	294275	3784
R5_c01_00	LOC_Os01g06310	glycine-rich cell wall structural protein	Conserved hypothetical p	AK241045	CATGCA	42	11938	287.00	9596	130
R5_c01_01	LOC_Os01g22910	oxidoreductase, 2OG-Fe oxygenase	Conserved hypothetical p	AK241922	GTGTCC	53	7613	143.63	6456	46
R5_c02_09	LOC_Os02g46970	4-coumarate-CoA ligase 2, putative, Similar to 4-coumarate-Co	AK105636	TTGGGG	361	58045	160.66	69173	588	0.01
R5_c03_13	LOC_Os03g47610	thiamine biosynthesis protein thiC, p	Similar to Thiamine biosyn	AK120238	ATTGTTA	46	9939	217.64	10273	125
R5_c07_26	LOC_Os07g08150	early light-induced protein, chloroplas	Similar to Low molecular	LOC_Os07g0815	TCACAT	392	66831	170.55	65527	674
R5_c01_05	LOC_Os01g69840	expressed protein	Conserved hypothetical p	LOC_Os01g6984	AAACCTT	18	4507	245.36	4266	64
R5_c11_37	LOC_Os11g03240	transparent testa 12 protein, putative,	Multi antimicrobial extrus	AK067875	TATGGGT	409	49190	120.33	32853	242
R5_c01_04	LOC_Os01g59920	cysteine synthase, chloroplast precu	Similar to Cysteine synth	AK065664	TCCTCAA	63	5158	82.27	4824	26
R5_c02_09	LOC_Os02g46880	multidrug resistance protein 2, putativ	Similar to P-glycoprotein	AK106518	GGGGTTT	17	2322	138.39	2017	20
R5_c12_40	LOC_Os12g03230	transparent testa 12 protein, putative,	Multi antimicrobial extrus	LOC_Os12g0323	TGTATAT	342	38670	113.14	42931	357
R5_c09_32	LOC_Os09g08280	expressed protein	Conserved hypothetical p	AK119936	GTCGTA	97	13402	137.72	10832	114
R5_c04_18	LOC_Os04g68840	aspartic proteinase nepenthesin-2 pre	Peptidase A1, pepsin fam	AK060191	TGTCCTC	40	5609	139.57	4334	49
R5_c04_18	LOC_Os04g57880	dnaJ domain containing protein, exp	Similar to Chaperone prot	AK068186	GAGACG	162	22354	137.60	22791	255
R5_c11_39	LOC_Os11g32890	expressed protein	Conserved hypothetical p	AK063652	TTATGAA	16	1796	112.37	2187	21
R5_c05_21	LOC_Os05g43800	glbberellin 2-beta-dioxygenase, puta	2OG-Fe(II) oxygenase d	AK107211	GTGGGG	51	3446	67.80	3488	20
R5_c04_16	LOC_Os04g27790	terpene synthase 8, putative, expres	Terpenoid cyclases/prote	AK062280	GGAATC	16	1780	109.59	1697	17
R5_c12_40	LOC_Os12g02370	chalcone-flavanone isomerase, puta	Chalcone-flavanone isom	AK099443	AACCTC	234	23157	99.10	20775	185
R5_c01_04	LOC_Os01g62260	phenylalanine ammonia-lyase, putati	Similar to Phenylalanine	AK067801	TAAAGG	1107	167537	151.29	161207	2332
R5_c06_23	LOC_Os06g10350	anthocyanin regulatory C1 protein, p	Similar to P-type R2R3 M	AK062487	GTCCGT	72	5347	74.64	4929	36
R5_c03_10	LOC_Os03g05700	expressed protein	Conserved hypothetical p	AK109181	GGCTTTC	24	5616	235.15	4963	116
R5_c05_22	LOC_Os05g49920	pentatricopeptide repeat protein PPR1	Protein prenyltransferase	LOC_Os05g4992	ACTGCT	76	3590	47.40	3490	17
R5_c01_01	LOC_Os01g19770	stress-inducible membrane pore prote	Mitochondrial import inner	AK242170	TTATGTT	68	6099	89.07	6214	58
R5_c09_33	LOC_Os09g26260	ATP binding protein, putative, expres	Conserved hypothetical p	AK242363	GAAGAA	274	30876	112.74	37038	439
R5_c01_00	LOC_Os01g12440	thiazole biosynthetic enzyme 1-1, chl	Similar to Thiazole biosyn	AK064916	GATCCG	752	99498	132.37	89653	1284
R5_c10_35	LOC_Os10g17260	flavonoid 3-monooxygenase, putative	Similar to Flavonoid 3-mc	AK064736	GGCACT	657	73406	111.70	65158	827
R5_c07_26	LOC_Os07g08160	early light-induced protein, chloroplas	Similar to Low molecular	LOC_Os07g0816	GCTTATA	2160	300510	139.09	259321	4159
R5_c01_04	LOC_Os01g62260	osmontin-like protein precursor, putativ	Thaumatin, pathogenesis-r	AK060655	TCTAATG	286	36637	128.09	36143	537
R5_c06_23	LOC_Os06g21910	protein LE25, putative, expressed	Late embryogenesis abum	AK063726	TAATCAC	17	2620	158.22	2385	46
R5_c02_07	LOC_Os02g19640	IQ calmodulin-binding motif family pr	IQ calmodulin-binding regi	AK105486	TAACCTG	52	7297	139.74	7202	125
R5_c01_00	LOC_Os01g12440	ap2 domain protein, putative, expres	Similar to DNA binding pr	AK106517	ATGAGAA	166	19946	119.88	24690	385
R5_c07_26	LOC_Os07g04330	expressed protein	Conserved hypothetical p	AK064609	TGTGTAA	18	1786	97.49	1215	18
R5_c01_02	LOC_Os01g42190	dnaJ-like protein, putative, expressec	Heat shock protein DnaJ,	AK065697	AATGATC	159	19893	125.15	20015	396

Result 4: Gene expression changes genome-wide



Journal of Heredity 2014;105(5):723-738 doi:10.1093/jhered/esu025 - © The American Genetic Association 2014

Result 5: Bioinformatics analysis

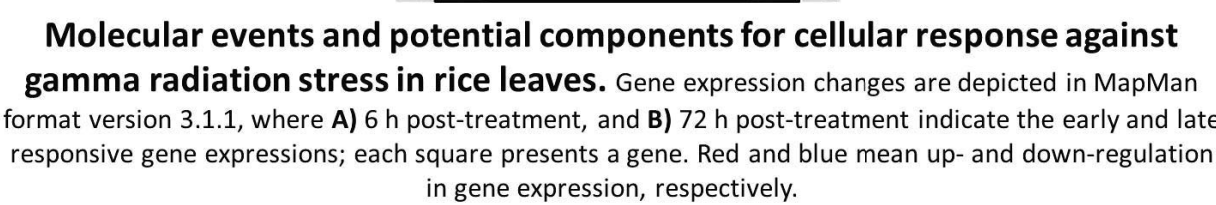


MapMan is a user-driven tool that displays large datasets (e.g. gene expression data from Arabidopsis Affymetrix arrays) onto diagrams of metabolic pathways or other processes.

MapMan

<http://mapman.gabipd.org/web/guest/mapman>

Bin	Functional Category	6 h UP		6 h DOWN		72 h UP		72 h DOWN	
		Count	%	Count	%	Count	%	Count	%
1	PS	2	1.1	1	0.4	1	0.4	0	0.0
2	major CHO metabolism	0	0.0	3	1.3	3	1.3	0	0.0
3	minor CHO metabolism	1	0.5	5	2.2	1	0.4	1	0.5
4	glycolysis	1	0.5	0	0.0	1	0.4	0	0.0
5	fermentation	1	0.5	0	0.0	0	0.0	1	0.5
7	OPP	0	0.0	1	0.4	0	0.0	0	0.0
8	TCA / org. transformation	1	0.5	1	0.4	0	0.0	3	1.5
10	cell wall	1	0.5	5	2.2	6	2.6	1	0.5
11	lipid metabolism	2	1.1	5	2.2	6	2.6	1	0.5
12	N-metabolism	1	0.5	0	0.0	0	0.0	0	0.0
13	amino acid metabolism	1	0.5	2	0.9	4	1.7	0	0.0
15	metal handling	0	0.0	1	0.4	1	0.4	2	1.0
16	secondary metabolism	2	1.1	3	1.3	11	4.7	4	2.0
17	hormone metabolism	4	2.2	2	0.9	10	4.3	12	5.9
18	Co-factor and vitamins metabolism	0	0.0	1	0.4	1	0.4	1	0.5
19	tetrapyrrole synthesis	0	0.0	0	0.0	2	0.9	0	0.0
20	stress	7	3.8	11	4.9	5	2.1	16	7.9
21	redox regulation	2	1.1	0	0.0	3	1.3	1	0.5
22	polyamine metabolism	1	0.5	0	0.0	0	0.0	0	0.0
23	nucleotide metabolism	0	0.0	0	0.0	2	0.9	1	0.5
26	misc	11	6.0	14	6.2	23	9.8	22	10.8
27	RNA	17	9.2	16	7.1	15	6.4	20	9.9
28	DNA	3	1.6	2	0.9	2	0.9	0	0.0
29	protein	45	24.5	19	8.4	25	10.6	11	5.4
30	signalling	3	1.6	22	9.8	15	6.4	19	9.4
31	cell	1	0.5	6	2.7	5	2.1	2	1.0
33	development	3	1.6	2	0.9	1	0.4	4	2.0
34	transport	6	3.3	7	3.1	9	3.8	6	3.0
35	not assigned	69	37.5	101	44.9	89	37.9	79	38.9
The number of non-redundant gene		184	100	225	100	235	100	203	100



Conclusions 1

- Journal of Heredity* 2014;105(5):723–738 doi:10.1093/hered/esu025 - © The American Genetic Association 2014

CONTENTS

Brief Introduction

- -Radiation
- - OMICS

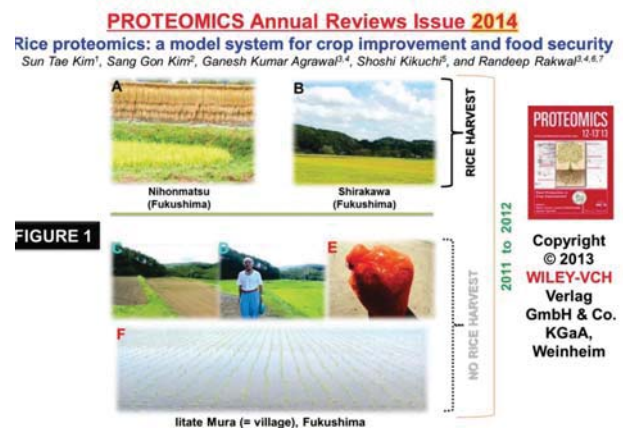
LEAF

TRANSCRIPTOMICS

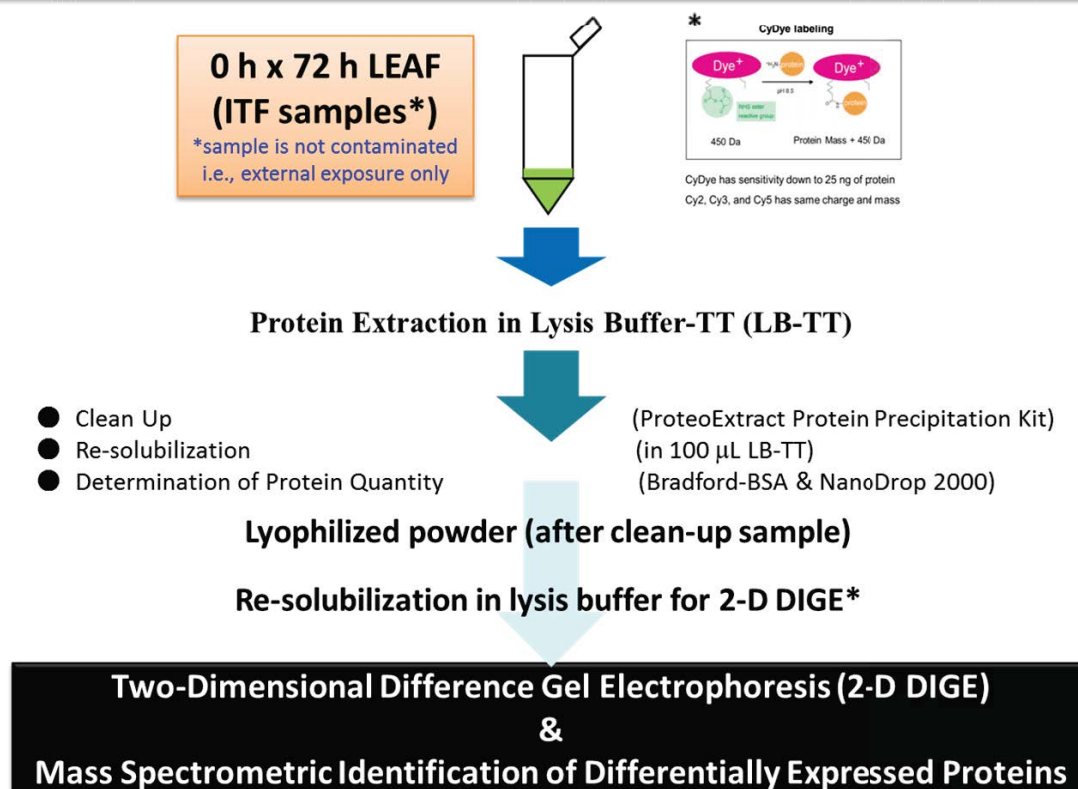
PROTEOMICS

SEED

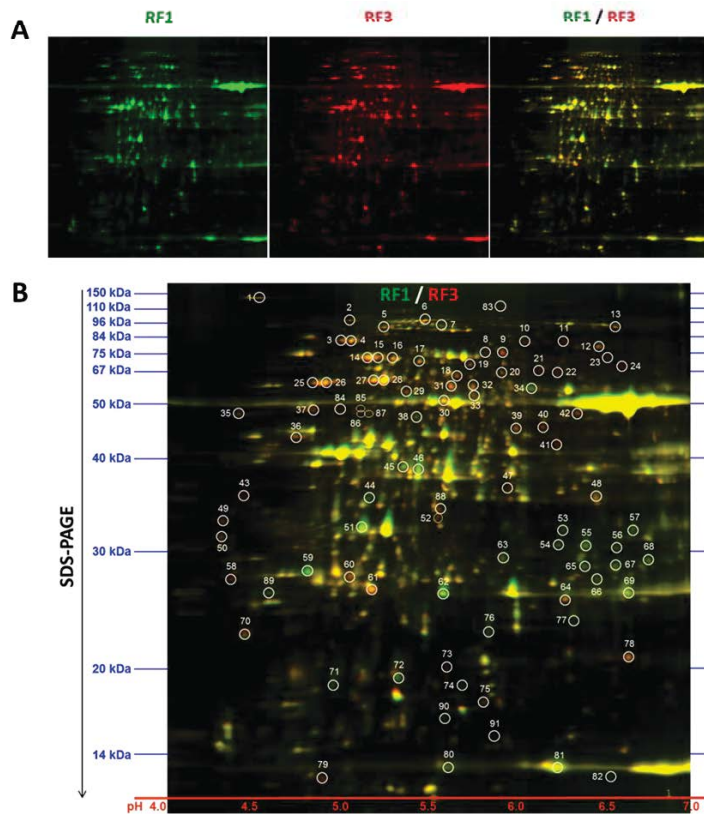
Genes to Metabolites



Exp 2: Rice Seedling Leaf – Proteomics/2-D-DIGE



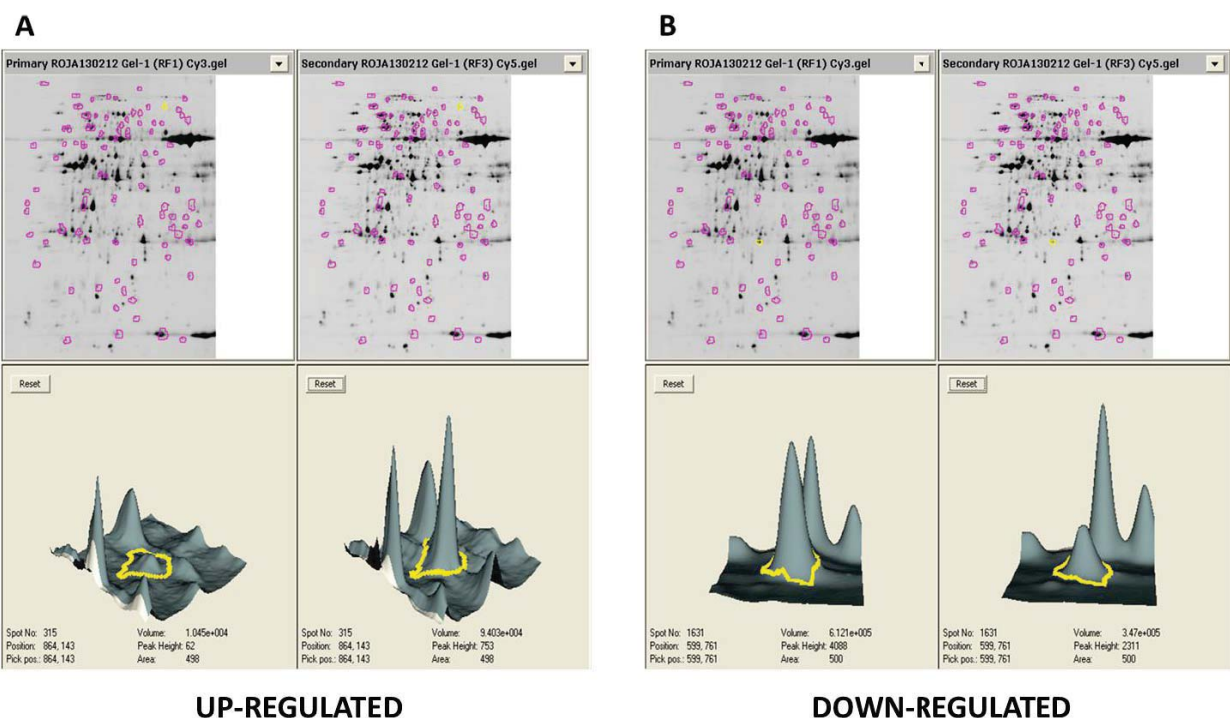
Results 7 – 72 hours after gamma radiation



The 2D-DIGE fluorescent labeled proteins. A) Side by side comparison of gel images showing the differently-labeled proteins from the control sample (RF1) and the irradiated sample (RF3), as well as a composite image of two (RF1/RF3). B) The labeled composite RF1/RF3 2D gel. Differentially expressed spots (91 in total) that were selected for extraction and MS analysis are marked.

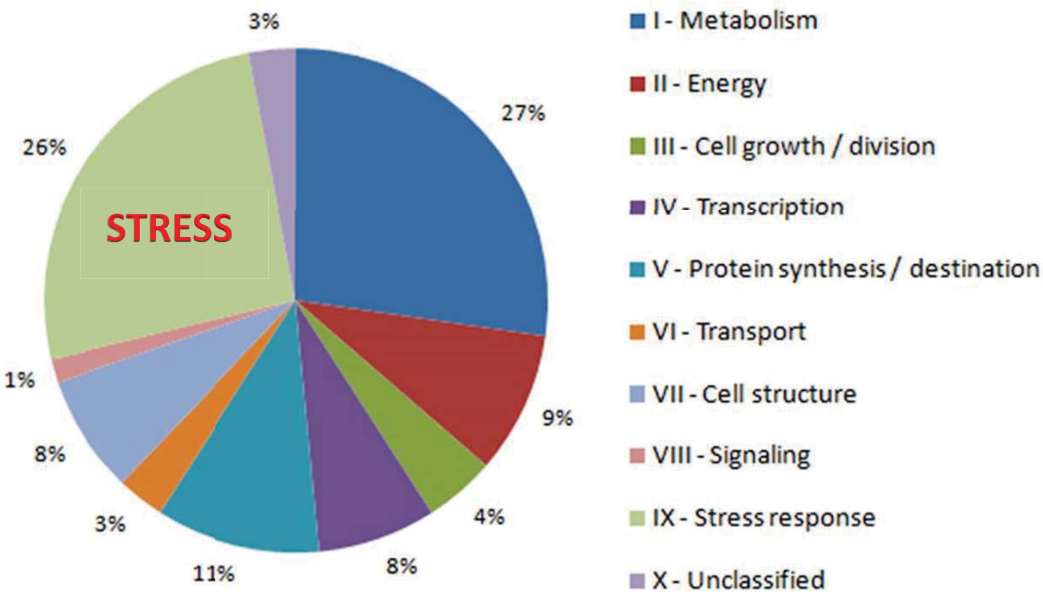
Copyright - Plant Signaling & Behavior 0:0, e1103406; October 1, 2015; © 2015 Taylor & Francis Group, LLC

Results 8 – Image analysis



Copyright - Plant Signaling & Behavior 0:0, e1103406; October 1, 2015; © 2015 Taylor & Francis Group, LLC

Results 9 – Functional categorization



Copyright - Plant Signaling & Behavior 0:0, e1103406; October 1, 2015; © 2015 Taylor & Francis Group, LLC

Results 10 – Identified proteins

Protein	Accession	Category	RefSeq ID	Spots (RP331/1000)
Putative thiamine biosynthesis protein	g01540205	I	8.51	21(13.48), 22(3.54)
DEAD-box ATP-dependent RNA helicase 3, chloroplastic	RA3_ORYSJ	IV	6.22	11
Chalcone synthase 1	CHS1_ORYSJ	IX	4.52	41
Oxidoglutarate dehydrogenase	g01154400	V	4.19	9
Putative protein AB22	AB22_ORYSJ	VII	4.13	43
Chloroplast 20 kDa chlorophyll-binding protein	g01430245	VI	3.44	3
Tubulin alpha-2 chain	TBA2_ORYSJ	VII	3.27	84(3.11), 85(3.13), 86(3.55)
Subunit C2 large subunit-binding protein subunit beta, chloroplastic	g0206077	I	3.08	26
Phenylalanine ammonia-lyase	PAAL_ORYSJ	I	2.95	23
Proteinase subunit alpha type-1	PRAL_ORYSJ	I	2.94	52
Cysteine protease 1	C1SP1_ORYSJ	I	2.82	73
putative chaperonin 21 precursor	g01020752	IX	2.65	61
Oxidoglutarate dehydrogenase	g01154400	V	2.55	27
Lactoylglutathione lyase	LGLL_ORYSJ	IX	2.52	68
Putative iron-sulfur cluster dehydrogenase	g04240701	II	2.49	47
Subunit C2 large subunit-binding protein subunit alpha, chloroplastic	g0141510	I	2.46	26
Endonuclease Dicer homolog 1	DCL1_ORYSJ	IV	2.35	8(2.21), 79(2.58)
S-adenosylmethionine synthase 2	ME72_ORYSJ	III/IV	2.32	39
Phosphoglucanase, cytosolic 2, putative, expressed	g01070712	I	2.27	19
Chloroplast inner envelope protein, putative, expressed	g01020937	X	2.17	6
Protein STAB1	STAB1_ORYSJ	VI	2.15	11(1.70), 16(2.51), 25(2.10)
Alcohol dehydrogenase	g01430140	IX	2.14	78
Tubulin alpha-1 chain	TBA1_ORYSJ	VII	2.10	47
Beclin1, FubR1-like, cytosolic 70 kDa protein	g013050	IX	2.09	15
Ketol-acid reductoisomerase, chloroplastic	KLVL_ORYSJ	I	2.07	31(2.39), 32(1.75)
5-methyltetrahydropteroylglutamate homocysteine methyltransferase, putative, expressed	g01000292	I	2.02	12
Oxidoglutarate dehydrogenase	g01154400	V	2.02	10
Cysteine lyase	C1YS_ORYSJ	IX	1.99	75
Heat shock protein 70	g01064207	IX	1.98	14
Heat shock protein 70-like	g01064207	IX	1.96	3
Nucleic acid-binding protein-like	g04240704	X	1.94	49
ATP-dependent zinc metalloprotease FTSH 1, chloroplastic	FTSH1_ORYSJ	IX	1.92	16
Triosephosphate isomerase, cytosolic	TPI1_ORYSJ	VII	1.87	60
Endonuclease Dicer homolog 3a	DCL3A_ORYSJ	IV	1.85	27
Proteinase 1, chloroplastic	PRP1_ORYSJ	I	1.85	26
Transcriptionally controlled tumor protein homolog	TCTP_ORYSJ	VIII/IX	1.78	70
Thioredoxin reductase NTRC	NTRC_ORYSJ	VIII/IX	1.77	33
Oxidoglutarate dehydrogenase	g01154400	V	1.74	4
Oxidoglutarate dehydrogenase	g01154400	I	1.70	20
Cell division cycle protein 40, putative, expressed	g01020914	IX	1.64	5
Oxidoglutarate dehydrogenase	g01154400	IX	1.63	13
Putative heat shock 70 kDa protein, mitochondrial precursor	g01064207	IX	1.62	17
GDP-dependent dehydroascorbate reductase 1	g01020937	IX	1.54	44
Catalase	CALR_ORYSJ	V	1.53	35
ATP synthase subunit beta, chloroplastic	ATPB_ORYSJ	I	1.52	30
Exonuclease 1, cytosolic	EXN1_ORYSJ	V	1.51	50
Ribulose biphosphate carboxylase small chain, chloroplastic	RBS1_ORYSJ	I	0.95	2(1.85), 24(5.36), 86(1.55), 82(1.84), 29(1.85), 34(2.01), 91(1.78)
ATP synthase subunit alpha, chloroplastic	ATPA_ORYSJ	I	0.61	74(3.33), 83(4.57)
83 domain-containing protein Oxi3p120500	Y123P120500	IV	0.52	48(2.55), 46(2.60), 45(2.39), 48(1.51), 51(2.14)
S-adenosylmethionine synthase 1	ME7N1_ORYSJ	III/IV	0.10	48(2.55), 46(2.60), 45(2.39), 48(1.51), 51(2.14)
Ribulose biphosphate carboxylase/oxygenase activase, chloroplastic	RCA_ORYSJ	I	-0.98	42(2.10), 55(2.16), 54(2.44), 55(2.36), 56(2.18), 57(2.20), 63(1.80), 65(2.04), 66(1.85), 67(1.95), 68(2.04), 69(1.55), 78(2.27), 77(1.76), 90(2.07)
Pyruvate, phosphate dikinase 2	PPDK2_ORYSJ	II	-1.76	7
Ribulose biphosphate carboxylase large chain	RBL_ORYSJ	I	-1.79	42(2.10), 55(2.16), 54(2.44), 55(2.36), 56(2.18), 57(2.20), 63(1.80), 65(2.04), 66(1.85), 67(1.95), 68(2.04), 69(1.55), 78(2.27), 77(1.76), 90(2.07)
Germ-line protein 5-14	GL514_ORYSJ	IX	-1.86	76
Exonuclease 1, cytosolic	EXN1_ORYSJ	V	-2.16	38
Chlorophyll a-b binding protein 2, chloroplastic	CB22_ORYSJ	II	-2.38	59
Chloroplast 22 kDa polypeptide of photosystem I	g01430245	II	-2.55	62
2-Cys zinc metalloprotease BAC1, chloroplastic	BAC1_ORYSJ	IX	-2.85	72(2.25), 80(3.44)
Oxidoglutarate dehydrogenase	g01154400	IX	-4.14	44

1: Protein accession number (GI or UniProt); 2: I: metabolism, II: energy, III: cell growth/division, IV: transcription, V: protein synthesis/destination, VI: transport, VII: cell structure, VIII: signaling, IX: stress response, and X: unclassified; 3: RP331/1000 ratio as a mean of the individual values from all spots of the same protein (more than one); 4: Spots in which the protein was identified, as well as RP331/1000 ratio for each spot (if more than one).

Copyright - Plant Signaling & Behavior 0:0, e1103406; October 1, 2015; © 2015 Taylor & Francis Group, LLC

Chalcone synthase 1 (CHS1_ORYSJ) is a key enzyme of the flavonoid/isoflavonoid biosynthesis pathway, and has been shown to have a strong expression in plants under a variety of stress conditions. Our study also identified it as having a significantly enhanced expression in the leaves.

Conclusions 2

- High-throughput proteomic 2D-DIGE identified 91 differentially expressed protein spots in the leaves of rice seedling subjected to ambient low-level gamma radiation from a site (field) heavily contaminated by radionuclides from the nuclear (FDNPP) accident site (Fukushima).
- MS analysis, the proteins in these spots were identified, resulting in a total of 59 non-identical proteins amongst the differentially expressed proteins.
- The identified proteins were divided into 10 functional categories, as a means to better visualize which aspects of the rice plant (leaf) metabolism was most affected by the exposure to gamma radiation.
- Overall the majority of differentially expressed proteins were up-accumulated, and that general cell metabolism (nucleotide metabolism, etc.) proteins were the most significantly up-accumulated, while energy metabolism (carbohydrate metabolism, photosynthesis, etc.) ones were more negatively affected, particularly those in the photosynthesis process.
- Moreover, stress and defensive proteins were generally up-accumulated, but curiously, some key proteins for defense against oxidative stress had their expression greatly reduced, even though this is one of the most likely types of stress damage likely to occur in the presence of ionizing radiation.

Journal of Heredity 2014;105(5):723–738 doi:10.1093/jhered/esu025 - © The American Genetic Association 2014



CONTENTS

☐ Brief Introduction

- ☐ -Radiation
- ☐ - OMICS

☐ LEAF

➤ TRANSCRIPTOMICS

➤ PROTEOMICS

☐ SEED

➤ Genes to Metabolites



Exp 3: Seed – Collaboration / Agilent Technologies

RICE GROWTH AT NIES for litate Mura(ITM): Koshihikari / Akitakomachi



Rice Seed – Harvest and experimental strategy

EXP. 1: Comparison between contaminated soil (1) versus clean soil (2).

TREATMENT(i) 10.5 g		CONTROL(c) 51.79 g	
Sample1:1-2_Koshihikari_ITF_seed = 59 Bq/kg (Cs-134) / 48 Bq/kg (Cs-137)		Sample2:4_Koshihikari_Minamisoma_seed = 4 Bq/kg (Cs-134) / 4 Bq/kg (Cs-137)	
 Koshihikari grown in contaminated soil at ITF, litate Village		 Koshihikari grown in normal soil at Minamisoma	
Germination Rate:		Germination Rate:	
			
Seed Quality:		Seed Quality:	

NOTE – seeds shown above are total actual seeds obtained from one plant each

Rice Seed – Harvest and experimental strategy

EXP. 2: Comparison between contaminated soil (3) versus decontaminated soil (4).

TREATMENT(i) 5.3 g		CONTROL(d) 44.95 g	
Sample3:2_Akitakomachi_ITF_seed = 23 Bq/kg (Cs-134) / 22 Bq/kg (Cs-137)		Sample4:5_Akitakomachi_I(Komiya)_seed = 7 Bq/kg (Cs-134) / 7 Bq/kg (Cs-137)	
Germination Rate:  		Germination Rate:  	
Seed Quality:		Seed Quality:	

Agilent Technologies

Confidentiality Label
November 16, 2015
9

Objectives & Workflow

Evaluate the effect of low level gamma radiation on rice seeds by using multi-omics approach

1. Gene expression (Microarrays and qPCR)



2. Metabolomics (GCMS and LCMS)



EXP. 1: Comparison between contaminated soil (1) versus clean soil (2).

TREATMENT(i) 10.5 g	CONTROL(c) 51.79 g
Sample1:1-2_Koshihikari_ITF_seed = 59 Bq/kg (Cs-134) / 48 Bq/kg (Cs-137)	Sample2:4_Koshihikari_Minamisoma_seed = 4 Bq/kg (Cs-134) / 4 Bq/kg (Cs-137)

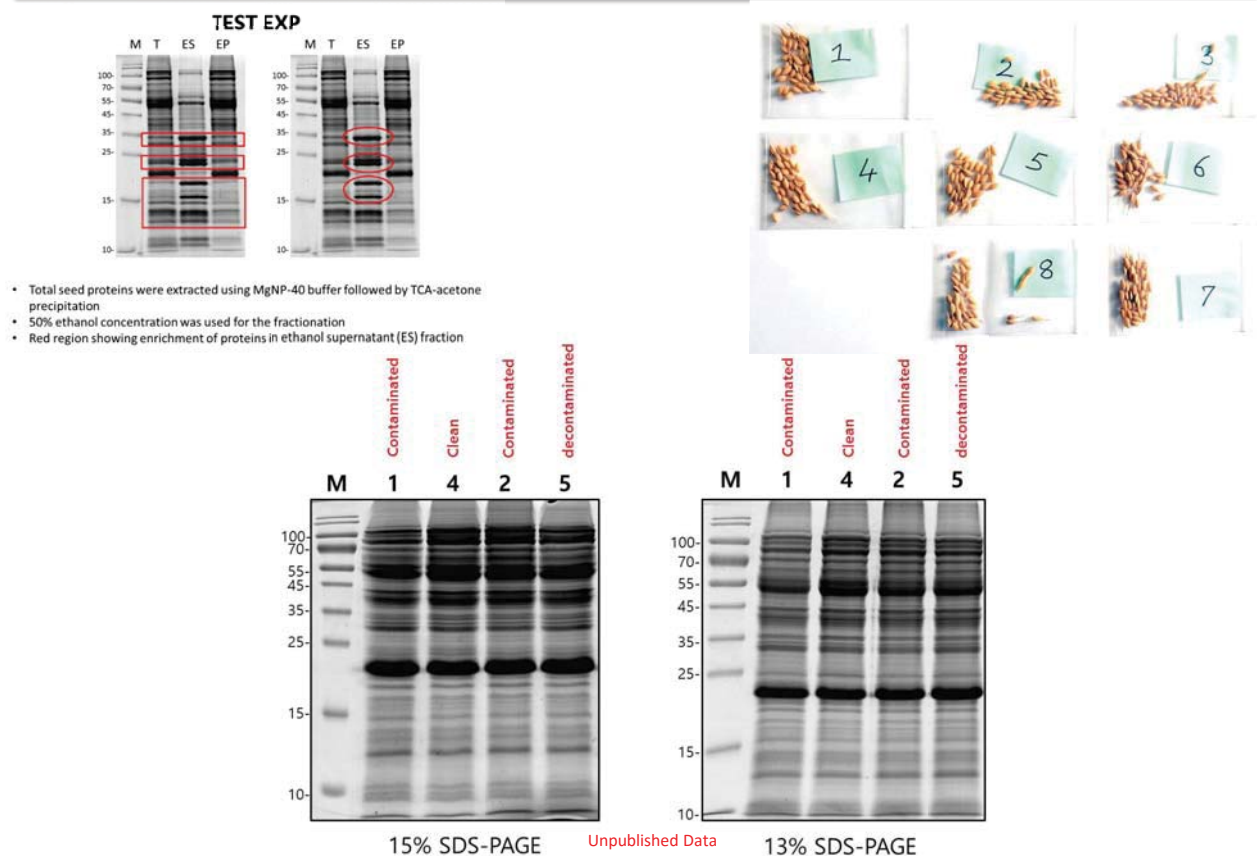
Workflow



- ❖ Data analysis using GX module of GeneSpring revealed a total of 2331 differentially regulated genes with $p\text{-value} \leq 0.05$ and fold change cut off of ≥ 2.0 in seeds harvested from rice plants grown in the contaminated soil; i.e., exposed to low level internal and external gamma radiation. Among these, 1891 genes were up-regulated and 440 genes were down-regulated.
- ❖ A total of 383 metabolites were identified from rice seeds by using GC/MS and LC/MS techniques.

ANALYSIS IN PROGRESS

Exp 4: Seed – Collaboration / PNU, South Korea



Application Note



A Multi-omic Approach to Reveal the Effect of Low-level Gamma Radiation on Rice Seeds

Application Note

Authors

Hayashi, G.¹, Shibato, J.^{2,3}, Kubo, A.⁴, Imanaka, T.⁵, Agrawal, G.K.⁶, Shioda, S.^{7,8}, Fukumoto, M.⁹, Dros, G.¹⁰, and Rakwal, R.^{11,12}

Deepak SA¹, Seetaramanjeyulu Gundimeda¹, Upendra Simha¹, and Arunkumar Padmanaban¹

¹Tohoku University

²Showa University

³Hoshi University

⁴NIES, Japan

⁵Kyoto University

⁶RLAB, Nepal

⁷HAS, Hungary

⁸University of Tsukuba, Japan

⁹Agilent Technologies, Bangalore

Abstract

This Application Note describes the workflow for identifying the stress-related transcriptomics and metabolomics biomarkers in rice using Agilent multi-omics solutions. We studied the effects of low-level gamma radiation on seeds of rice plants grown in litate farm (ITF) of litate village in Fukushima prefecture, using Agilent sample preparation consumables, instrumentation, and software tools. We generated high quality transcriptomics/metabolomics data, and integrated them using Agilent GeneSpring/Mass Profiler Professional (MPP) 13.1 Software. The combined multi-omics analysis revealed modulation of several metabolic and defense pathways related to the stress response of plants. Our results suggest that the rice plants grown in radionuclide-contaminated soil form seeds with an elevated defense capability against stress. This study demonstrates the Agilent multi-omics workflow for performing gene expression and metabolite analysis on samples derived from plant sources.



Agilent Technologies

- ✓ Helps talk about a problem that is not being widely investigated...
- ✓ Collaboration within Japan, and globally...
- ✓ Good science...
- ✓ Helps keep Fukushima in the news...
- ✓ May help **Meguro san** grow rice one day.

A long road ahead



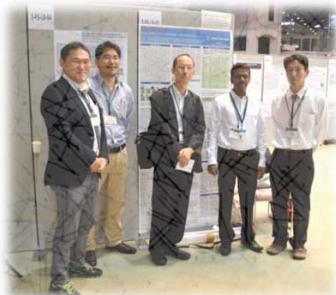
Generation Next – Let's not Forget



Thank You

Concluding Remarks

**"Technological Innovation
&
ACTIVE COLLABORATION
are the key to success"**



AGILENT



Dr. KUBO

Additional 1

Ionizing/Non-ionizing (Sv – Gy)



Non-ionizing
radiation



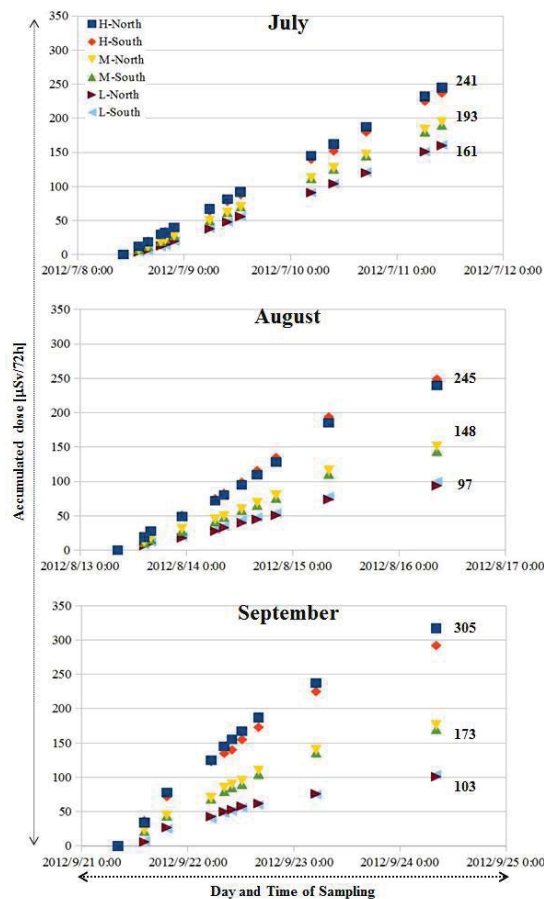
Ionizing
radiation

- **Ionizing radiation** is radiation composed of particles that carry enough energy to liberate electrons from atoms or molecules without raising the temperature of the material.
- ✓ Ionizing radiation is generated through nuclear reactions, by very high temperature (e.g. the corona of the Sun), in particle accelerators, or due to charged particles acceleration in electromagnetic fields produced by natural processes, for example, during lightning.

Sievert	
<u>Unit system</u>	<u>SI derived unit</u>
Unit of	Health effect of ionizing radiation
Symbol	Sv
Named after	<u>Rolf Maximilian Sievert</u>

A sievert (Sv) is the SI derived unit of equivalent radiation dose, effective dose, and committed dose. One sievert is the amount of radiation necessary to produce the same effect on living tissue as one gray of high-penetration x-rays. Quantities that are measured in sieverts represent the biological effects of ionizing radiation. **1 sievert is the energy absorbed by one kilogram of biological tissue, which has the same effect as one gray of the absorbed dose of gamma radiation.** Therefore the sievert can be expressed in terms of other SI units as $1 \text{ Sv} = 1 \text{ J/kg}$.

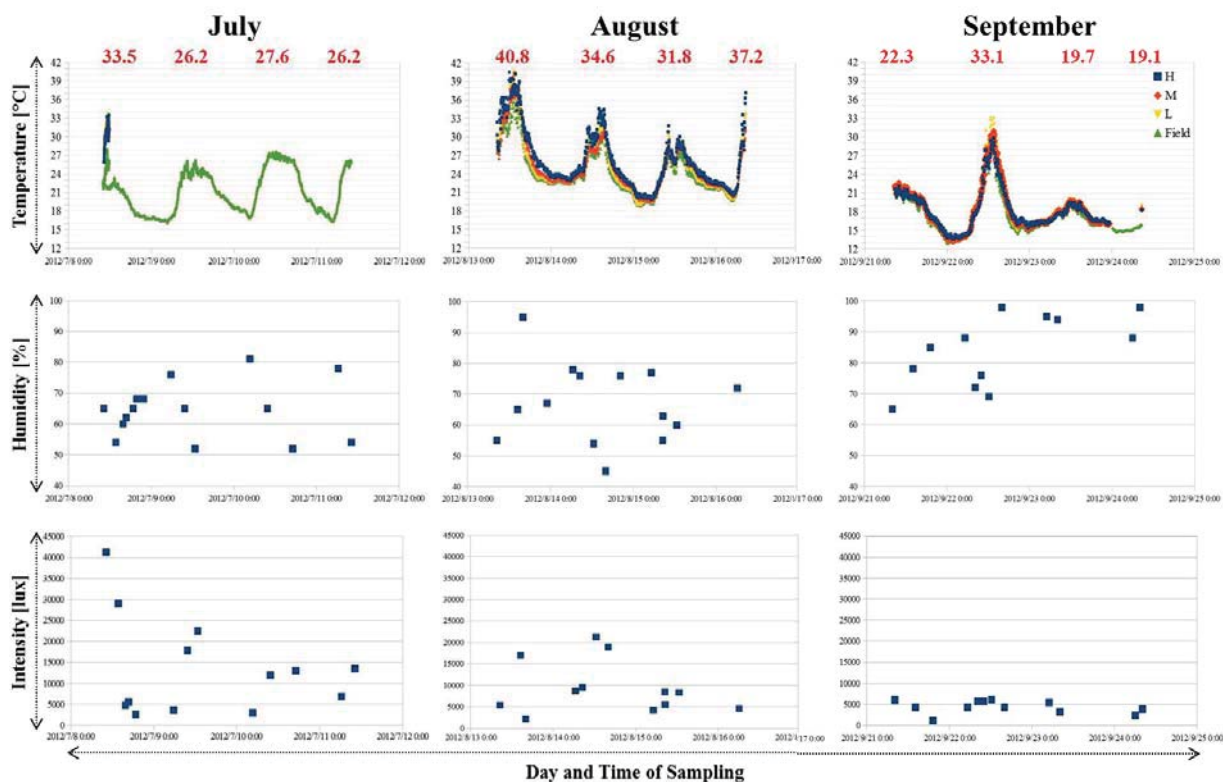
Additional 2



Accumulated radiation dose for each day of the experimental periods in July, August, and September of 2012. In each month, the values indicated to the right-hand side of each point line, indicates the maximum accumulated dose that was measured at the last time point sampled.

MYDOSE mini electronic pocket dosimeter (model PDM-222-52, ALOKA, Japan)

Additional 3



Additional 4

2. Materials

2.1. Seed and Seed Treatment, Plant Material and Storage

1. Dry mature seeds of rice (*Oryza sativa* L.) cv. Nipponbare. (see Note 1).
2. Sterilizing solution: 4-fold diluted sodium hypochlorite (Wako Pure Chemicals, Tokyo, Japan) solution in Milli Q water, and distilled or Milli Q water.
3. Sterile glass beaker (300 mL).
4. Dark room (25°C).
5. Soil (Nursery soil for rice seedling growth and transplantation, JA Zen-Noh, Japan; <http://www.zennoh.or.jp/>).
6. Seedling pot (14 mm x 5 mm x 10 mm::L x W x H).
7. Growth chamber (Biotron LPH-220S, NK Systems, Osaka, Japan) equipped with white fluorescent light (wavelength 390-500 nm, 150 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$), temperature (25°C) and relative humidity (70%).
8. 3rd and/or 4th leaves of two-week-old rice seedlings. (see Note 2).
9. Liquid nitrogen (N_2).
10. Sterile/clean mortar and pestle.
11. Aluminium foil, 2 mL microfuge tubes and 14 mL Falcon tubes.
12. Collect the materials, immediately freeze with liquid nitrogen, and store at -80°C.

3.1. Seed Treatment, Germination and Growth Condition and Storage

1. Pour 30 mL sterilization solution into a 50-mL falcon tube containing rice seeds.
2. Sterilize the seeds 30 min with constant shaking on a rotary shaker.
3. Wash the seeds 5 times with Milli Q water (30 mL) for 5 min each.
4. Pour the sterilized and washed seeds along with Milli Q water into a glass beaker.
5. Wrap the glass beaker with aluminum foil and place it in a dark room at 25°C.
6. Replace the Milli Q water of the glass beaker everyday for 3 days or more.
7. Prepare seedling pot with soil, and place it in a tray containing water.
8. Sow each germinated seed in a neat row (4 rows of 10 seeds each) in the soil, and cover them with soil.
9. Place the tray (containing seedling pots) inside a growth chamber.
10. Incubate for 2 weeks, with watering everyday from top of the seedlings in the tray below.
11. Harvest 3rd and/or 4th leaves, stems (leaf sheath), seed and root.
12. Plant materials, such as leaf (*in vitro* model system), or whole plants (*in vivo* model system) can be treated with various chemicals or stress factors
13. Keep plant material as such or after grinding to fine powder in aluminum foil or tubes and freeze in liquid N_2 , store at -80°C deep freezer.

Copyright Improve Consultancy

Our Protocol

WE WILL FOLLOW THE NIES GREENHOUSE STAFF PROTOCOL FOR ITMURA EXPERIMENT (STARTING JULY 8TH, 2012)

Additional 4.1

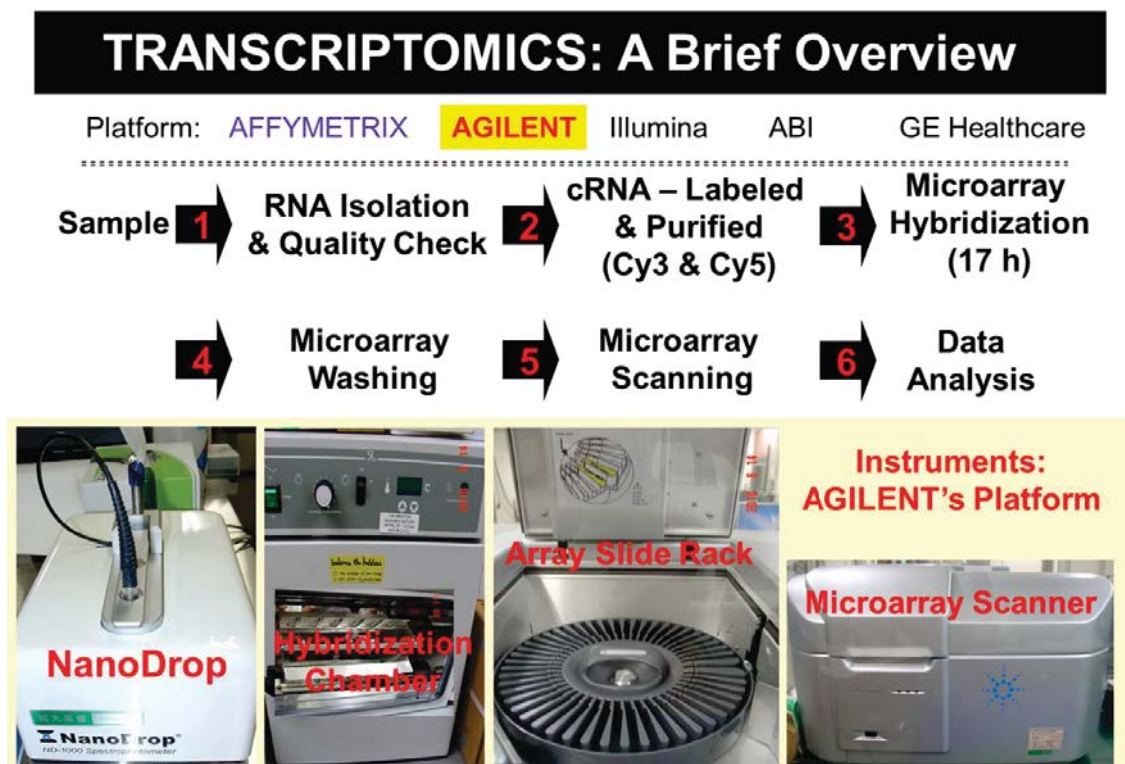
EXAMPLE OF HOW WE DID...



Additional 4.2



Additional 5



Zahurak et al. (2007) Pre-processing Agilent microarray data. BMC Bioinformatics 8: 142

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、佐藤斉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（ホルダーのままとアルミ箔 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間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。

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)

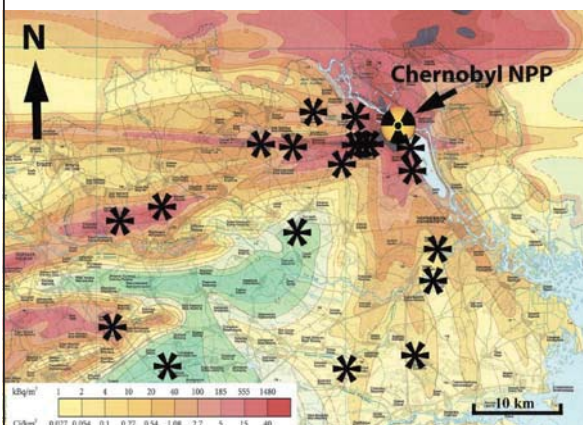


飯舘村
除染作業
July 18.2015

放射性物質に汚染された土壌が生物に与える影響は？

・土壌中・表面の節足動物・環形動物――分解者

チェルノブイリでの実験結果 (Mousseau et al. 2014, Oecologia 175: 429-437)

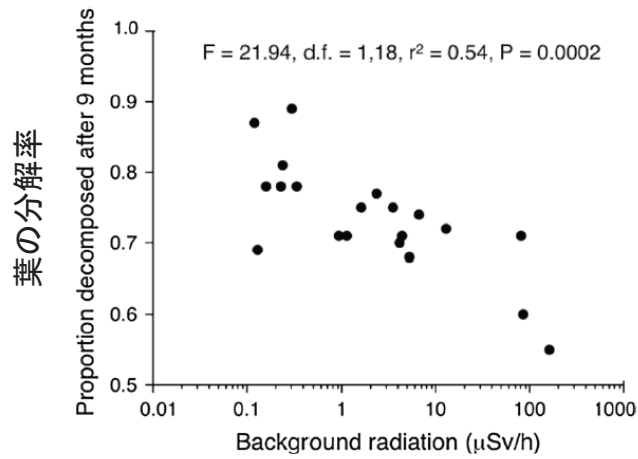


・4種類の乾燥落ち葉を
ネットに入れ、土に埋める

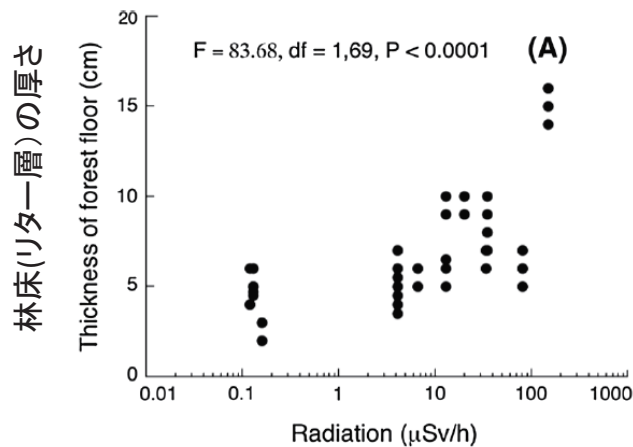
・9ヶ月後、葉の分解率を調べる

・地表の線量が高いほど、葉の分解率は
低く、葉は分解されにくい

・地表線量が高いほどリター層が厚い。
このため、葉のミネラル分が土に
還っていかない。
森林の生長に悪影響？



(Mousseau et al. 2014)



(Mousseau et al. 2014)

土壌節足動物の密度
と放射線量との関係は
調べられていない。
放射線が生物に影響して
いるかは不明

土壌・コケ試料

- ・福島県浪江町赤生木 手七郎 民家の雨樋の下の土
- ・浪江町赤生木のスギゴケ



コントロール試料

北海道産腐葉土
(原発事故以前)

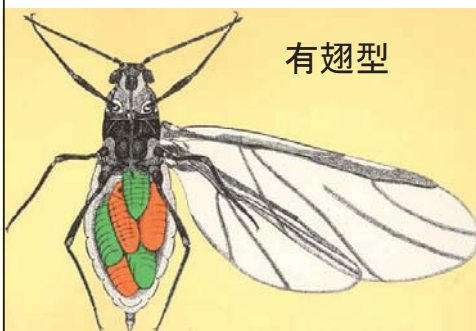


岩見沢市スギゴケ



昆虫試料

トドノネオオワタムシ(雪虫)の越冬卵



有翅型



ヤチダモ幹



越冬卵
(長径1.2mm)

野外卵 ヤチダモ幹上で5ヶ月半 休眠越冬

越冬卵(11月上旬) → 越冬 → 4月下旬に孵化

昆虫試料

土壌：容器あたり100卵

スギゴケ：容器あたり50卵



1 齢幼虫



低温保持後、19℃ 6h/6℃ 18hの変温条件下で孵卵
顕微鏡下で毎日孵化数をカウント

放射線感受性が高い胚発生過程への影響を評価

放射線量の計測

ガラス線量計素子(千代田テクノルGD-302M)

- 1) ラップ捲き 13本
- 2) アルミテープ3重巻き(厚さ0.6mm の遮蔽) 6本



実験設定

処理	容器	卵数/容器	卵数計
①土壌被曝4ヶ月	5	100	500
コントロール	5	100	500
②土壌被曝3ヶ月	5	100	500
コントロール	5	100	500
③スギゴケ被曝4ヶ月	10	50	500
コントロール	7	50	350

被曝実験



鉛ブロックによりコントロール区
を被曝区から遮蔽

越冬中はほぼ 0℃で維持

土壌とコケのCs-137濃度

表 3. 越冬培地の Cs-137 濃度と総量

	容器	中身重量、g	Cs137 濃度、Bq/g	Cs-137 総量、Bq
土壌	R1	8.77	3300	29000
	R3	9.27	2140	20000
	R5	9.39	2200	21000
	R7	8.59	2400	21000
	R9	11.94	2600	31000
コケ	M1	1.40	105	150
	M3	1.85	63.7	120
Control	CR1	9.92	0.01	0.1

表 1. ガラス線量計素子読み取り結果

4ヶ月被曝

	容器 番号	ホルダーままの素子		アルミ 0.6mm 巻きの素子	
		素子番号	読取值、mGy	素子番号	読取值、mGy
土壌	R1	337	104.73 ± 0.07	331	62.70 ± 0.05
	R3	344	54.38 ± 0.10	—	—
	R5	345	52.15 ± 0.07	—	—
	R7	341	54.29 ± 0.06	335	33.89 ± 0.04
	R9	350	54.90 ± 0.04	—	—
コケ	A1	346	9.87 ± 0.02	—	—
	A3	338	6.85 ± 0.01	332	7.95 ± 0.01
	M1	347	5.10 ± 0.01	—	—
	M3	339	6.85 ± 0.01	333	5.94 ± 0.01
	T1	348	3.68 ± 0.01	—	—
Control	T3	340	4.81 ± 0.01	334	5.69 ± 0.01
	CR1	342	0.390 ± 0.001	336	0.226 ± 0.0004
	CA1	343	0.213 ± 0.001	—	—
	CR5	349	0.193 ± 0.0004	—	—

	ホルダーまま	アルミ巻
土壌の卵	50数 mGy	33.9
コケの卵	4～10 mGy	6.0～8.0
コントロール卵	0.2～0.4 mGy	0.2

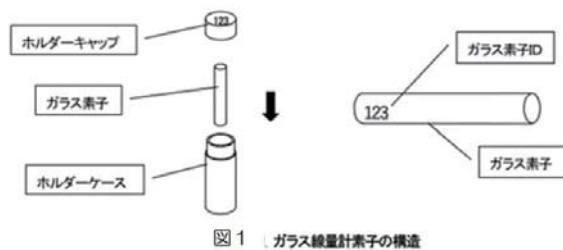
被曝量推定

プラスチック製ガラス素子ホルダーの β 線遮蔽効果

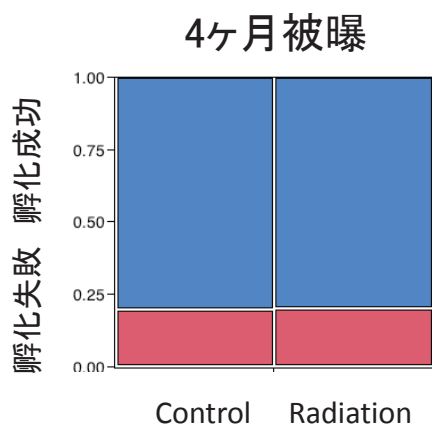
ホルダーなしの場合の β 線量率は3.4 倍

汚染土壌での総線量 ($\beta + \gamma$) = $69 + 33.9 = 103 = \text{約}100\text{mGy}$

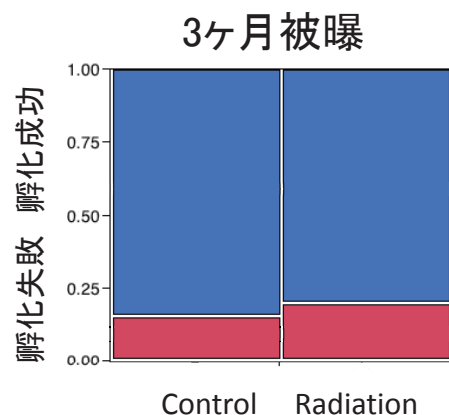
- ・雪虫卵の4ヶ月間の土壌からの被曝量は約100mGy で、そのうちベータ線とガンマ線の寄与は約2対1
- ・スギゴケからは4ヶ月間で、4～10 mGy の被曝。ほぼガンマ線のみ



孵化成功率比較



Mixed model, glmer in R
radiation /control P=0.690



Mixed model, glmer in R
radiation /control P=0.254

孵化率には、被曝区とコントロール区で有意差が無い

スギゴケ区では評価せず

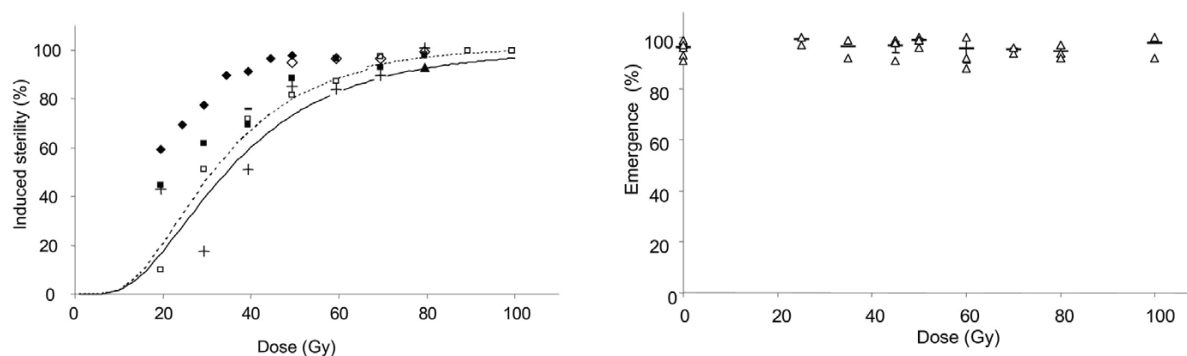
孵化日結果まとめ

実験区	被曝線量	孵化日 平均値変化	平均値変化/ Control標準偏差 ($M_T - M_C$)
4ヶ月被曝 土壌	100mGy	-0.553日	-0.199
3ヶ月被曝 土壌	75mGy	-0.490日	-0.253
4ヶ月被曝 スギゴケ	4-10mGy	-1.064日	-0.443

他照射実験との比較

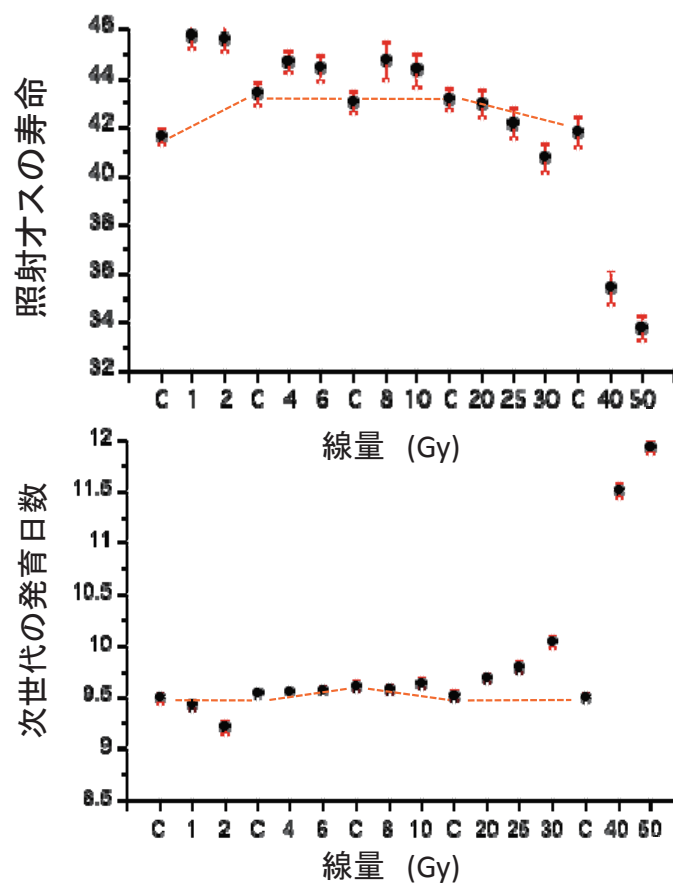
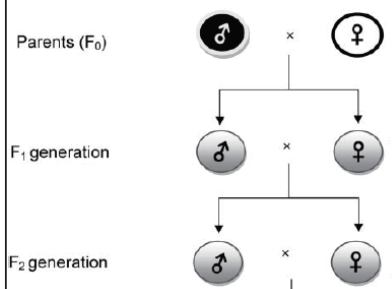
害虫の不妊化を目的にしているために、高い線量(数10～数100 Gy)をサナギあるいは成虫の初期に照射

ハマダラカ *Anopheles arabiensis* (Helinski et al. 2006)



雄成虫の平均寿命は、100Gy以下のガンマ線照射で、コントロール区と同じか、あるいはやや伸びる

キイロショウジョウバエ
オスにガンマ線照射
(Shameer et al. 2015:
Ent. Sci. 18: 368-)



今後の予測

実験区	被曝線量	孵化日 平均値変化	平均値変化/ Control標準偏差 ($M_T - M_C$)
より強い線量	数Gy	+ ?	+?
4ヶ月被曝 土壌	100mGy	-0.553日	-0.199
3ヶ月被曝 土壌	75mGy	-0.490日	-0.253
4ヶ月被曝 スギゴケ	4-10mGy	-1.064日	-0.443

結論と今後の予測

低線量被曝の条件下で、ユキムシ卵は放射線に反応している（～100mGy）

長期的な影響に関しては、なお不明。長期飼育の必要

卵発生期間の中で、放射線の影響は累積したのか？
あるいは、感受期があるのか？

越冬卵(11月下旬) → 越冬 → 3月下旬に孵卵



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。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。

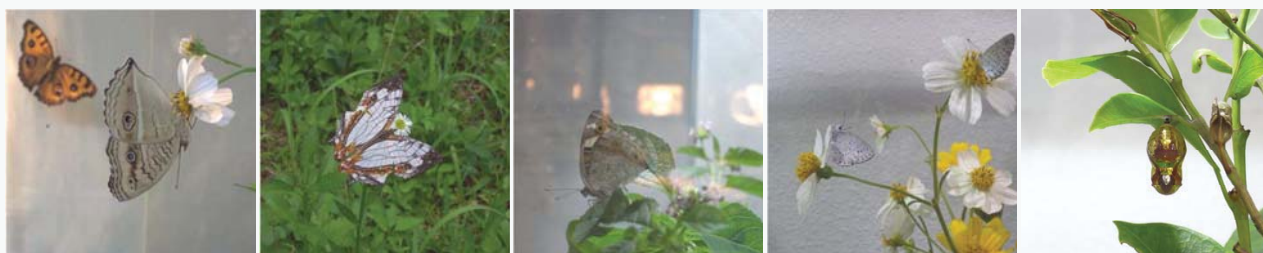
結果▶ 最高到達距離・天井到達率・10分後の位置の3日間の平均値と、個体ごとの積算外部照射量は、弱い負の相関を示した。

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。

ヤマトシジミの外部照射実験



琉球大学 理工学研究科
阪内 香



現在実験中のため、表紙のみで失礼致します。
将来的には適切な形で公表できればと思います。
その際には、下記本研究室のホームページでお知らせします
ので、今後とも気に留めていただけますと幸いです。

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

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内部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。

それらの飼育結果から、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、問題・疑問が残る結果となっており、さらなる検証や考察が必要である。

モンシロチョウの 内部被曝実験

琉球大学 大瀧研究室
平良 渉



本発表内容は、論文として発表予定の
データが含まれているため、スライドを
割愛させていただきます。

なお、論文として発表した際には以下の
ホームページでお知らせいたします。

琉球大学 大瀧研究室ホームページ
<http://w3.u-ryukyu.ac.jp/bcphunit/>

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。

福島県の帰還困難区域内における 黒毛和牛の病理

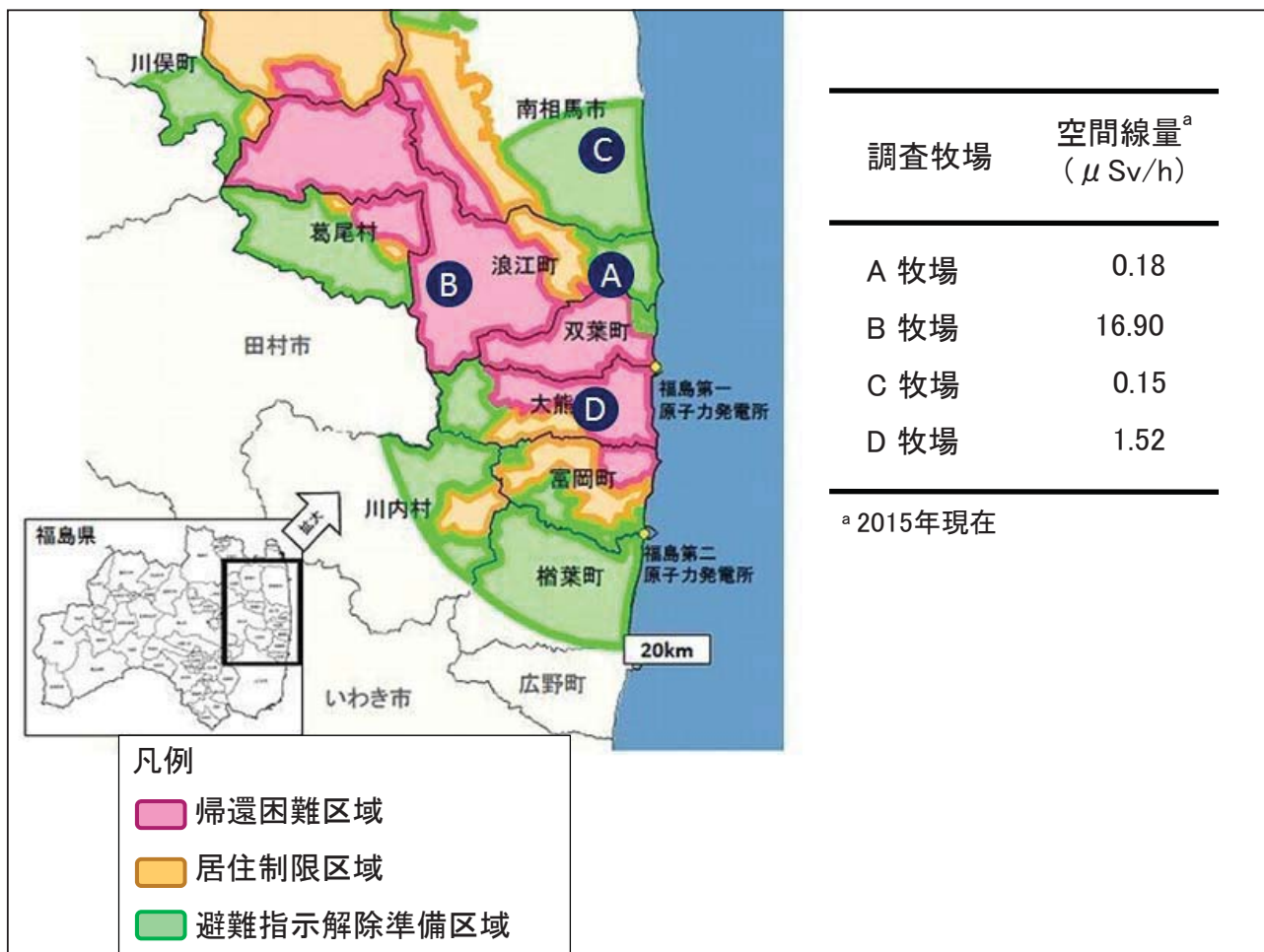
疾病状況と病理検査結果

○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
(原発事故被災動物と環境研究会)

平成25年度日本草地畜産種子協会委託事業
JSPS科研費26511002

■ 対 象 動 物	黒毛和牛
■ 検 査 期 間	2013年5月～2015年12月
■ 症 例 数	47例
■ 剖検時の年齢	約1歳～11歳 (震災後生まれは27例)
■ 性 別	去勢雄23例、雌24例



帰還困難区域内の黒毛和牛でみられた疾病

1. 牛白血病
2. 甲状腺腫
3. 皮膚の白斑

地方病性牛白血病 Enzootic Bovine Leukosis

- ・レトロウイルス、Bovine Leukemia Virus (BLV)に起因
- ・主にCD5陽性(B-1a細胞由来)を示すB細胞性リンパ腫
- ・感染様式はアブなどの吸血昆虫による機械的伝播、垂直感染
- ・近年、全国的に若年齢～成牛で発生が増加

調査牧場のほとんどの牛がBLV抗体陽性

牛白血病の届出頭数(全国)



(農林水産省)

牛白血病ウイルスの浸潤状況調査結果

	検査農場	検査頭数	陽性率	調査期間
乳用牛	587戸	11,130頭	40.9%	2009年12月 ～2010年3月
肉用牛	558戸	9,834頭	28.7%	2010年12月 ～2011年4月

(農林水産省)

各牧場の牛白血病発生状況

飼養 牧場	飼養 頭数	剖検 例数	牛白血病 発生数	空間線量 ^a (μ Sv/h)	平均血中 ^b セシウム濃度 (Bq/kg)
A	27	24	0	0.18	50 $\pm$ 11
B	76	17	3 (3.9%)	16.90	518 $\pm$ 72
C	28	4	0	0.15	19 $\pm$ 3
D	37	2	2 (5.4%)	1.52	182 $\pm$ 37
計	168	47	5 (3.0%)		

^a 2015年現在

^b 2012年現在

帰還困難区域内の黒毛和牛でみられた疾病

1. 牛白血病

2. 甲状腺腫

3. 皮膚の白斑

各牧場の甲状腺腫発生状況

飼養 牧場	飼養 頭数	剖検 例数	甲状腺腫 発生数	空間線量 ^a (μ Sv/h)	平均血中 ^b セシウム濃度 (Bq/kg)
A	27	24	1 (3.7%)	0.18	50 $\pm$ 11
B	76	17	2 (2.6%)	16.90	518 $\pm$ 72
C	28	4	0	0.15	19 $\pm$ 3
D	37	2	0	1.52	182 $\pm$ 37
計	168	47	3 (1.8%)		

^a 2015年現在

^b 2012年現在

帰還困難区域内の黒毛和牛でみられた疾病

1. 牛白血病

2. 甲状腺腫

3. 皮膚の白斑

各牧場の白斑発生状況

飼養 牧場	飼養 頭数	剖検 例数	白斑 発生数	空間線量 ^a (μ Sv/h)	平均血中 ^b セシウム濃度 (Bq/kg)
A	27	24	0	0.18	50 $\pm$ 11
B	76	17	0	16.90	518 $\pm$ 72
C	28	4	3 (10.7%)	0.15	19 $\pm$ 3
D	37	2	0	1.52	182 $\pm$ 37
計	168	47	3 (1.8%)		

^a 2015年現在

^b 2012年現在

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

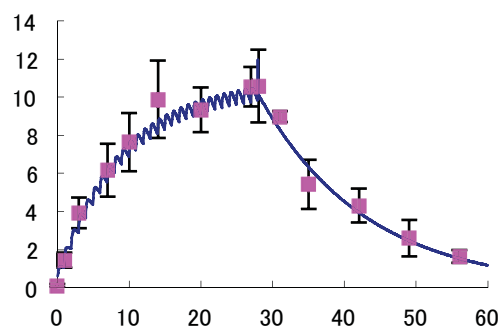


Figure 1. An example of Concentration - time curve during and after multiple daily administration of

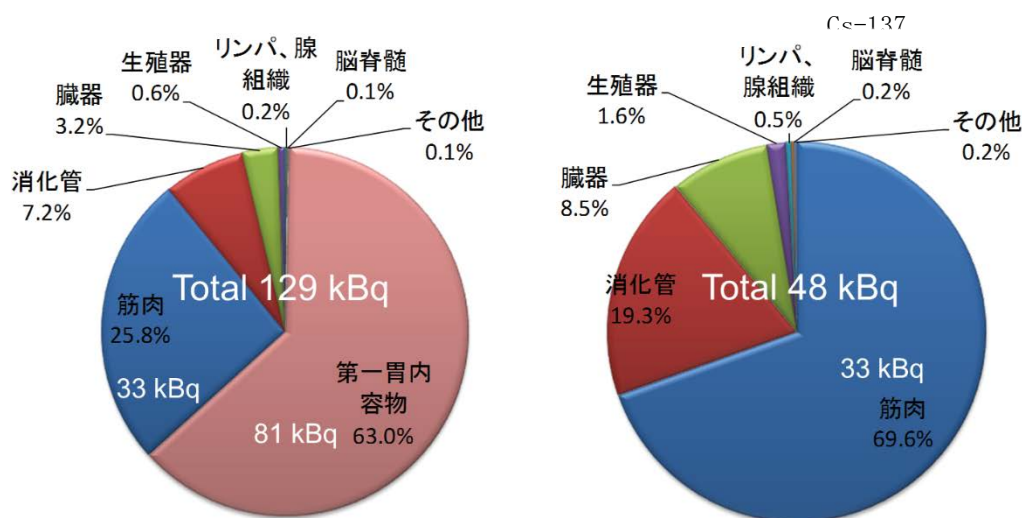


Figure 2. Organ distribution ratio of Cs-137 in Wagyu
(The right graph is the ratio excluding the lumen content)

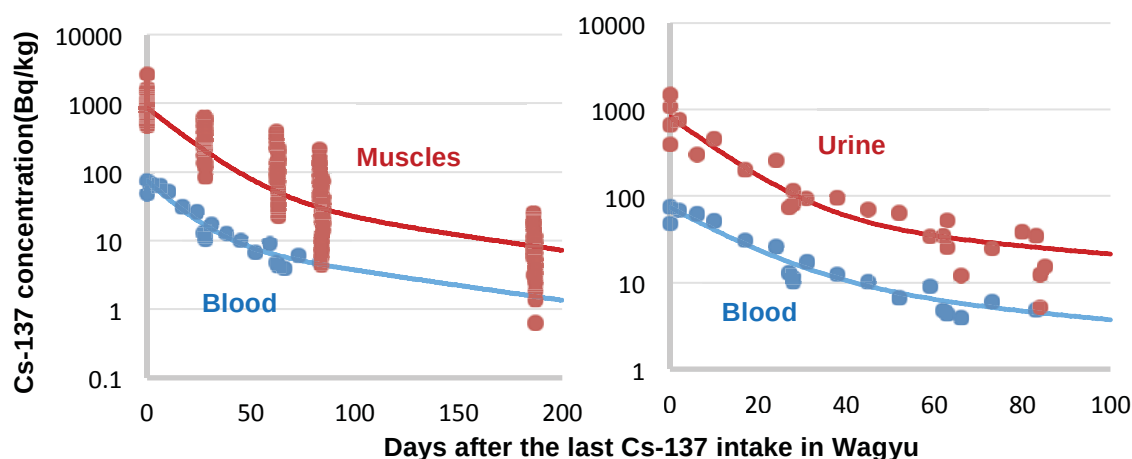


Figure 3. Concentration - time curves of Cs-137 in muscle, blood, and urine samples of Wagyu

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

牛（黒毛和牛）における 放射性セシウムの体内動態

○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
*1北里大学, *2岩手大学, *3帯広畜産大学, *4東京大学, *5東北大学, *6宮崎大学



<http://liffn.jp/>

一般社団法人
原発事故被災動物と環境研究会

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4日@京大原子炉実験所

動物における Csの動態

→ Csの動き

末梢コンパートメント
(血球・組織)

体循環
コンパートメント
(主に血漿)

尿中排泄
回収率

胃・腸管内

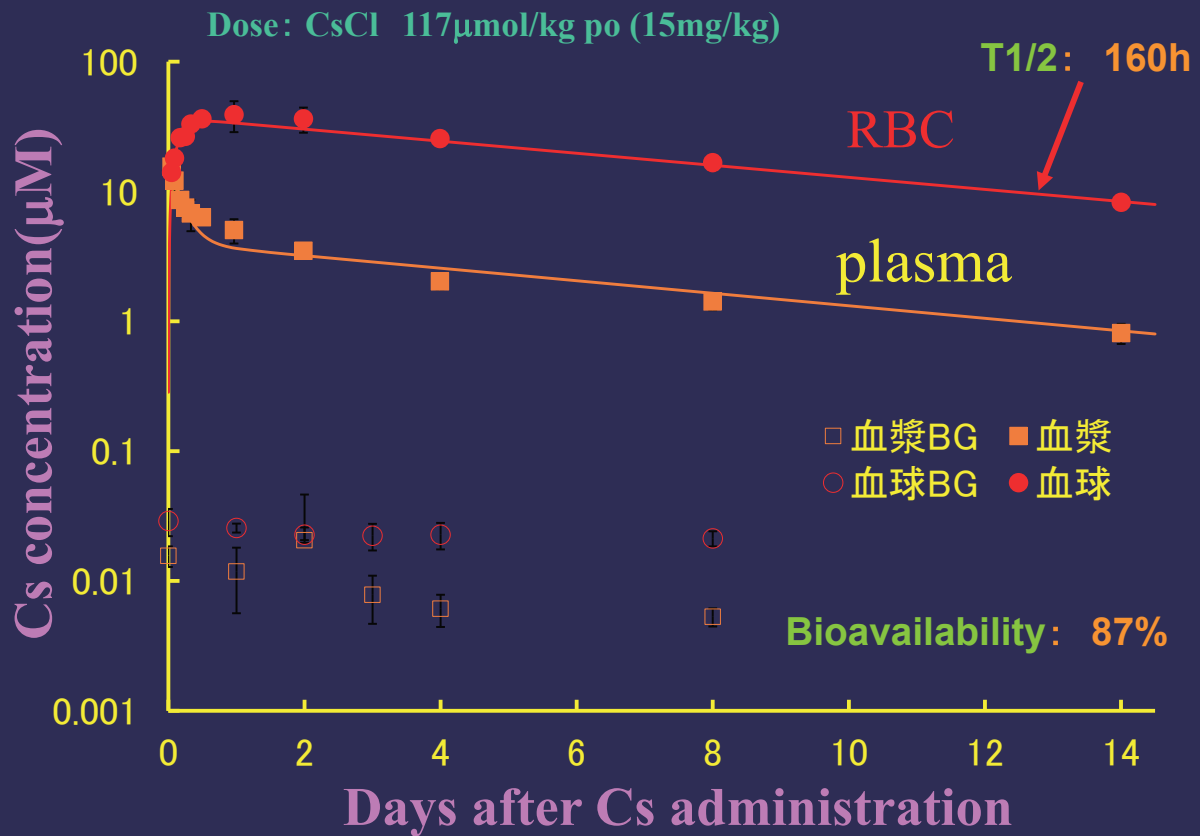
Ka
Bioavailability

投与Cs汚染物

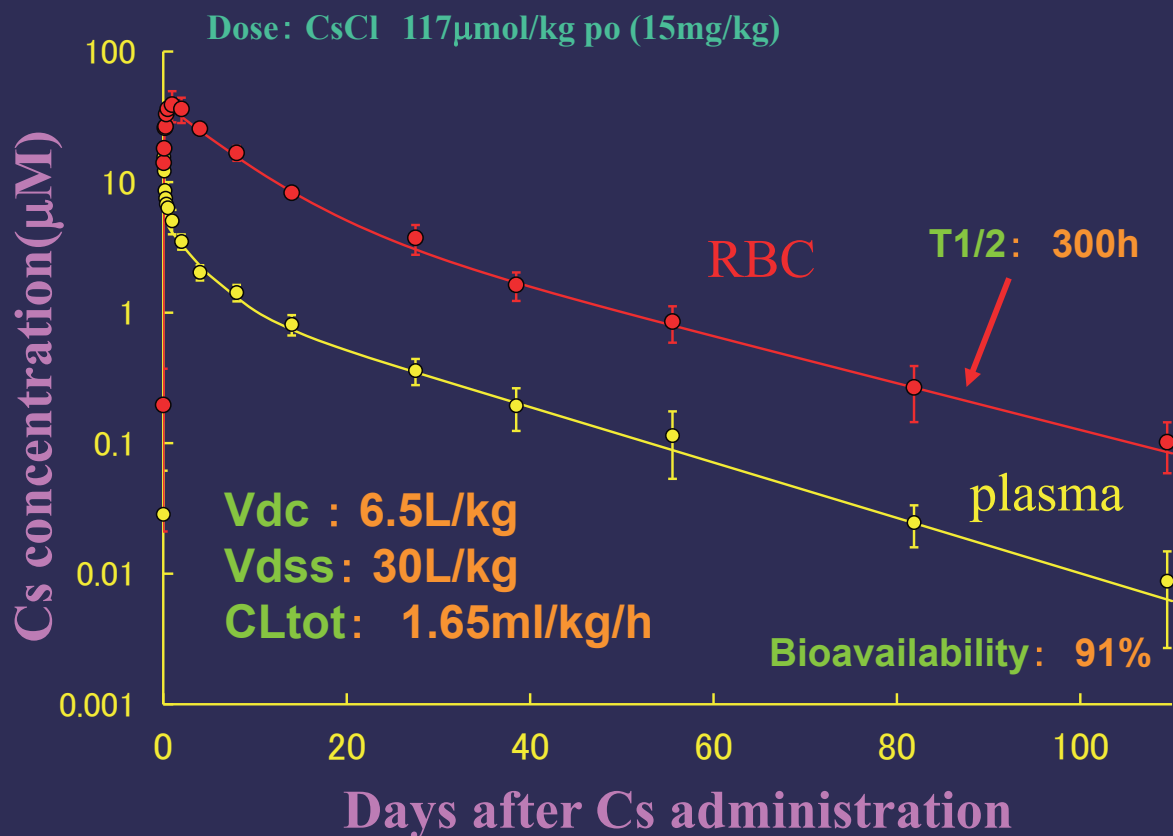
可給態Cs?

糞中排泄

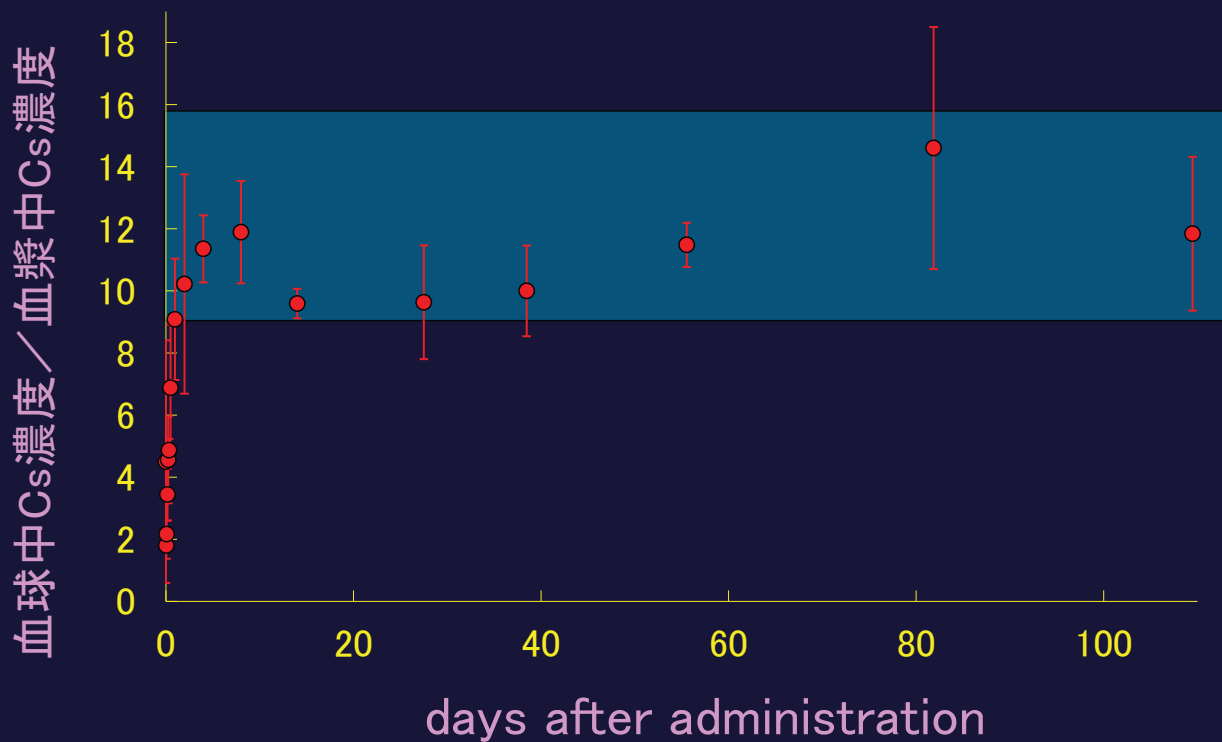
ラットにおける血中Cs動態(単回投与)



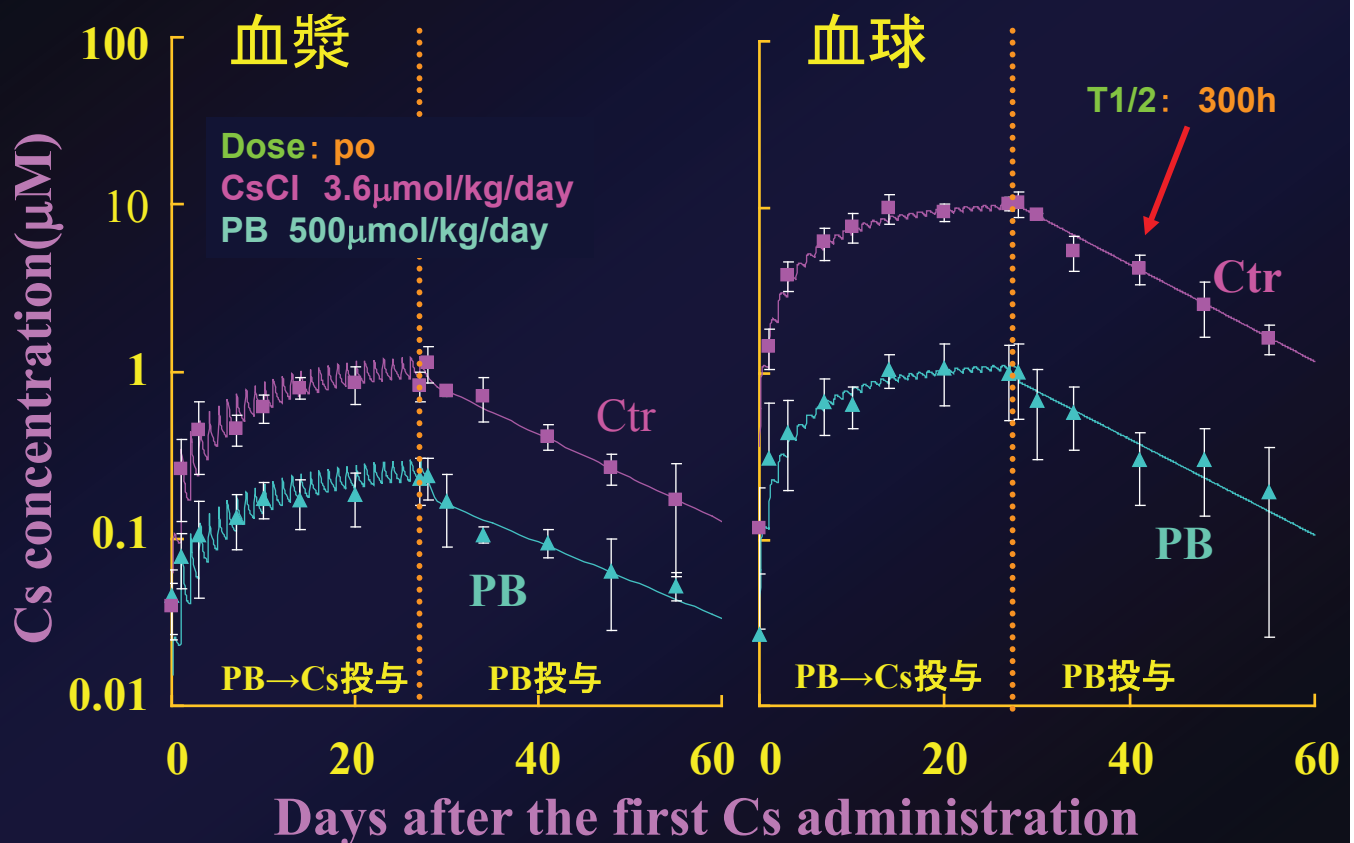
ラットにおける血中Cs動態(単回投与)

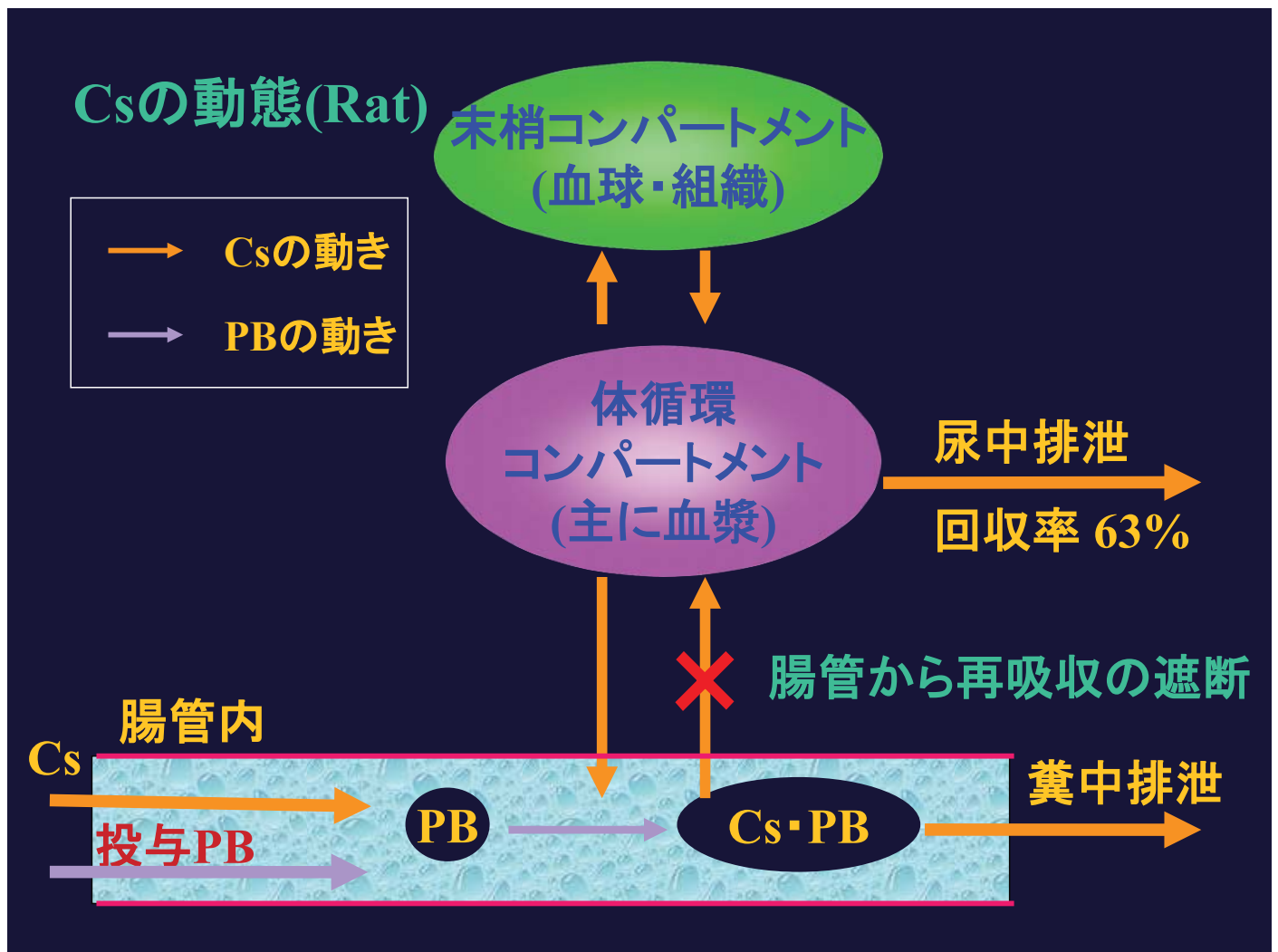


血漿-血球間の分布平衡到達時間 静脈内投与後 4-8日



ラットにおける血中Cs動態(反復投与)と プロシアンブルー(PB)投与の効果





背景・目的

背景：警戒区域内（当時）において、家畜をただ殺すだけでなく研究に活かし、畜産業の復興に繋がるようにと、地元農家から提供

目的：警戒区域内における繁殖雌牛（黒毛和牛）を対象として、放射性セシウムを経時的に測定し、体内分布とその後の動的変化を調査

牛の飼育方法

飼育場所：

南相馬市小高区の警戒区域内（当時）

飼料（乾草）給餌方法：

汚染飼料約10kg(およそ0.1MBq)/頭/日を3週間給与し、その後清浄餌に変更し約12週間まで給与。

採取方法

・安楽死：

キシラジン、ペントバルビタールを静脈注射して麻酔をかけた後、頸動脈カテーテルを留置し全血回収

・生体試料の採取

清浄餌給与直前、清浄餌給与4、9、12週間後に牛（3～4頭）の筋肉、臓器・その他組織を採取

3週



4週



5週



3週



4/14頭

3/10頭

3/7頭

4/4頭

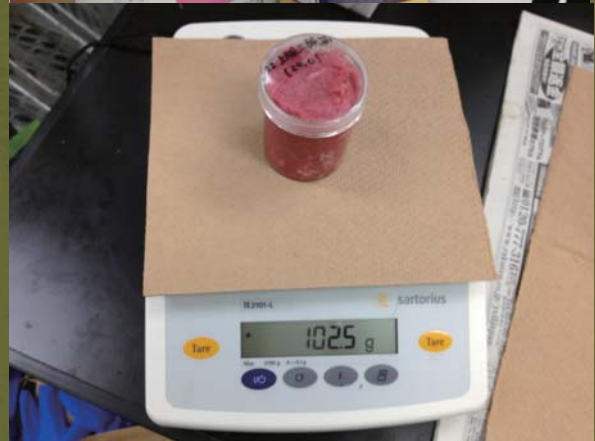
汚染飼料

清浄飼料

試料の作成・放射能測定

試料の作成：

- ・筋肉、臓器、その他組織の表面を中性洗剤で洗浄
- ・メスなどでトリミング
- ・ミキサーで粉碎後、プラスチック製容器に圧縮充填
- ・重量、高さを測定



試料の作成・放射能測定

放射能測定：

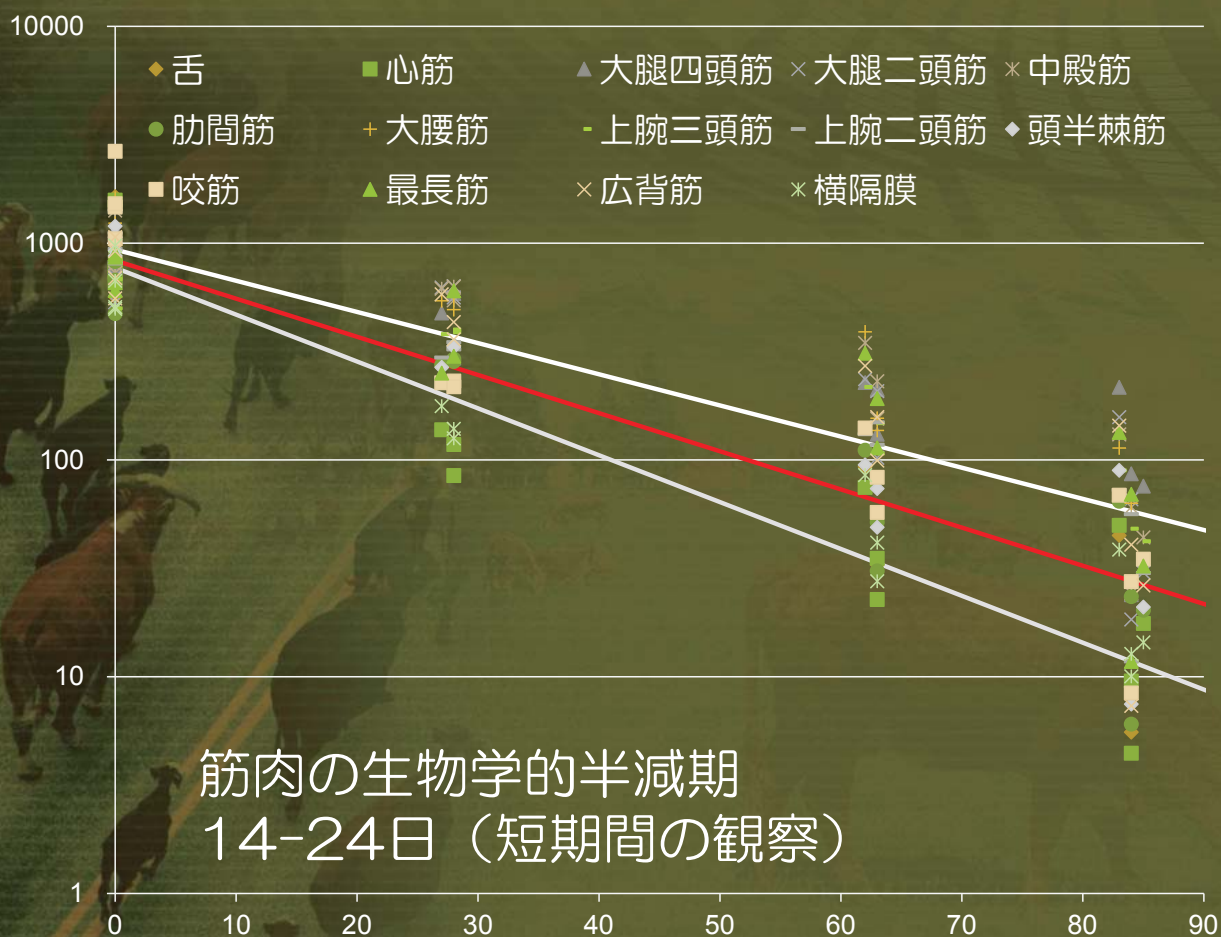
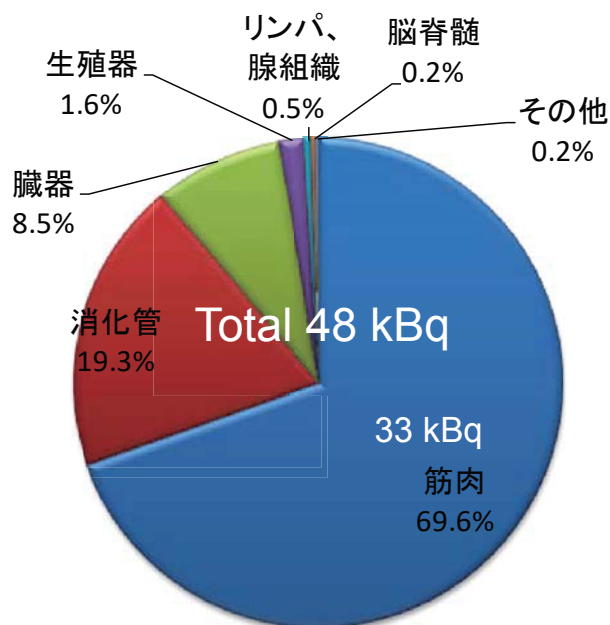
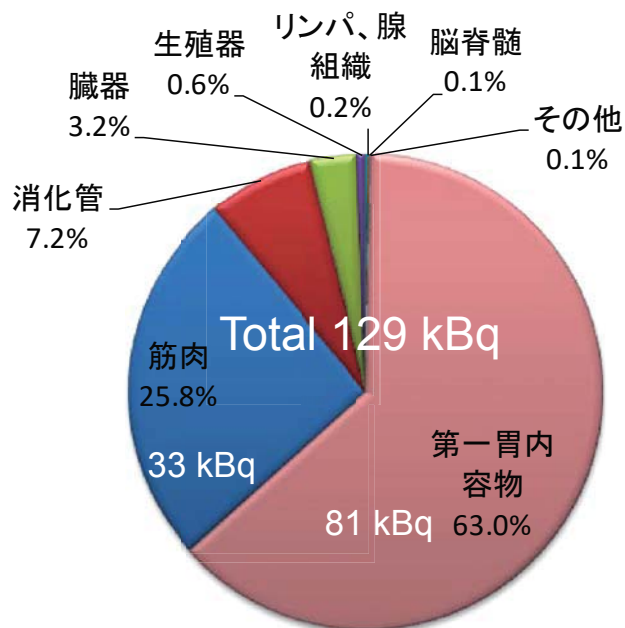
1； 高純度ゲルマニウム半導体検出器：1時間以上（原則としてピークチャンネルが最低20カウント以上出るまで）測定。



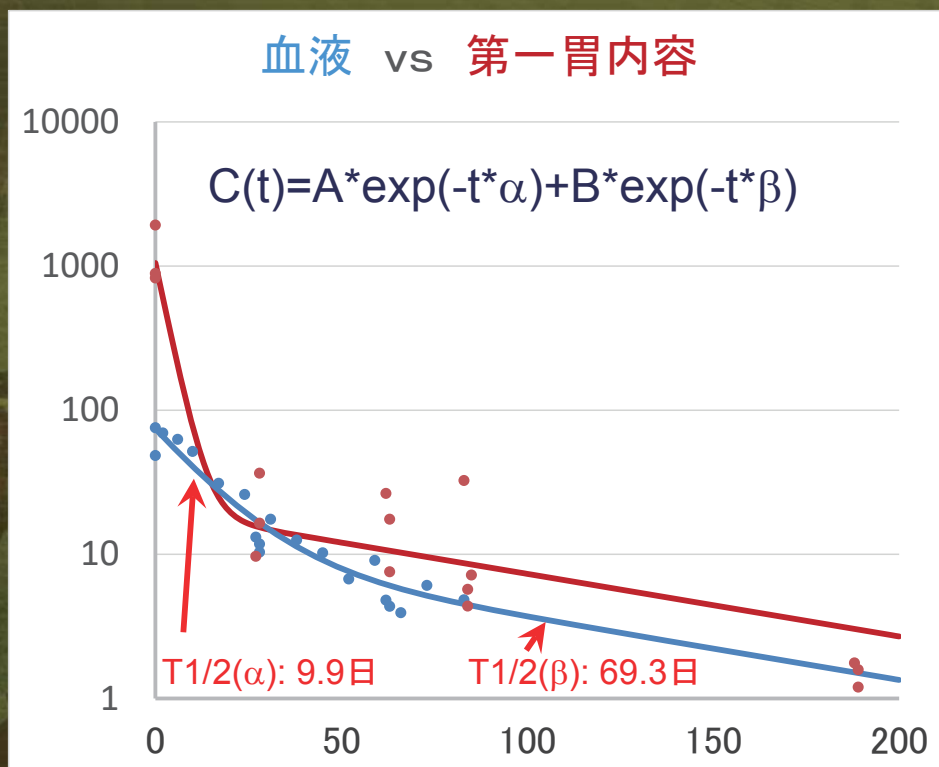
2；測定値の補正

- ①幾何学的係数効率
- ②比重および γ 線エネルギーに依存した減弱係数
- ③エネルギー依存性計数効率補正
- ④自己吸収補正
- ⑤物理学的半減期補正

汚染餌を給餌してから3週間後の体内の ^{137}Cs 放射能の比

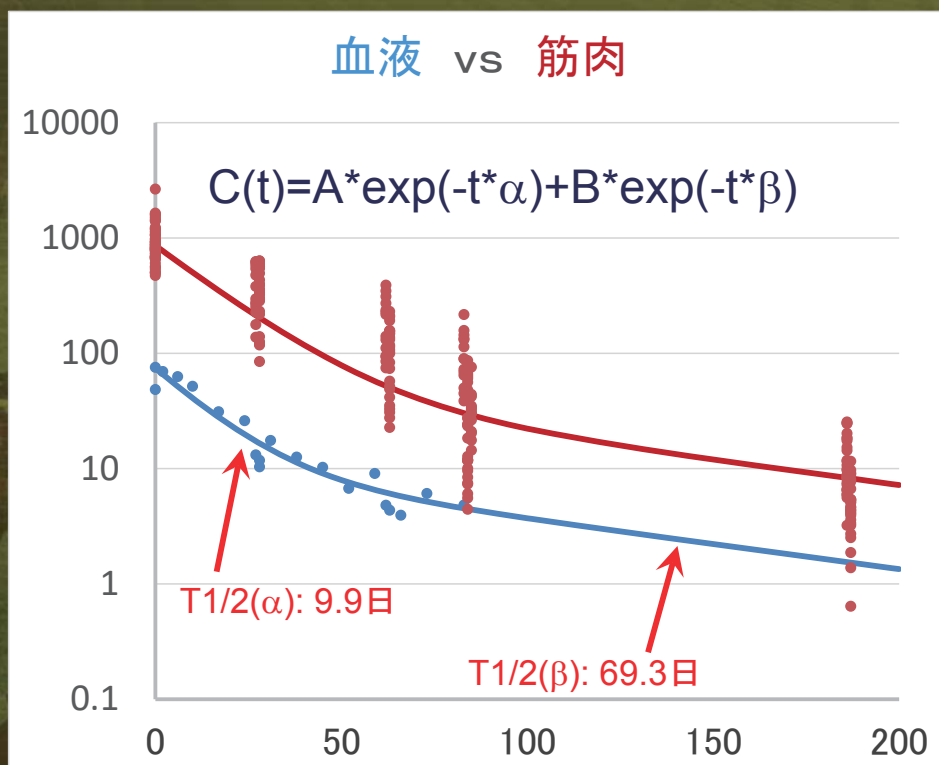


Cs concentration(μM)



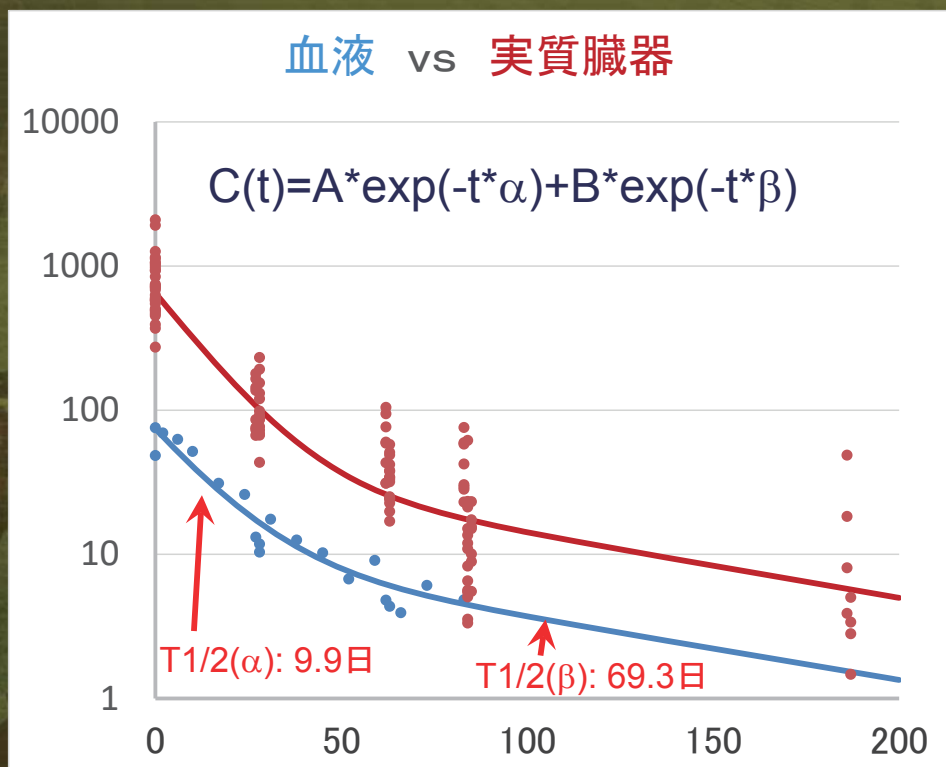
Days after the last Cs administration

Cs concentration(μM)



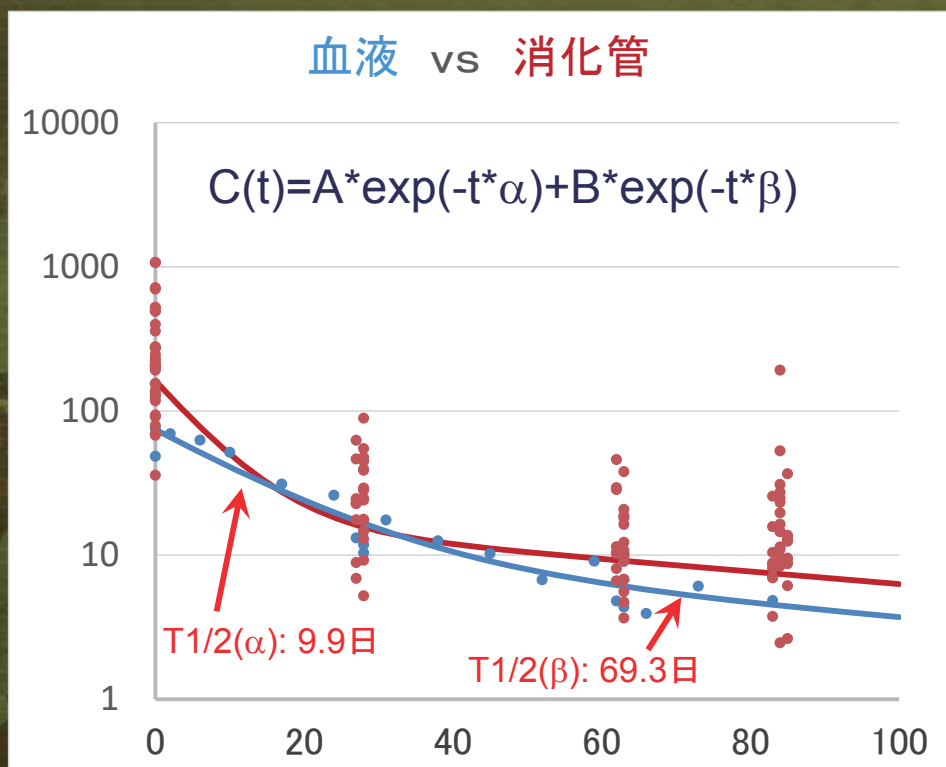
Days after the last Cs administration

Cs concentration(μM)



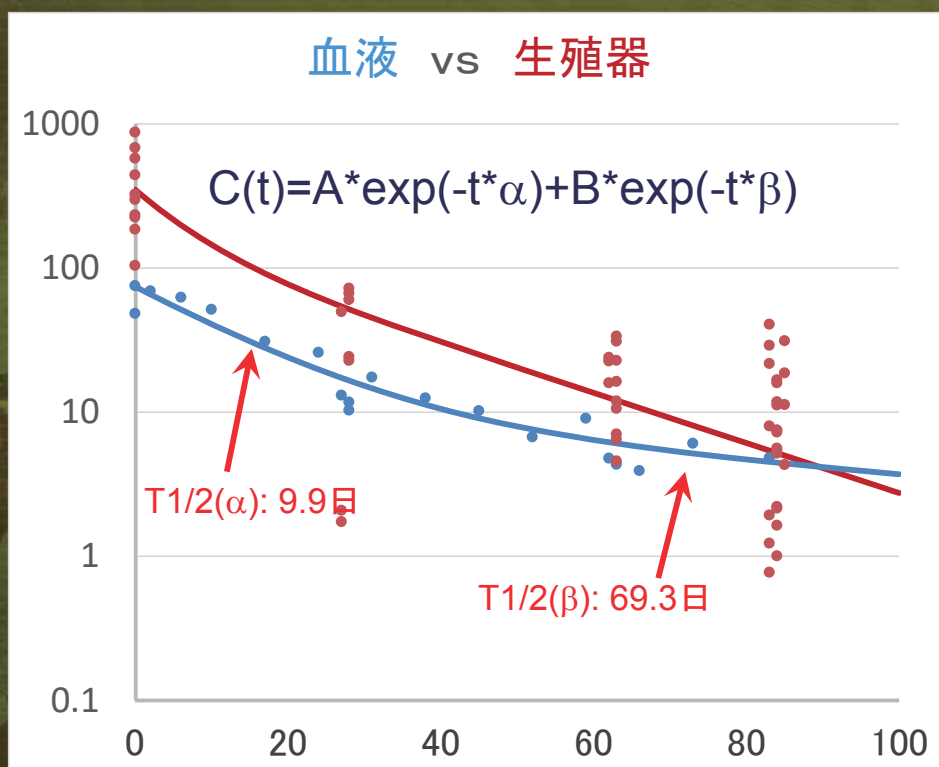
Days after the last Cs administration

Cs concentration(μM)



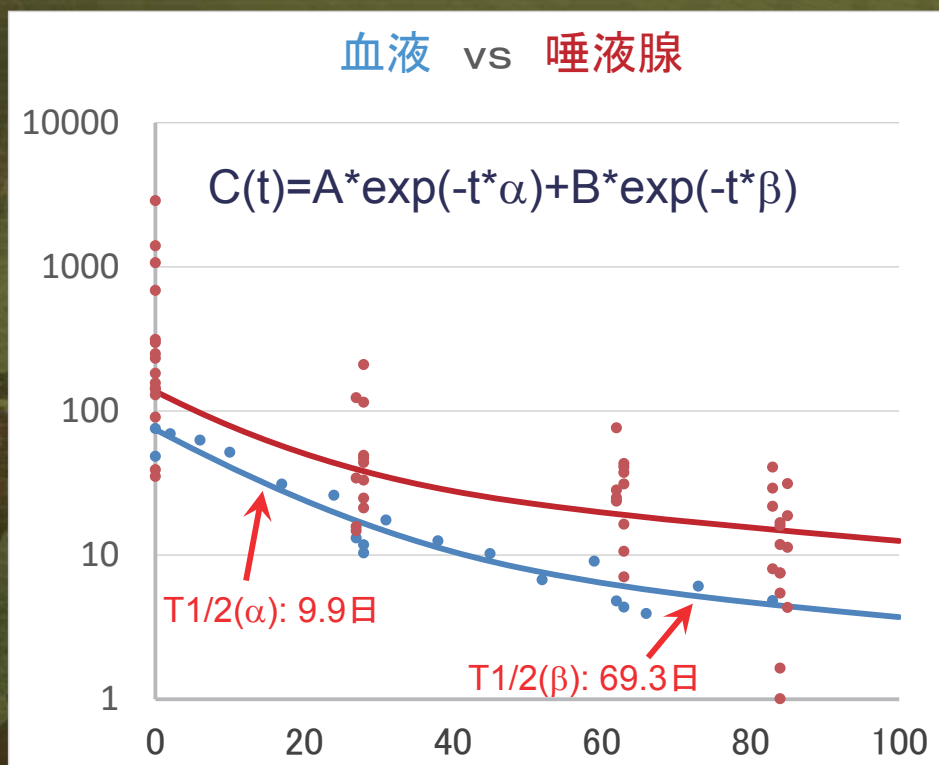
Days after the last Cs administration

Cs concentration(μM)



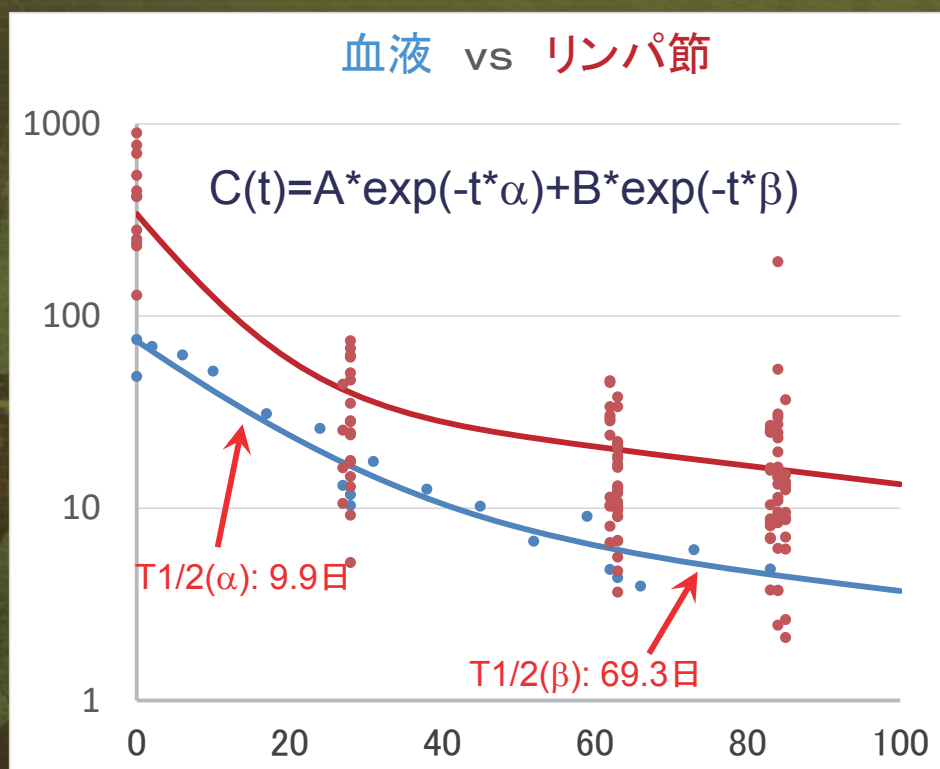
Days after the last Cs administration

Cs concentration(μM)



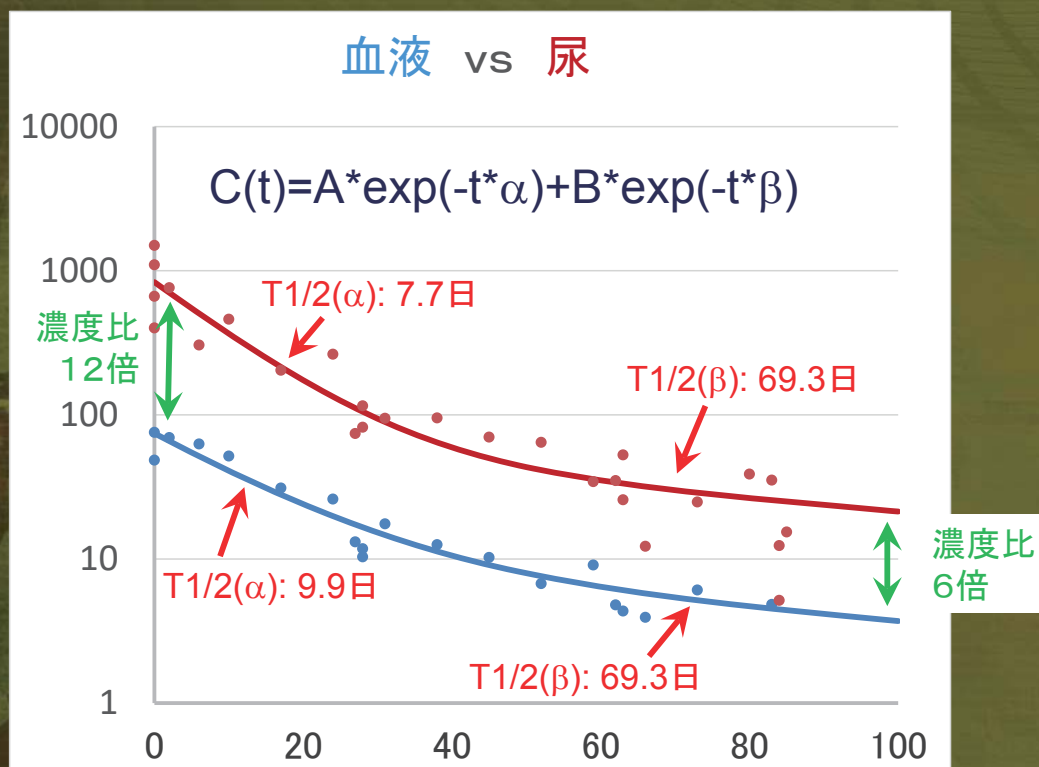
Days after the last Cs administration

Cs concentration(μM)



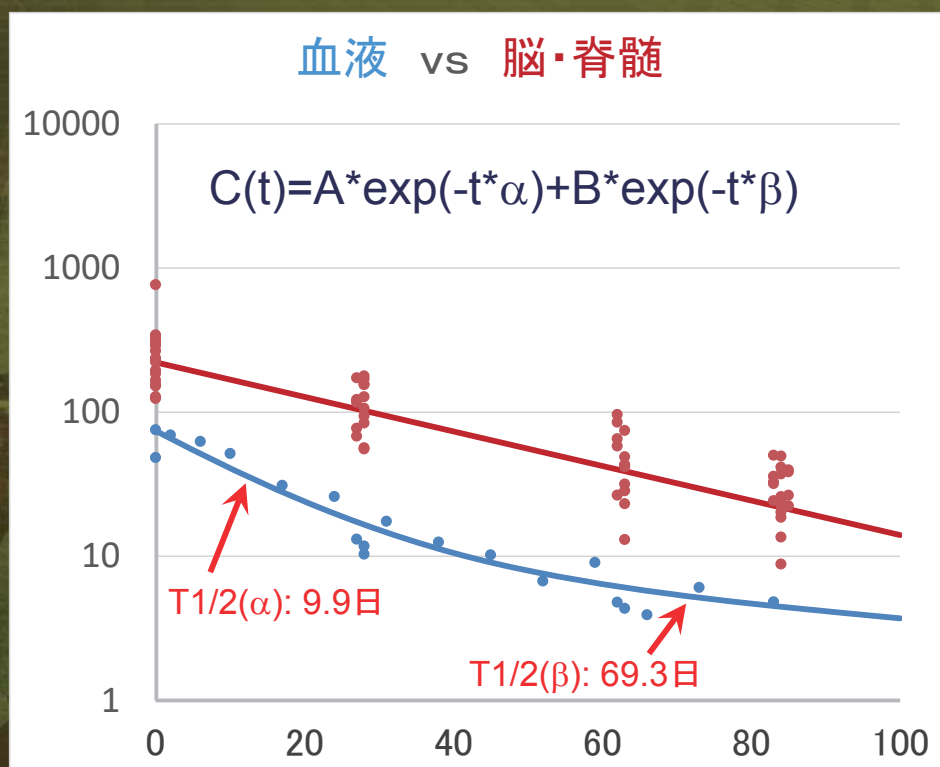
Days after the last Cs administration

Cs concentration(μM)



Days after the last Cs administration

Cs concentration (μM)



Days after the last Cs administration

放射性セシウム各臓器組織における消失半減期

	α相の半減期(日)				β相の半減期(日)			
	平均値	±	標準偏差	CV(%)	平均値	±	標準偏差	CV(%)
筋肉	14.0	±	3.1	22.3	60.8	±	7.9	12.9
実質臓器	8.8	±	0.6	6.4	66.5	±	3.0	4.5
消化管	7.2	±	1.6	21.6	63.7	±	7.4	11.6
リンパ節	7.1	±	3.6	50.1	82.8	±	27.7	33.5
腺組織	9.9	±	2.9	28.9	70.8	±	3.9	5.5
脳・脊髄	26.3	±	6.2	23.6				
生殖器	4.6	±	3.1	67.8	33.1	±	17.2	52.0

血液: $T_{1/2}(\alpha): 9.9 \text{ 日}$

$T_{1/2}(\beta): 69.3 \text{ 日}$

尿: $T_{1/2}(\alpha): 7.7 \text{ 日}$

$T_{1/2}(\beta): 69.3 \text{ 日}$

考察・まとめ

- 清浄餌給餌後2週間以内に胃内容物は著減
- 4週間前後に変曲点を持つ二相性の消失
(神経組織を除く)
- 牛における ^{137}Cs の消失半減期は初期の2-3週間程度の再分布・消失相とともに、その後の半減期約60-70日の消失相で構成
- 血液および尿中 ^{137}Cs の動態は筋肉を含む各臓器組織中濃度に強い相関
- 尿中 ^{137}Cs は筋肉残留の良い指標



謝 辞

- ・ 公益社団法人 日本獣医師会
- ・ 社団法人 日本草地畜産種子協会
- ・ 日本全薬工業
- ・ 共和化工株式会社
- ・ 南相馬市桜井勝延市長
- ・ 南相馬市役所経済部
- ・ 福島県中小企業同友会
- ・ 福島県酪農連合会
- ・ そして何よりも研究牧場と多くの牛を提供していただいた畜主様とそのご家族に心から感謝いたします

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寄与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寄与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。

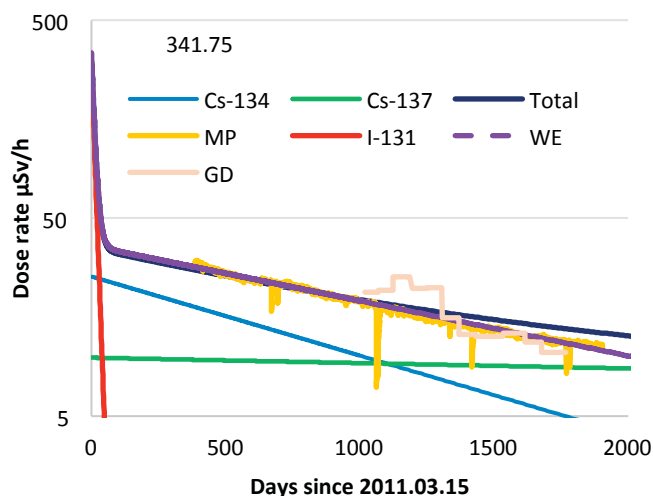


Figure 1. Estimated dose rate in Omaru farm since March 15th, 2011 based on Fig. 1

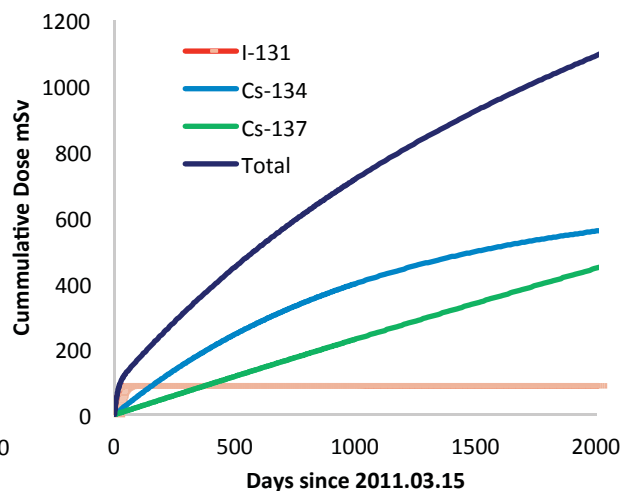


Figure 2. Estimated cumulative dose based on Fig. 1

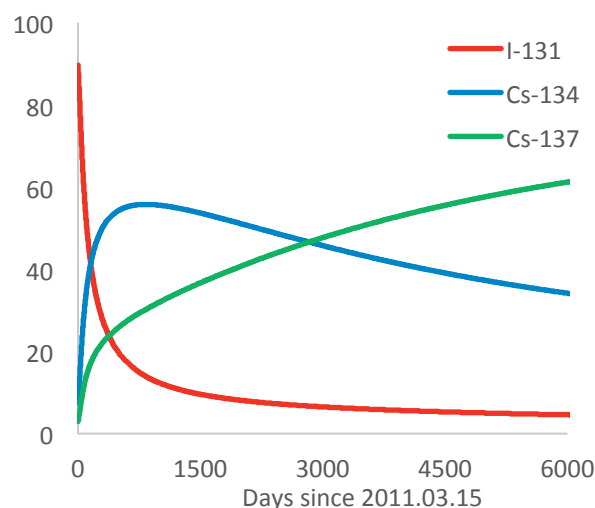
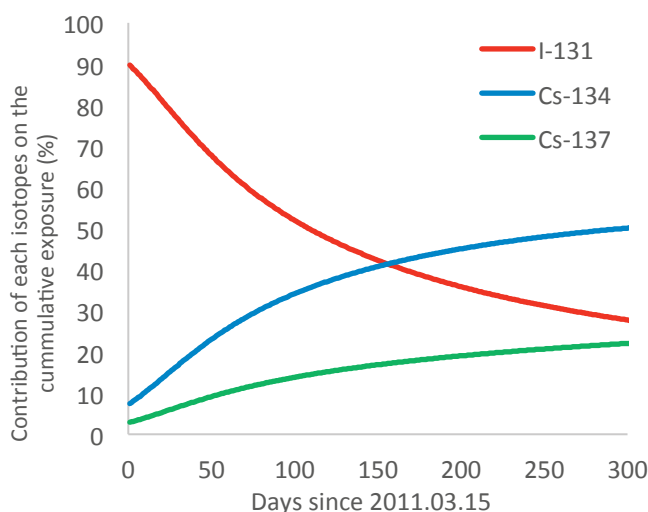


Figure 3. Relative contribution of the representative radionuclides (¹³¹I, ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs) on cumulative external radiation exposure to Wagyu since the explosion of the Fukushima Daiichi Nuclear Plant (March 15th, 2011)

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

警戒区域内で継続飼育される 黒毛和牛の被ばく状況

○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, 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

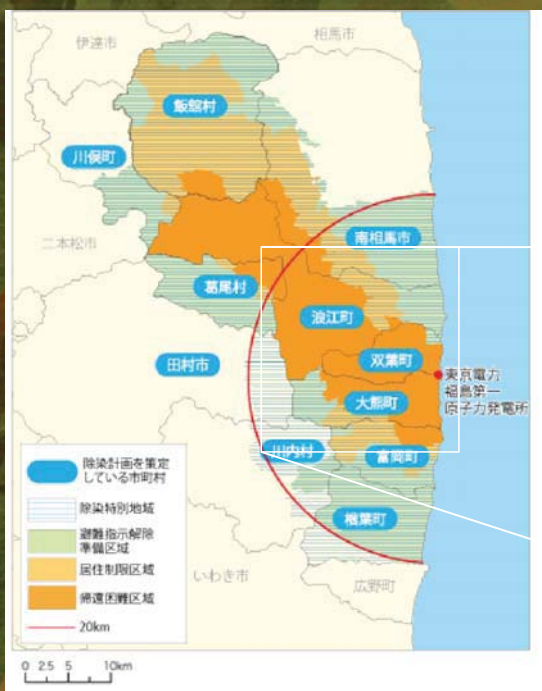


<http://liffn.jp/>

一般社団法人
原発事故被災動物と環境研究会

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4日@京大原子炉実験所

- これらの牛は放射性物質の動態や低線量率長期被曝の影響に関する貴重な研究対象である。
- 我々は2012年に現地の畜産農家とともに「原発事故被災動物と環境研究会」を設立し、調査研究活動を行なっている。



協力農場：浪江町O牧場, Y牧場
大熊町I牧場, 他

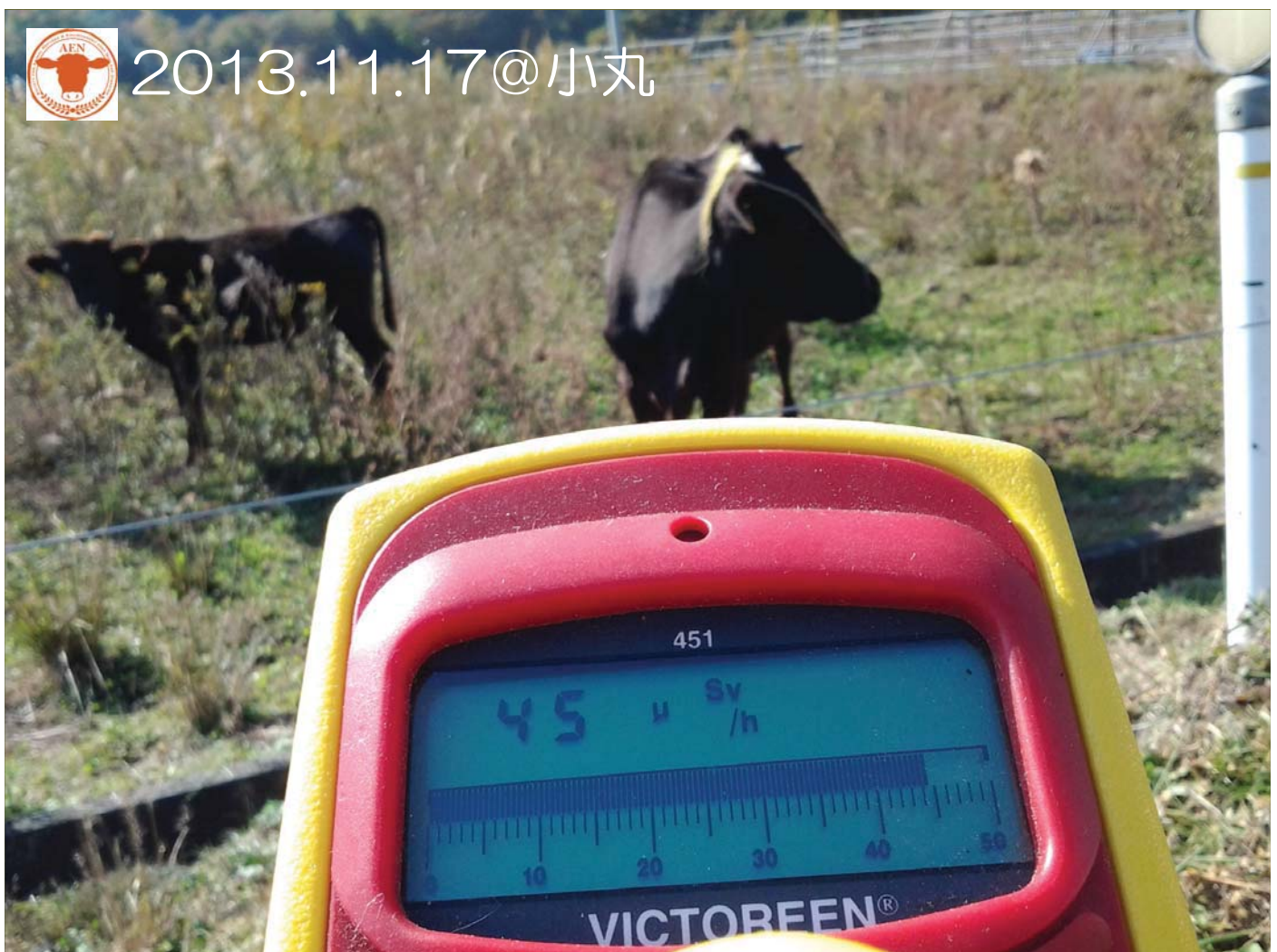


空間線量の推移と外部被曝の評価

- 方法： 1) O牧場（試験区16ha）を46m四方で74に区切り
各ポイントの中心点で空間線量を継続して測定
- 2) O牧場の牛40頭に線量計を装着し、連続計測

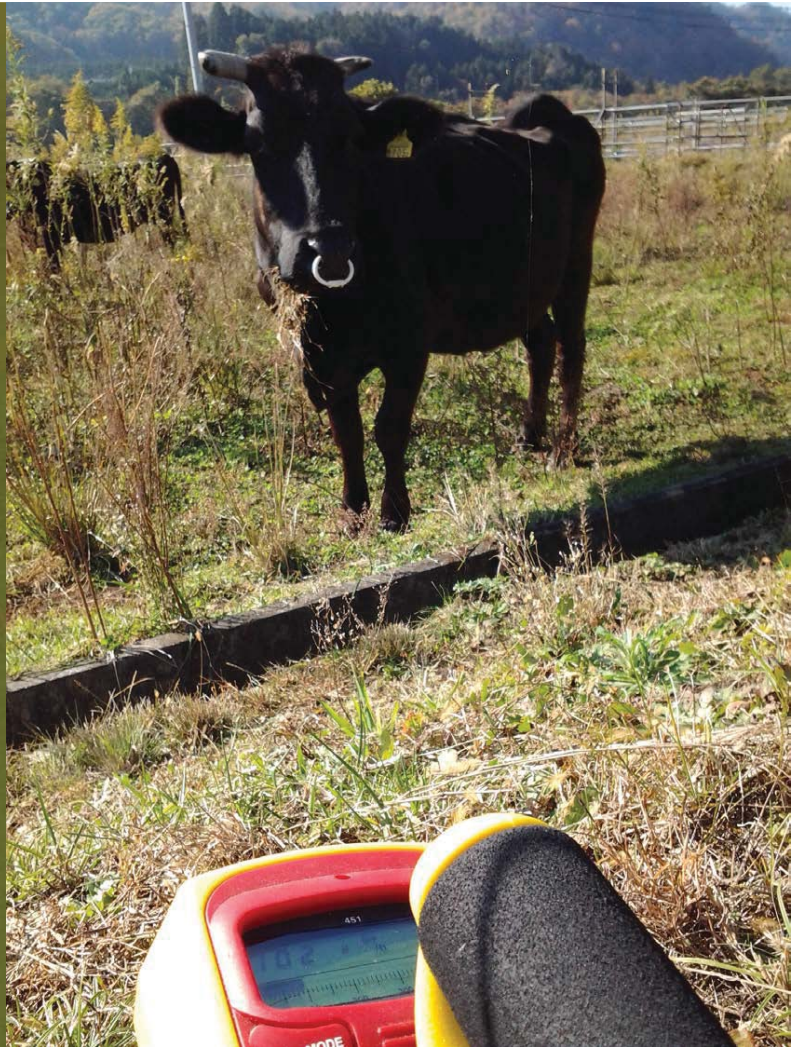


2013.11.17@小丸

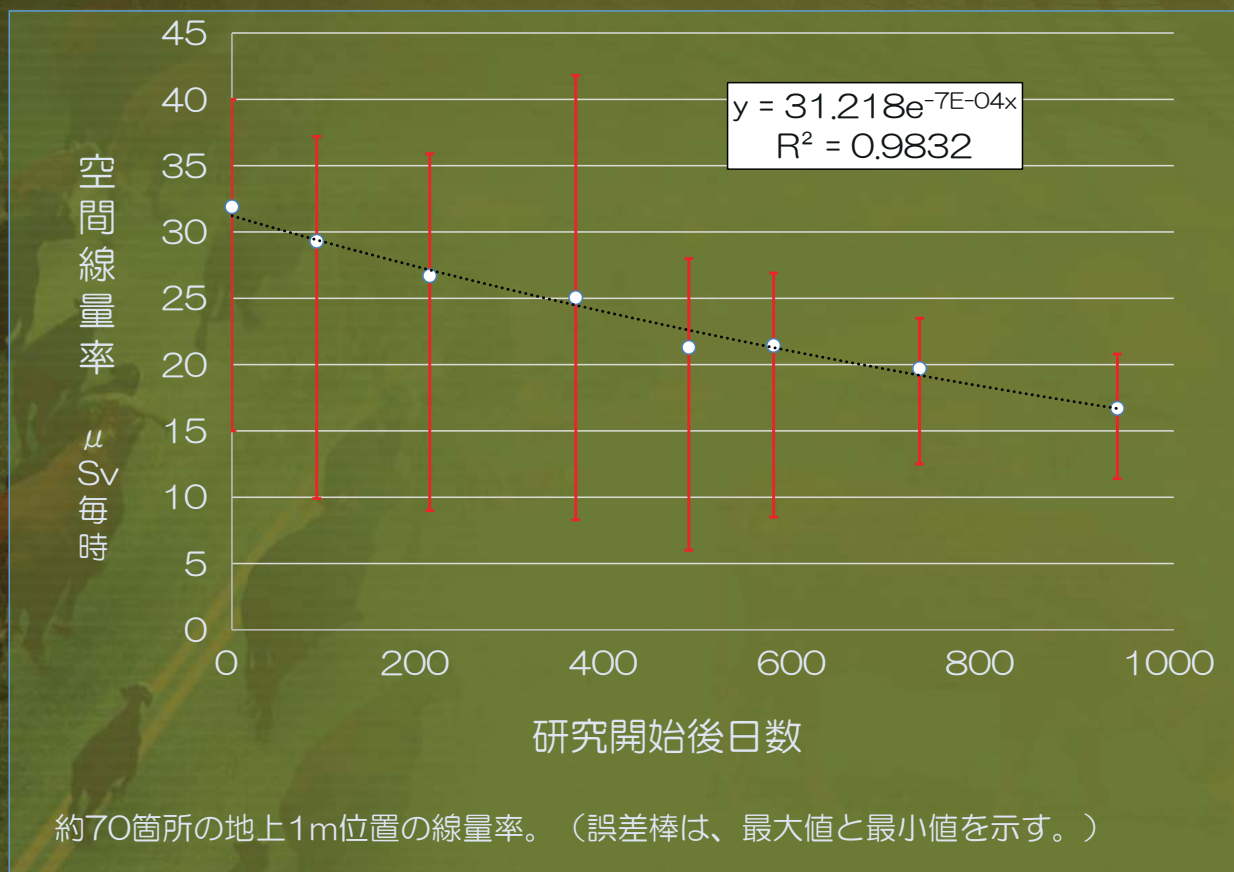




2013.11.17@小丸

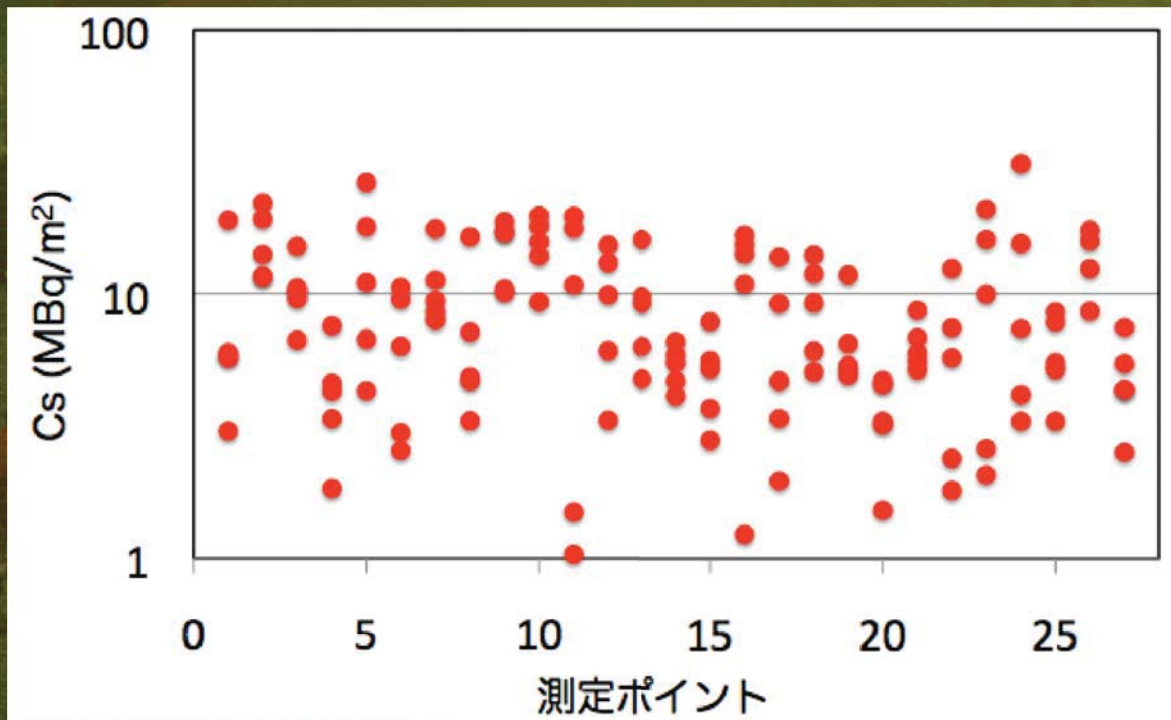


研究対象牧野の空間線量率中央値の推移

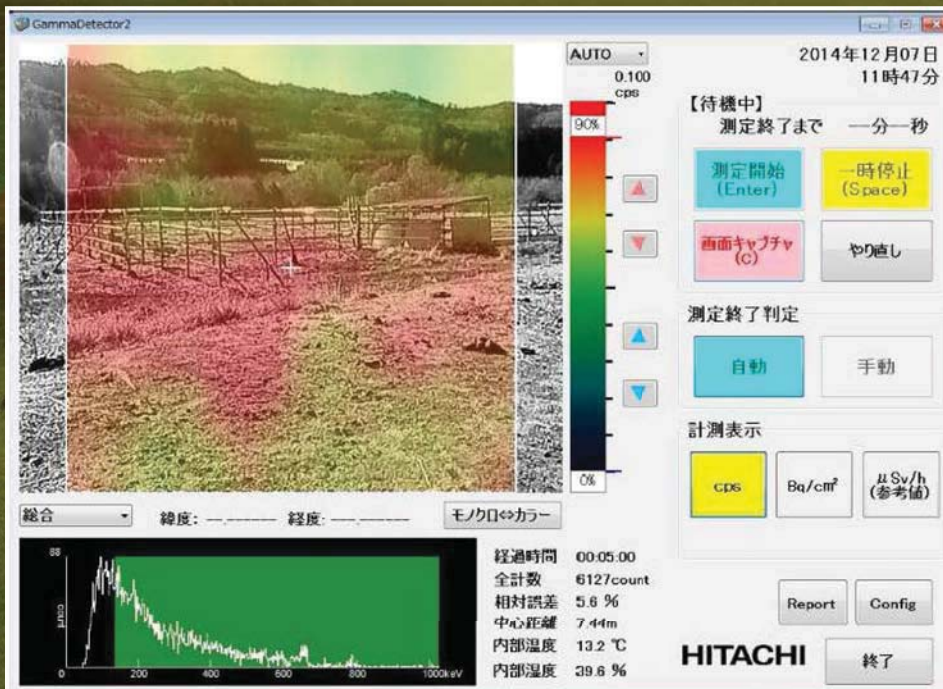




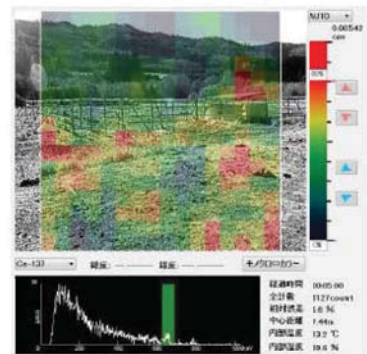
土壌汚染の不均一性



2014.12



■ ^{137}Cs を核種選択した分布



■ サーベイメータで測定した線量率
ガンマカメラ周辺: $21.0 \mu\text{Sv/h}$

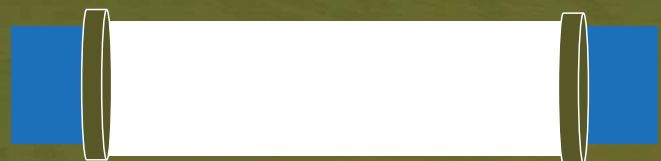
- ・牧草地内全体にわたって高い集積があることが確認できる。
- ・ ^{137}Cs のエネルギースペクトルのピークが見てとれる。
- ・空にあたる 픽セルに検出されたカウントは、バックグラウンドを補正して撮影することで改善されるものと推察。



線量モニタ期間：2013.12～現在



1. 牛の外部被ばく調査 TLD・ガラスバッチ

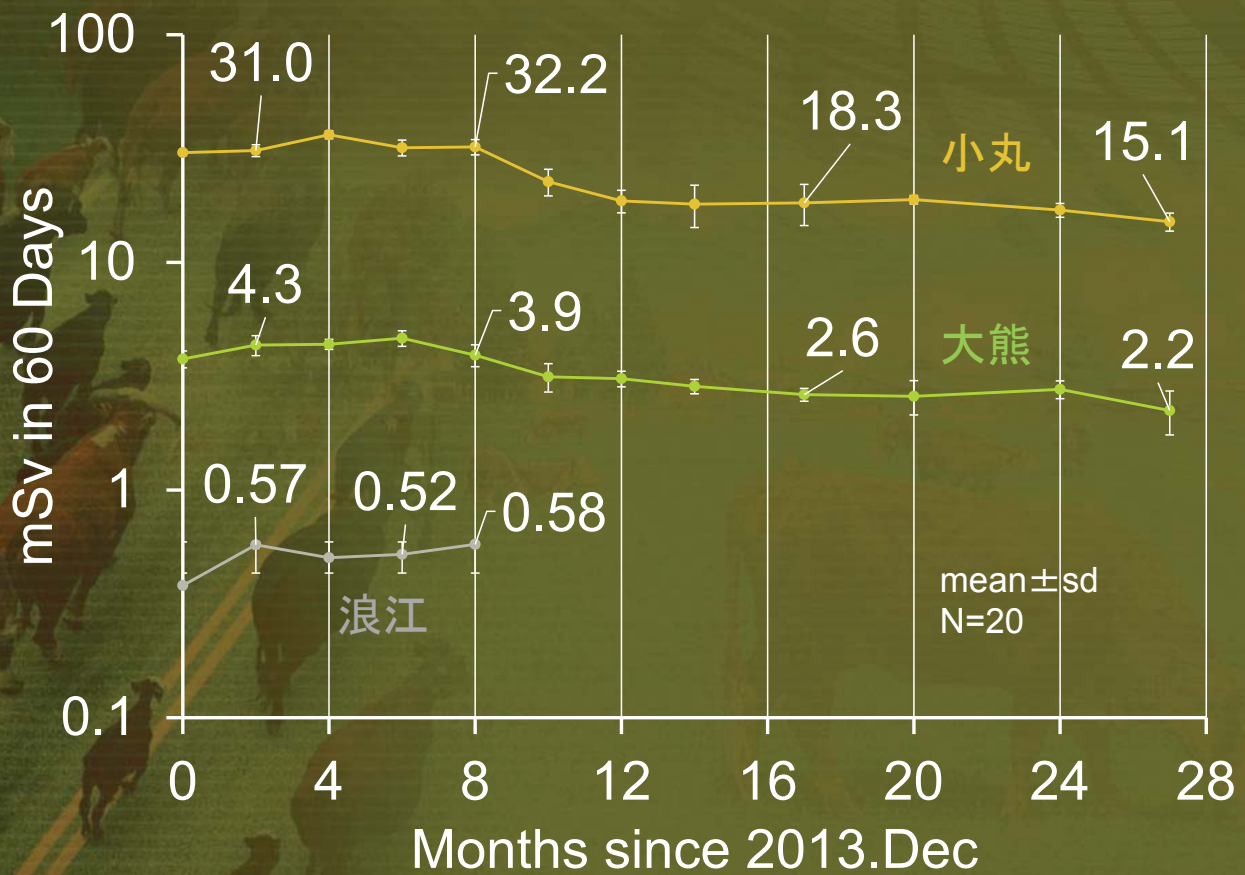


TLDとガラス線量計を熱収縮チューブの中に入れ、
両サイドをテープで留める。

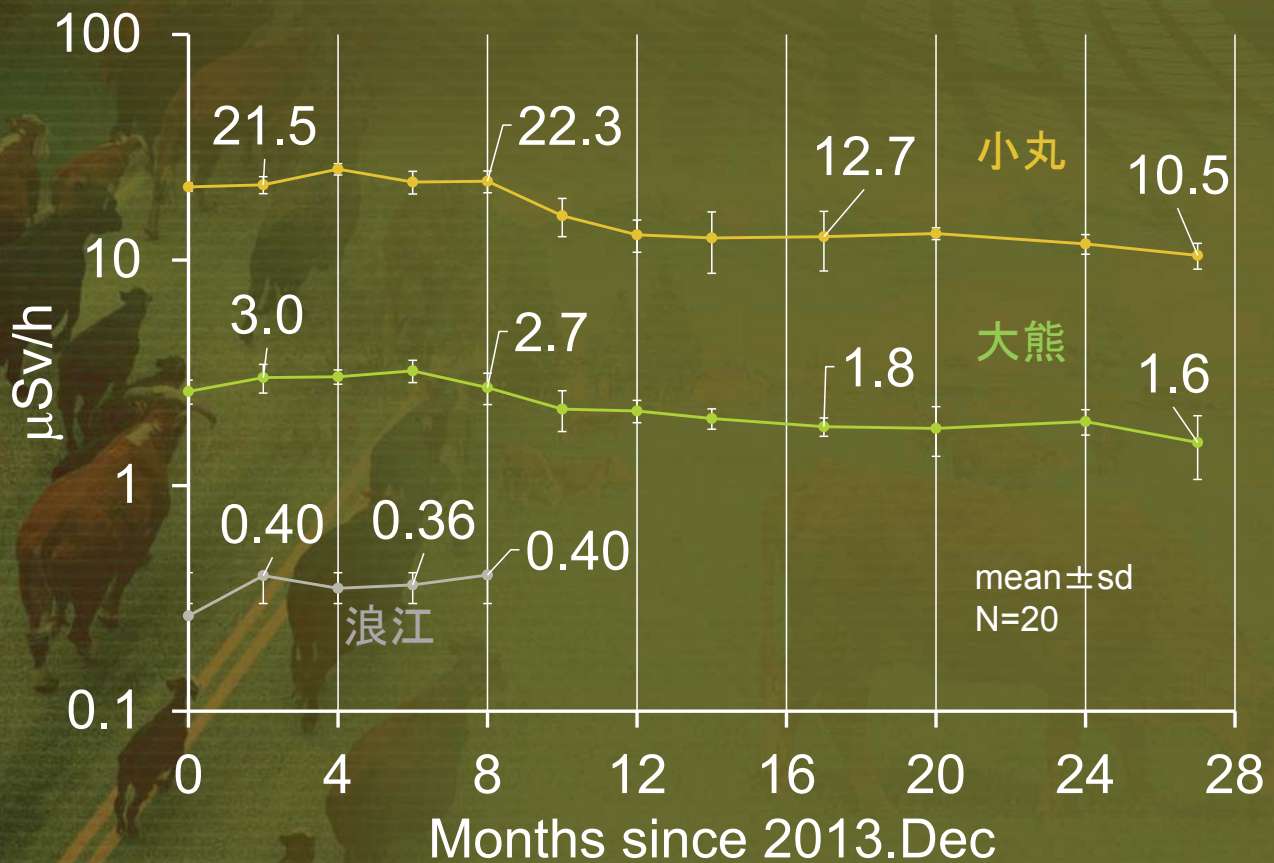




線量モニタ期間：2013.12～2016.03

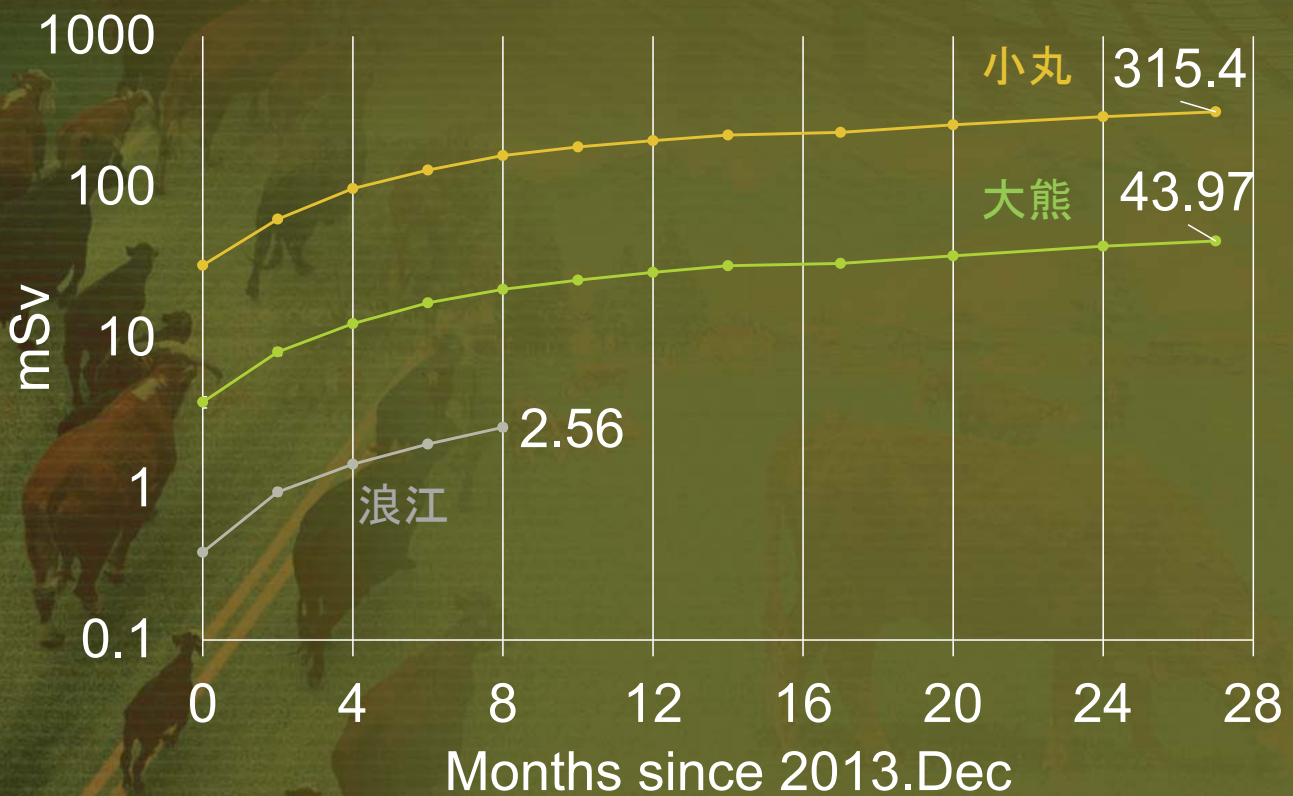


線量モニタ期間：2013.12～2016.03



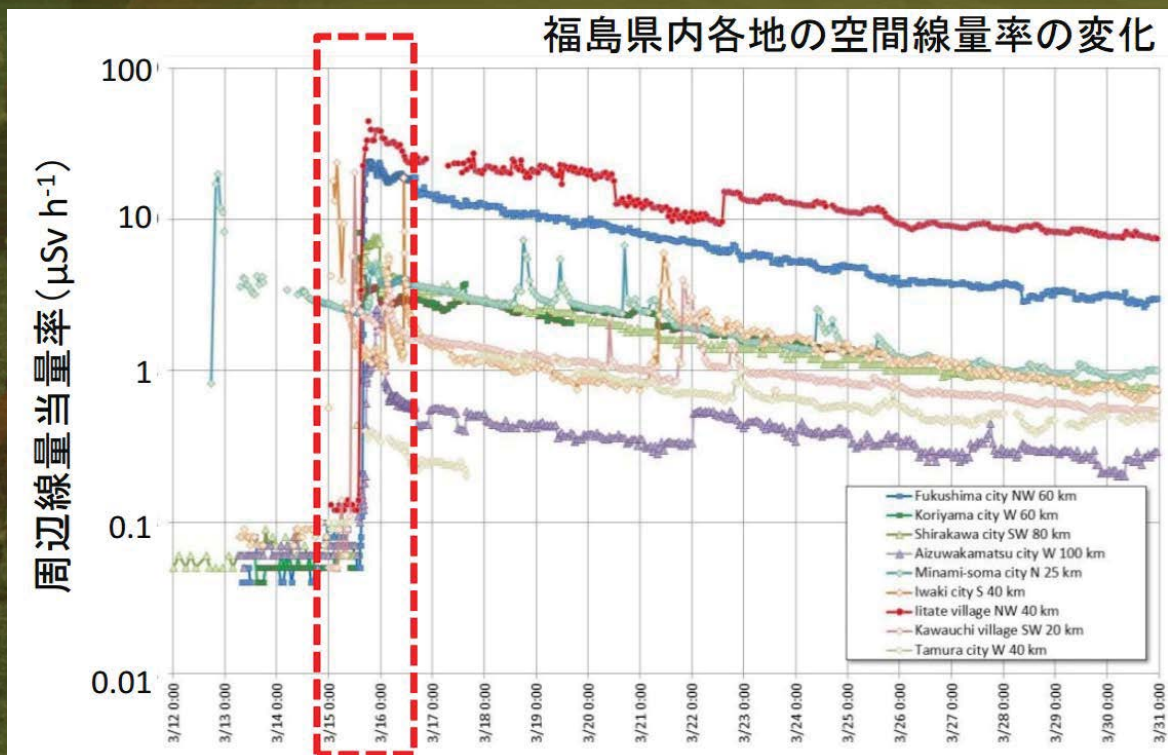


積算線量：2013.12～2016.05



初期線量の推定

- 事故当初の空間線量率：少なくとも現在の10倍以上か？





初期線量の推定

- 事故当初の空間線量率：少なくとも現在の10倍以上

ヨウ素 131 とセシウム 137 の大気放出量に関する試算

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の量を正確に推定することが困難な状況ではあったが、原子力安全委員会は、4月12日、事故の全容を把握する一環として、独立行政法人日本原子力研究開発機構の協力を得て、福島第一原子力発電所から大気中に放出されたヨウ素 131 とセシウム 137 の大気放出量の推定的試算値を公表した。3月11日から4月5日までの大気中への一部の核種の放出放射能総量として、ヨウ素 131 が $1.5 \times 10^{17} \text{Bq}$ 、セシウム 137 が $1.2 \times 10^{16} \text{Bq}$ （5月12日に $1.3 \times 10^{16} \text{Bq}$ と修正）という推定的試算値が得られた。

2012年11月26日 経産省

表1 東京電力による大気中放出量の推計（単位 PBq）

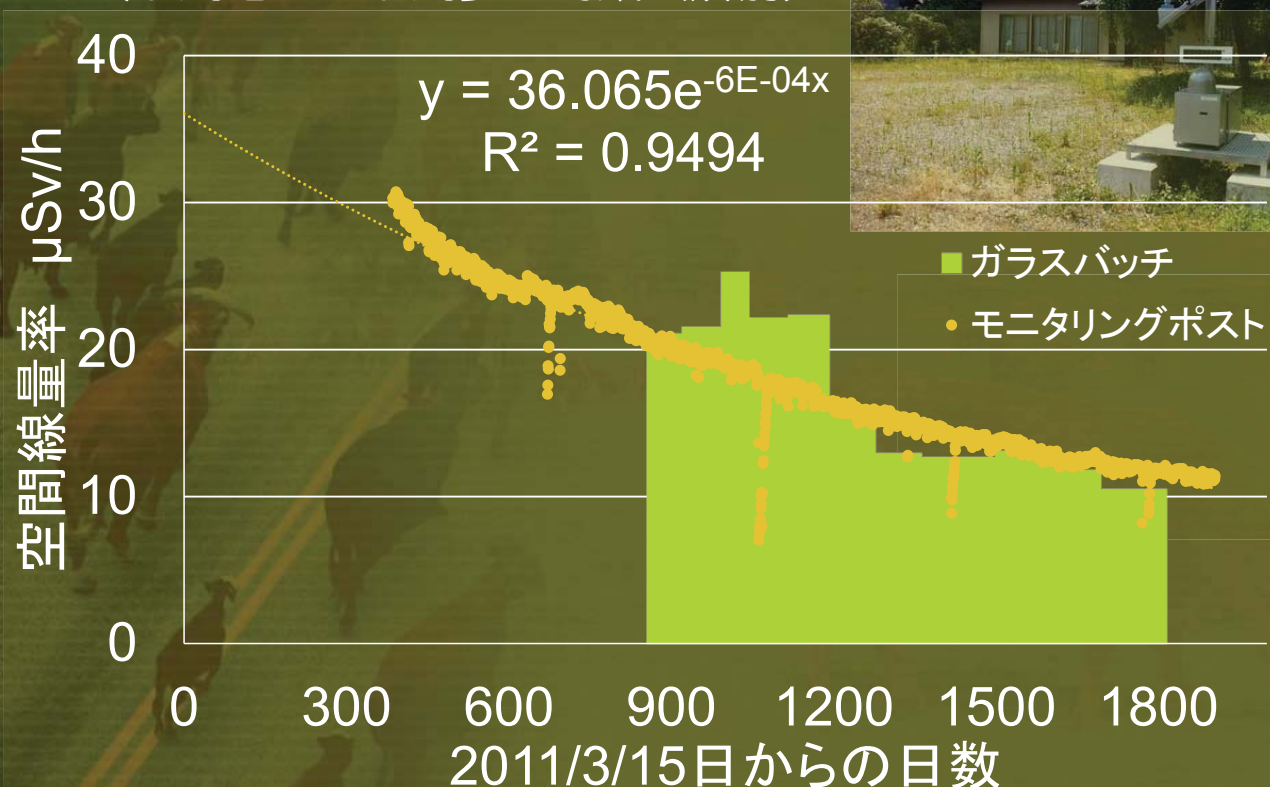
希ガス（0.5MeV 換算値）	I-131	Cs-134	Cs-137	INES 評価 ^{注1}
約 500	約 500	約 10	約 10	約 900

（注1）INES（国際原子力指標尺度）評価は、放射能量をよう素換算した値。ここでは限られた核種でしか評価できていないため、I-131 と Cs-137 を使用して、事故の規模を評価した。Cs-137 のみ評価に加えている。2015年2月25日 渡辺悦司・山田耕作



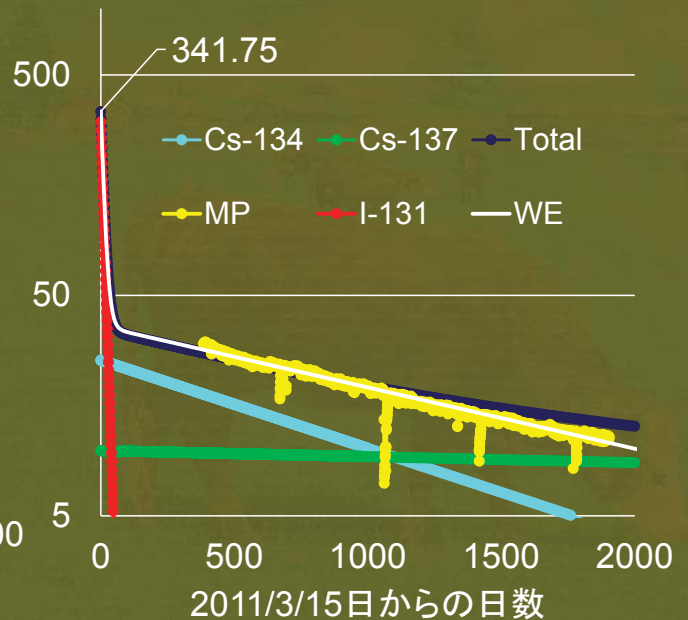
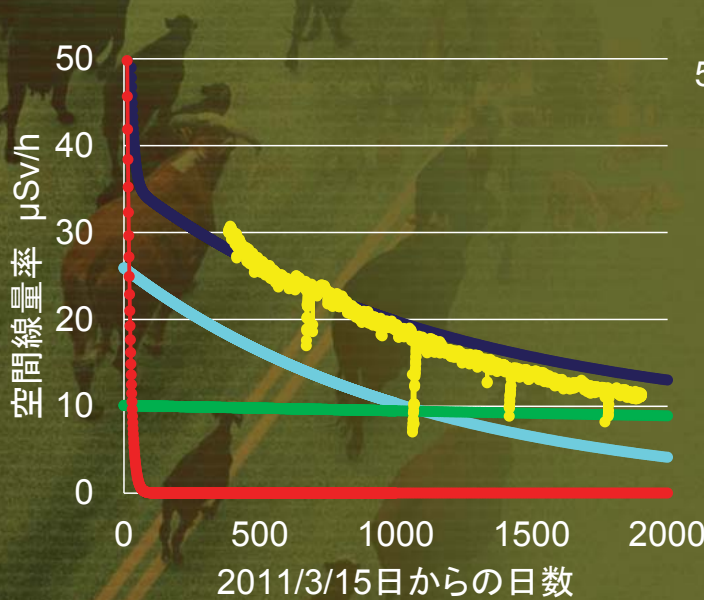
初期線量の推定

- モニタリングポストとのデータ比較
（小丸地区：小丸多目的集会所前）



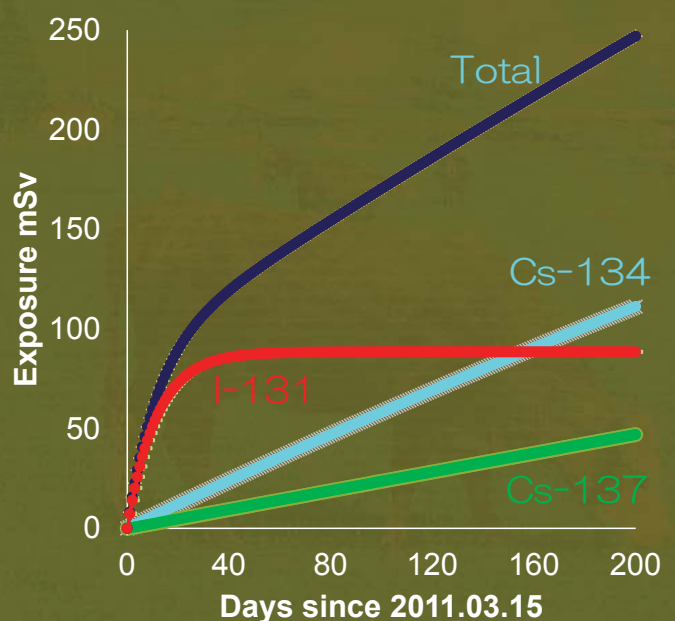
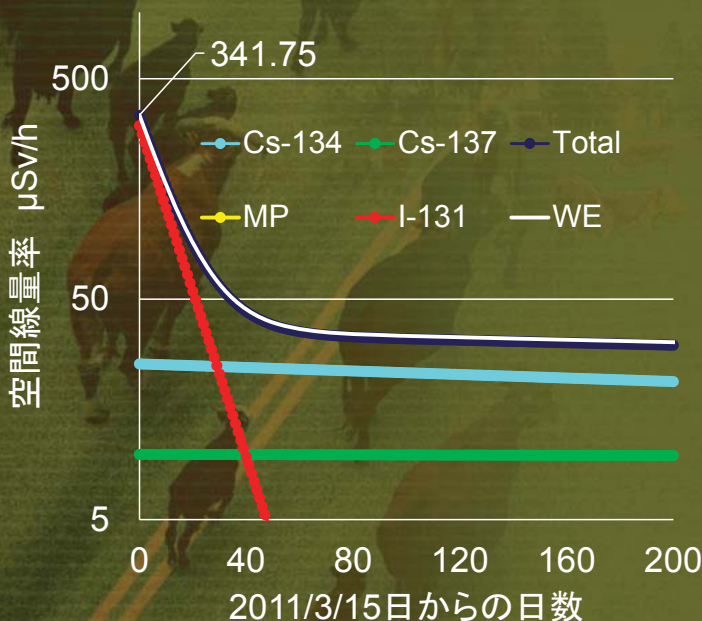
汚染土壌からの空間線量寄与率

核種	T1/2(yr)	T1/2(day)	λ (/day)	MBq/m ²	mSV/h/MBq/m ² 空間線量寄与率	放出比
Cs-134	2.0652	753	9.2E-4	4.8	5.4	1
Cs-137	30.167	11003	6.3E-5	4.8	2.1	1
I-131		8.02	0.0864	240	1.3	50



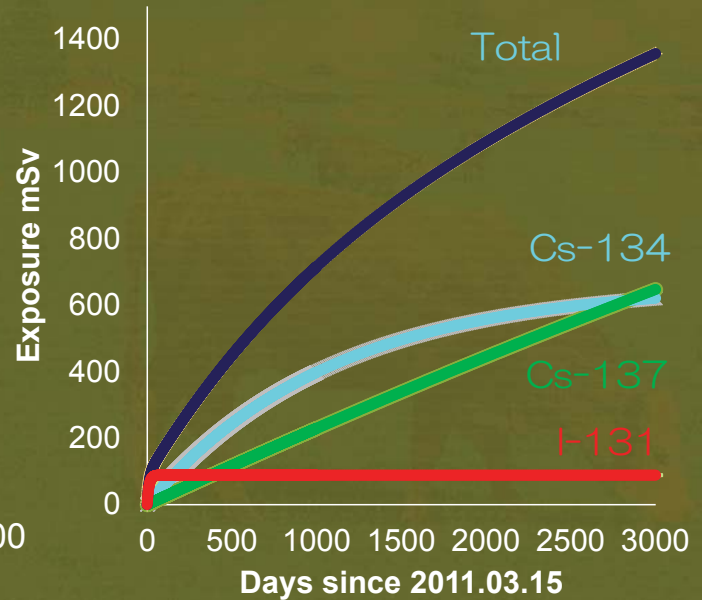
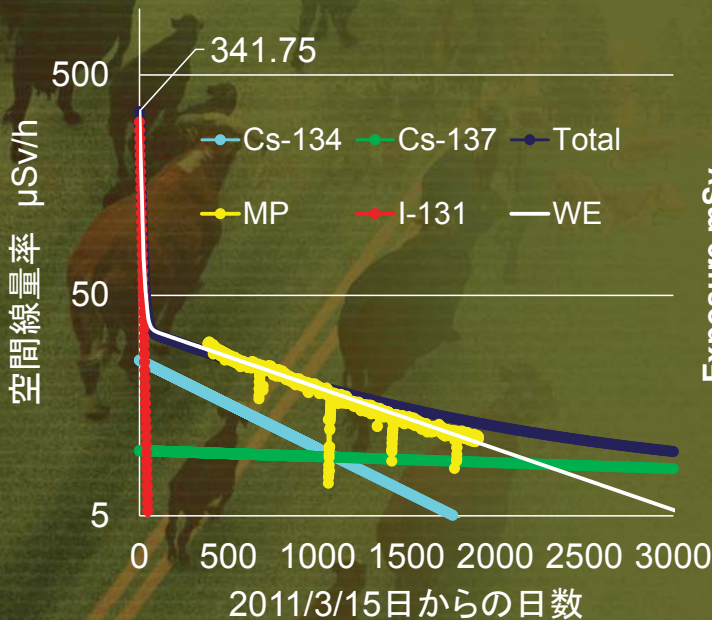
汚染土壌からの空間線量寄与率

核種	T1/2(yr)	T1/2(day)	λ (/day)	MBq/m ²	mSV/h/MBq/m ² 空間線量寄与率	放出比
Cs-134	2.0652	753	9.2E-4	4.8	5.4	1
Cs-137	30.167	11003	6.3E-5	4.8	2.1	1
I-131		8.02	0.0864	240	1.3	50



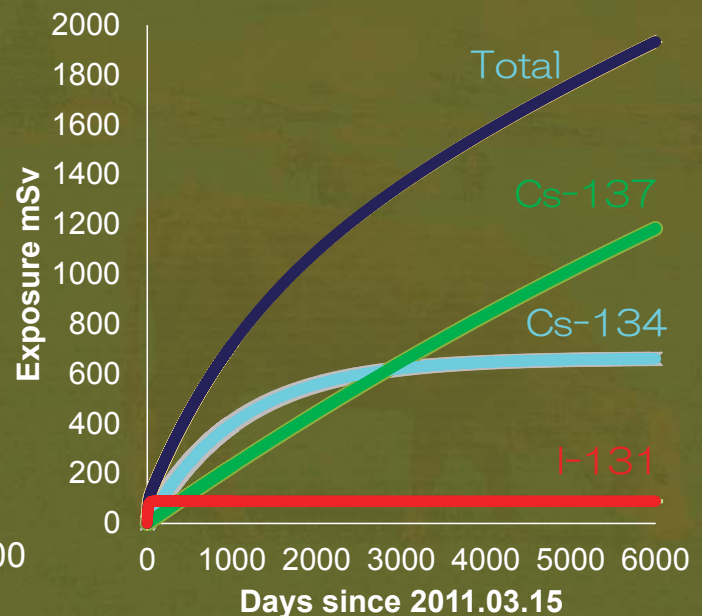
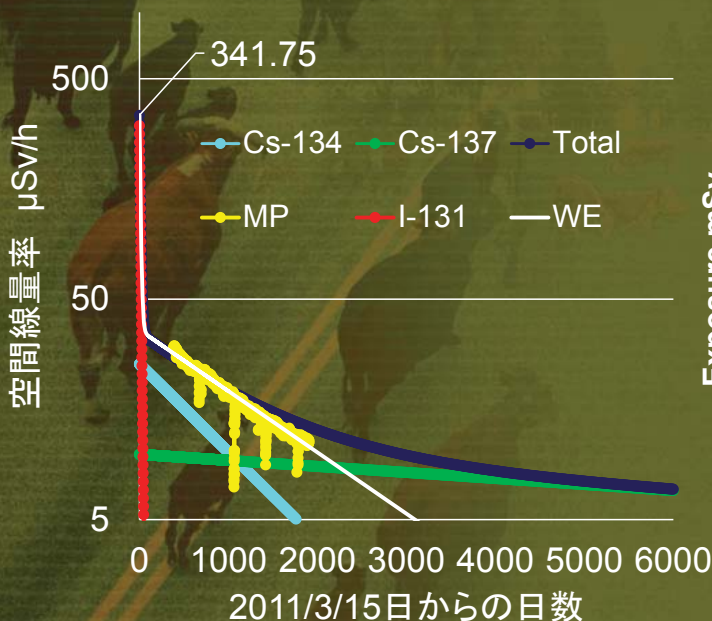
汚染土壌からの空間線量寄与率

核種	T1/2(yr)	T1/2(day)	λ (/day)	MBq/m ²	mSV/h/MBq/m ² 空間線量寄与率	放出比
Cs-134	2.0652	753	9.2E-4	4.8	5.4	1
Cs-137	30.167	11003	6.3E-5	4.8	2.1	1
I-131		8.02	0.0864	240	1.3	50



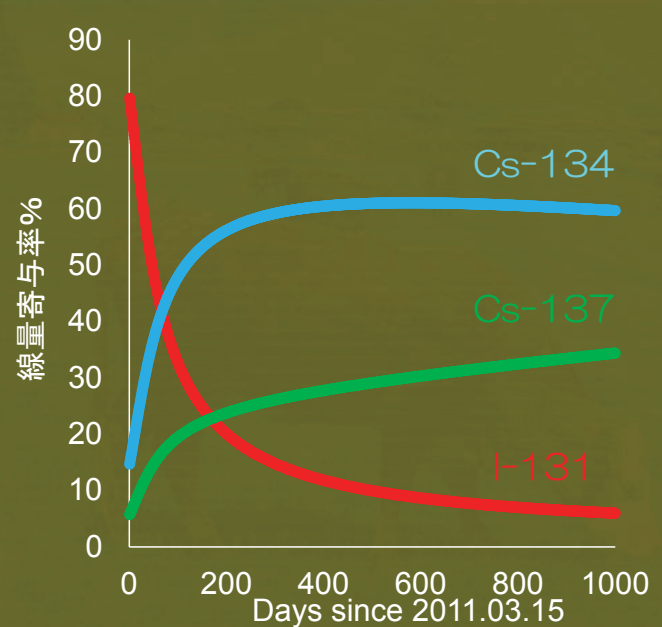
汚染土壌からの空間線量寄与率

核種	T1/2(yr)	T1/2(day)	λ (/day)	MBq/m ²	mSV/h/MBq/m ² 空間線量寄与率	放出比
Cs-134	2.0652	753	9.2E-4	4.8	5.4	1
Cs-137	30.167	11003	6.3E-5	4.8	2.1	1
I-131		8.02	0.0864	240	1.3	50

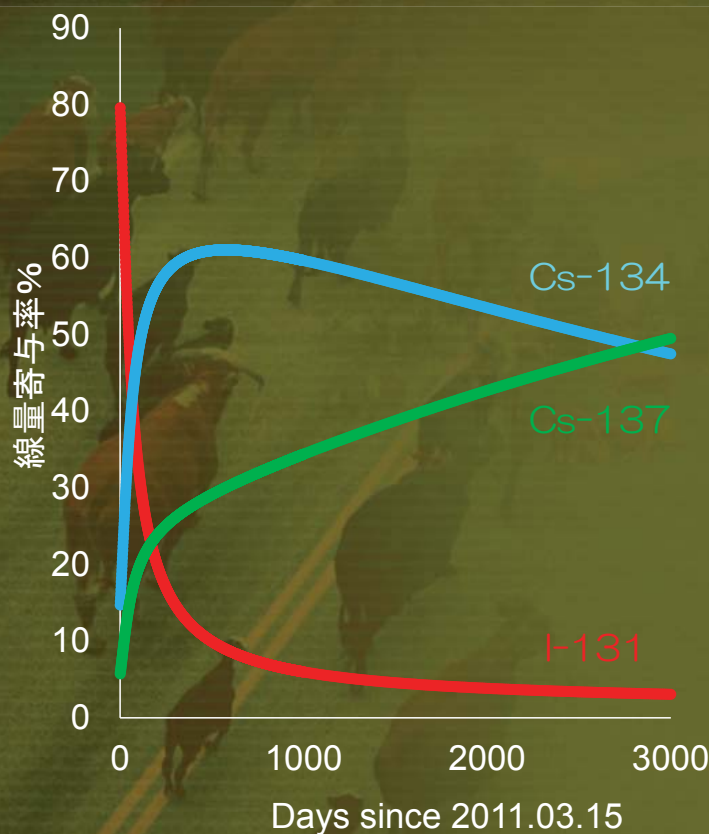


核種による外部被ばく線量寄与率

核種	T1/2(yr)	T1/2(day)	λ (/day)	MBq/m ²	mSV/h/MBq/m ² 空間線量寄与率	放出比
Cs-134	2.0652	753	9.2E-4	4.8	5.4	1
Cs-137	30.167	11003	6.3E-5	4.8	2.1	1
I-131		8.02	0.0864	240	1.3	50



核種による外部被ばく線量寄与率



総 括

- ・ ガラス線量計と空間線量率（サーベイメータやモニタリングポスト）の値に大きな相違は認めなかった
- ・ 原子炉事故からの放出量（Cs・I）に基づく土壤汚染量を仮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が推定された
- ・ I-131による外部被ばくは初期の30日間でおおよそI-131による被ばく線量（推定値最大88mSv）の93%，全被ばく線量の60%に達した

総 括

- ・ もっとも汚染された小丸地区の黒毛和牛のこれまでの外部被ばく線量（積算）が推定された

Year	1	2	3	4	5
mSv	362	581	761	908	1037

- ・ 原子炉災害以降，初期の2ヶ月まではI-131が，その後現在まではCs-134が外部被ばくの主因であり，現在の総線量に対するCs-134の寄与率は54%，I-131は4%程度である
- ・ 放射性Csによる外部被ばくの寄与率がCs-134からCs-137に逆転するまで，おおよそ2850日（7.8年）を要する
- ・ ウェザリング効果・内部被ばく等を含めたより正確な被ばく線量と将来予測される線量を求めたい

最後に

- もっとも汚染された小丸地区でも外部被ばく線量は宇宙ステーション滞在で受ける線量率（1mSv/day）程度・・・宇宙開発への貢献
- 牛の放牧は農地保全に貢献
- 一般的な肉牛の使用期間は3年未満
- 汚染牧野は育成・繁殖に供し、出荷前の数か月間は汚染の低い地区での仕上げ期間利用しての試験的な飼育・出荷を継続することで農地の除染・農地保全・イノシシ・熊対策に利用できる復興対策へ。

謝 辞

- 公益社団法人 日本獣医師会
- 社団法人 日本草地畜産種子協会
- 日本全薬工業
- 共和化工株式会社
- 日立アロカメディカル株式会社 計測システム営業部
- 株式会社 千代田テクノル
- 藤田保健大学 若松 一雅教授
- 南相馬市桜井勝延市長
- 南相馬市役所経済部
- 福島県中小企業同友会
- 福島県酪農連合会
- そして何よりも研究牧場と多くの牛を提供していただいた農家の皆様とそこご家族に心から感謝いたします

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。

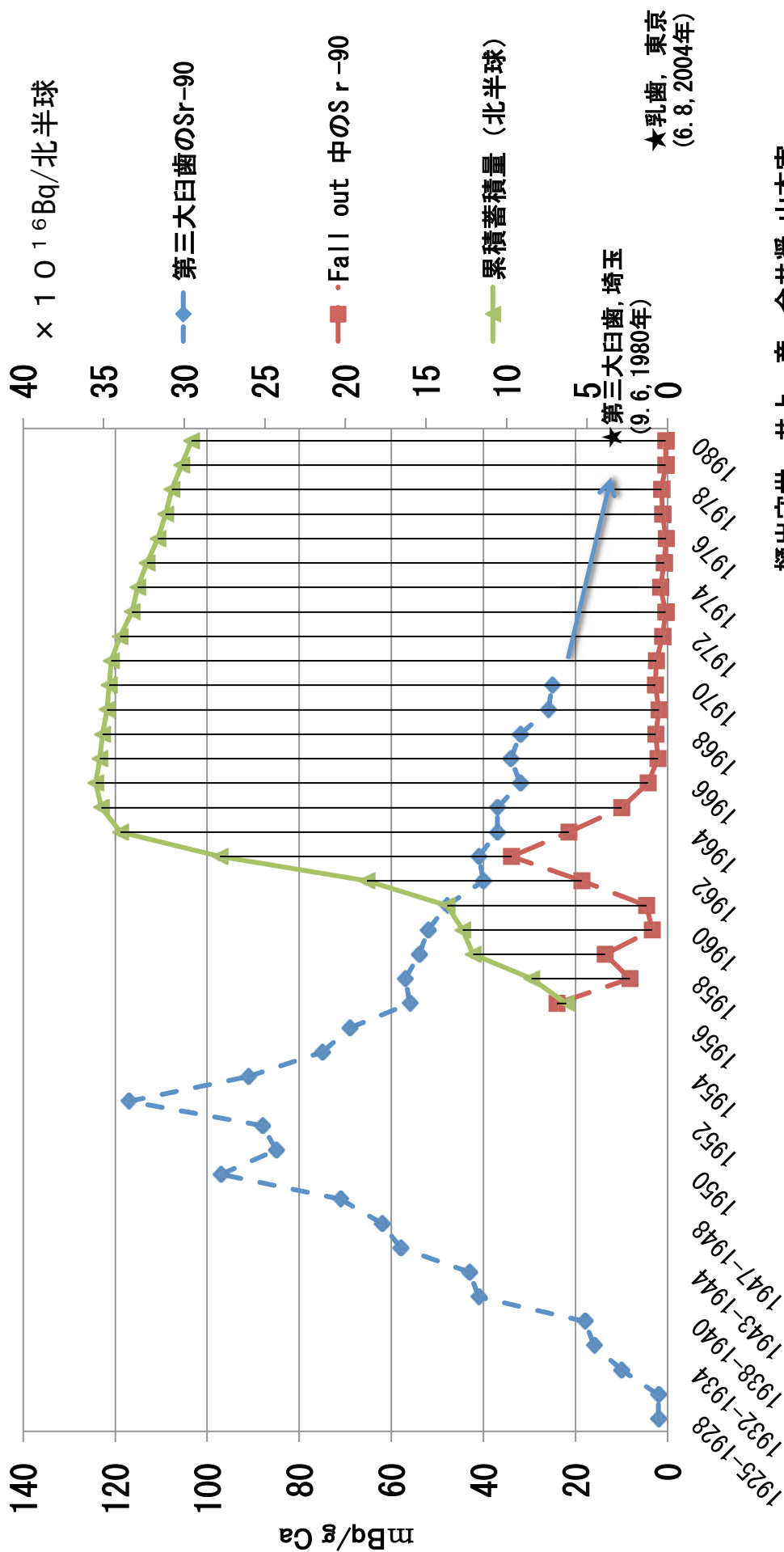
【対象と方法】平成24年12月（原発事故後）より、本研究に賛同が得られた全国歯科診療所施設に資料（研究計画説明書、同意書）と収集ビンの配布をし、乳歯を生年別、地域別に収集継続中である。乳歯収集状況は秋田；20、宮城；10、山形；50、福島；3、東京都；487、神奈川県；30、千葉県；20、埼玉県；247、静岡県；32、愛知県30、大阪府；50、広島県；10、愛媛県；412、福岡；10、熊本県；96、鹿児島県；60、沖縄県；12、総計1579本である。（平成28年4月15日現在）。今回は原発事故前の推移を明らかにするために、①埼玉県（2003年生年、35本）、②東京都（2003年生年、57本）、③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 $9.6 \pm 2.2 \text{ Bq/g} \cdot \text{Ca}$ の ^{90}Sr が検出された。乳歯群では⑥東京都のみ $6.8 \pm 2.1 \text{ Bq/g} \cdot \text{Ca}$ 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

西暦(年) 第三大臼歯はドナーの生年
Fall outは降下した年(北半球)

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

○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⁾

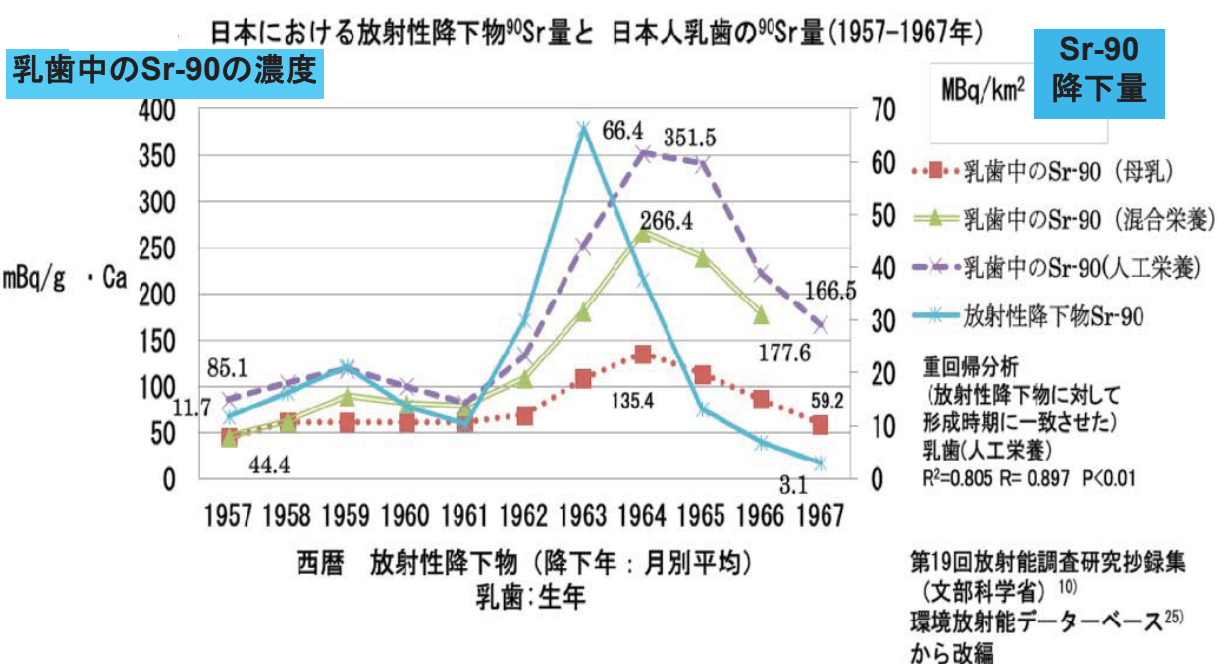
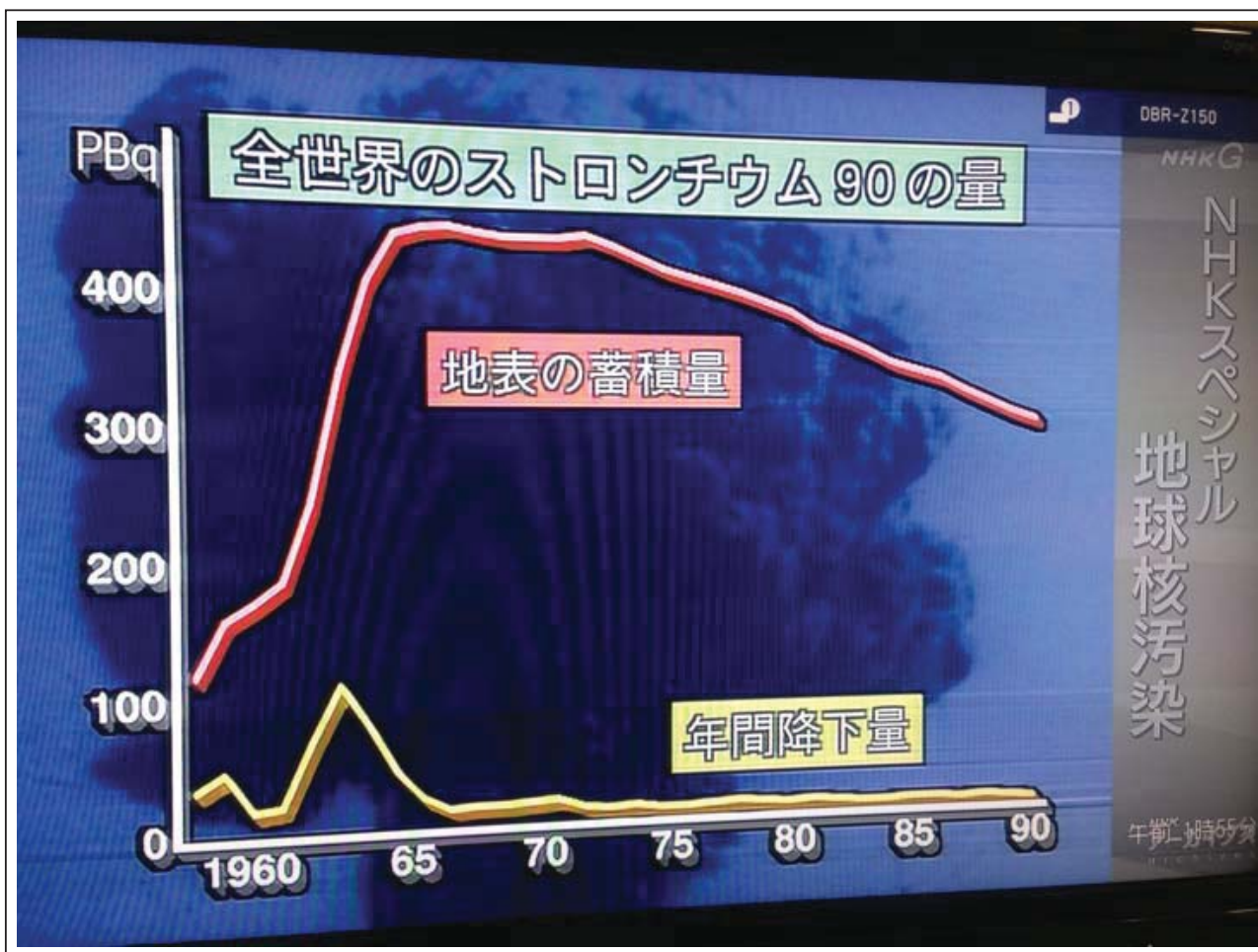
1)鶴見大学歯学部探索歯学講座

2)国立保健医療科学院 生活環境研究部

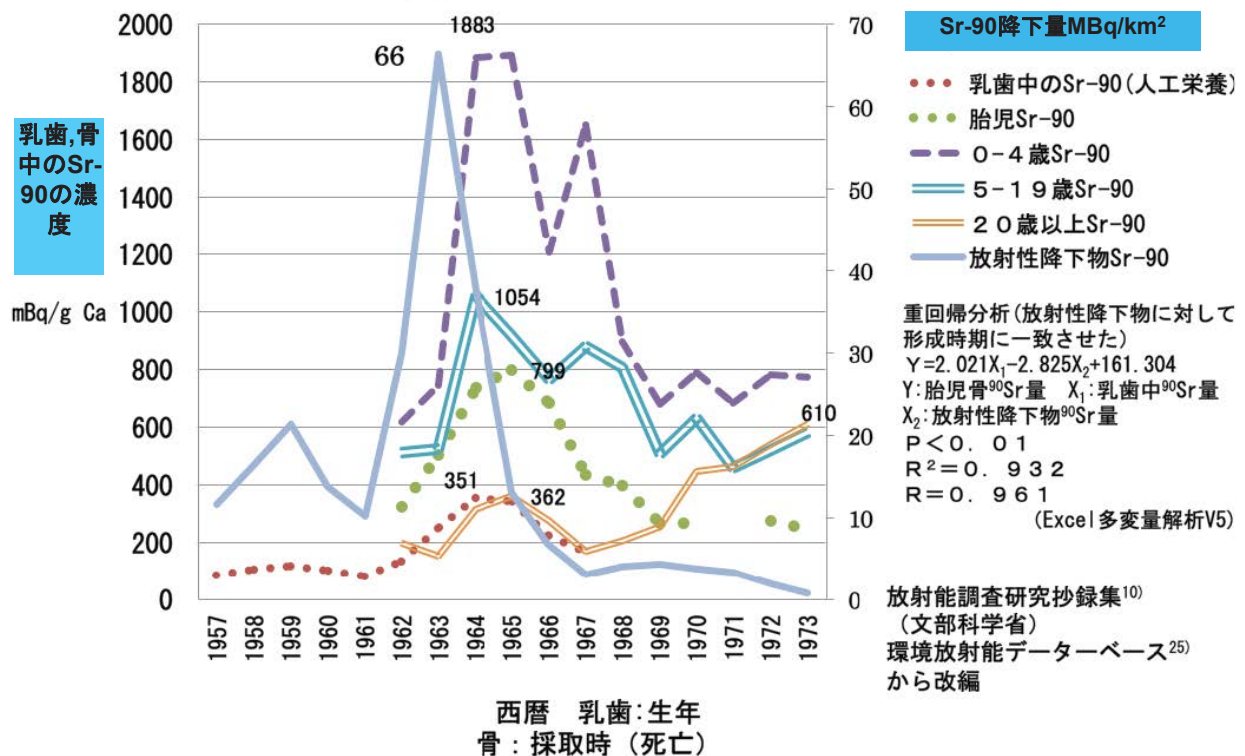
3)日本歯科大学東京短期大学

第3回 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
京都大学原子炉実験所(大阪,熊取)平成28年8月4日

Prologue & Background



乳歯と骨に蓄積された ^{90}Sr 量と放射性降下物 ^{90}Sr 量



5

乳歯の発育

歯の種類	歯の芽ができる時期 (歯胚形成)	歯が硬くなる時期 (石灰化)	歯が出てくる時期 (萌出)
上顎乳中切歯(A) 下顎 "	胎生7週	胎生4~4.5月	5~7月
上顎乳側切歯(B) 下顎 "	胎生7週	胎生4月	7~9月
上顎乳犬歯(C) 下顎 "	胎生7.5週	胎生5月	16~18月
上顎第一乳臼歯(D) 下顎 "	胎生3週	胎生5週	12~14月
上顎第二乳臼歯(E) 下顎 "	胎生10週	胎生6週	20~24月

乳歯の図

【胎生】一妊娠を示しています。例: 胎生7週一妊娠第7週目に形成される
 【月】一出生後何ヶ月で萌出するかを示しています
 【乳歯の図】一この図では隙間が有りますが、実際にはありません。一が近年このように隙間がなくなつてきているような歯並びが多くなっているようです

6

・福島原発で放出された放射エネルギー

37万テラベクレル 37×10^{12} ベクレル (保安院)
63万 $\times 10^{12}$ ベクレル (原子力安全委員会)

・チェルノブイリで放出された放射エネルギー

520万テラベクレル 520×10^{12} ベクレル

福島7倍

- ・1945年～1998年世界中で2419回の核実験が実施された

- ・世界の放射線被曝調査 高田純著 講談社

広島型原爆の35000発分

核実験では I-131 : 650000 PBq (65×10^{15} ベクレル),
Cs-137 : 910 PBq (910×10^{15} ベクレル)
Sr-90 : 604 PBq (604×10^{15} ベクレル)
合計 651514×10^{15} ベクレル

(国連委員会報告「放射線の線源と影響」1993年版)

福島1000倍

今回の事故の特徴

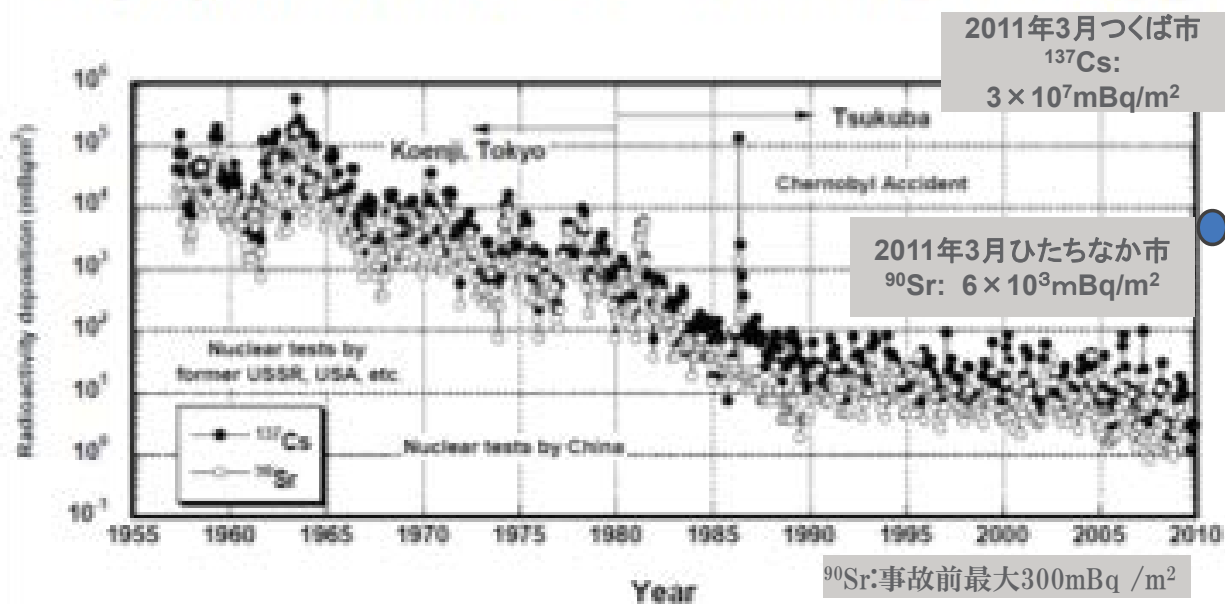
- 1, 放射性核種の大気への放出量が福島第一原発事故では総量としては少ない
(^{90}Sr ; 140テラベクレル, ^{239}Pu ; 0.0032テラベクレル, 原子力安全委員会)



チェルノブイリ事故

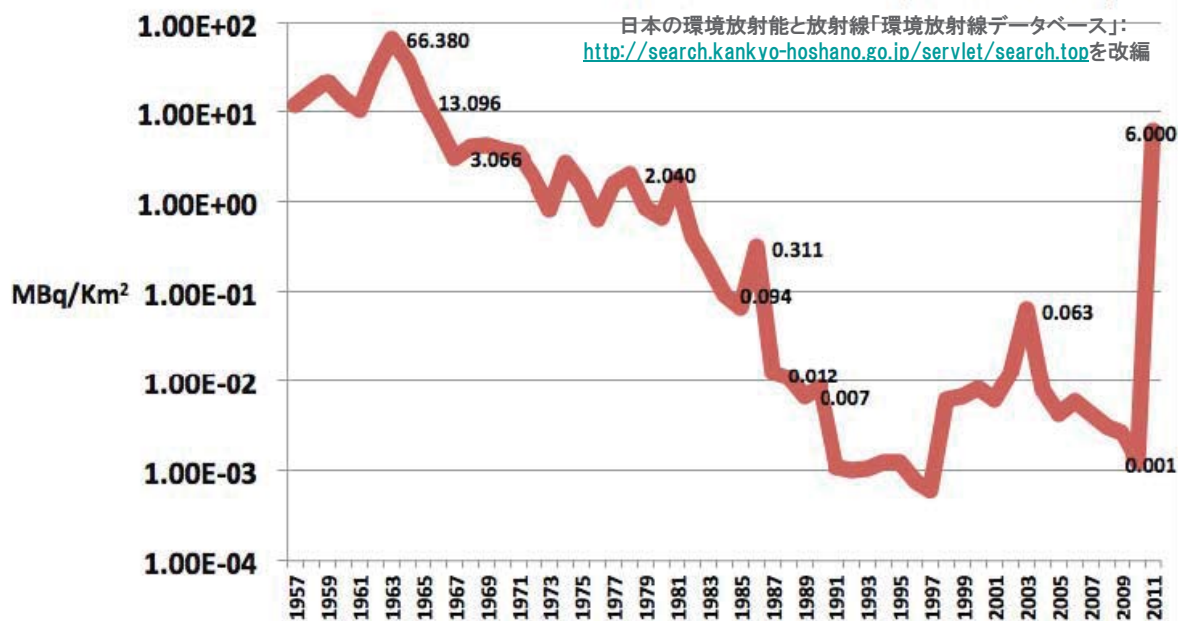
161000テラベクレル
19500テラベクレル

気象研究所における⁹⁰Srおよび¹³⁷Cs 月間降下量の推移

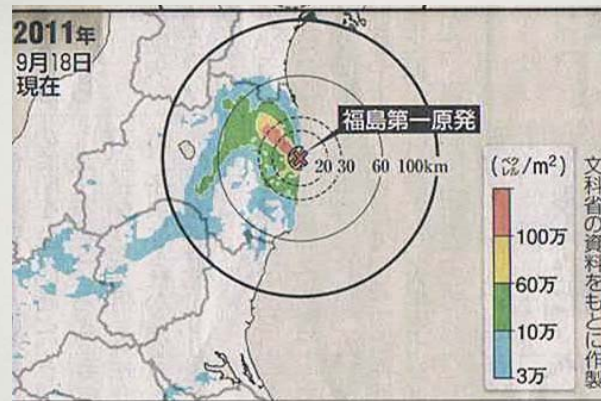


放射性降下物の長期変動と再浮遊に関する研究
気象研究所 環境・応用気象研究部、地球化学研究部・
五十嵐康人、高橋由、財前祐二、青山道夫・
第52回環境放射能調査研究成果論文抄録集(平成21年度)

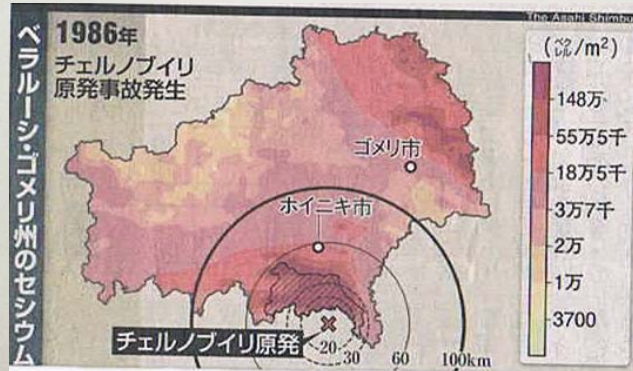
日本における放射性降下物Sr-90の年次推移(1958~2011)



3, 様々な放射性核種が放出し, 地域差がある¹⁾.



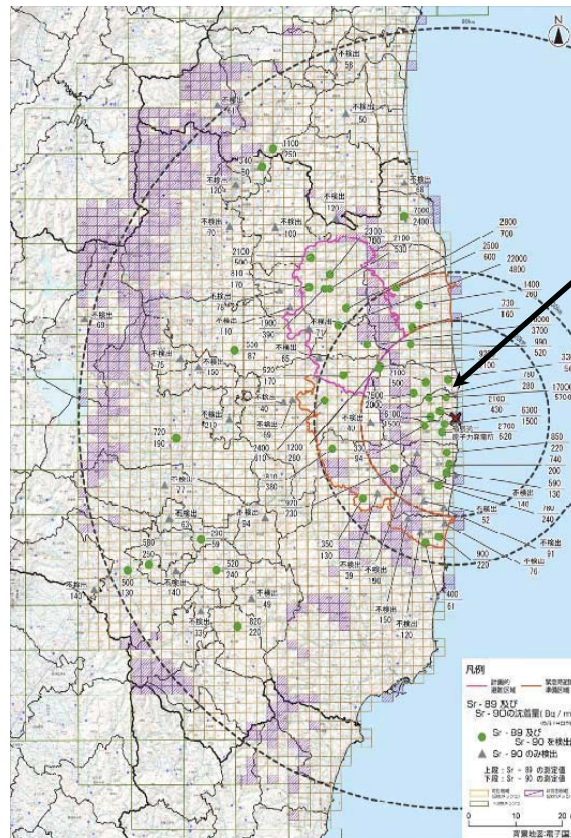
量的にはチェルノブイリより, 遙かに少ない (1 / 7)



文献1) 五十嵐康人, 青山道夫, 財前祐二, 直江寛明, 梶野瑞王:「大気を通じた人工放射 性核種の陸圏・水圏への沈着およびその後の移行過程の解明研究 平成23~26年度」, 国土交通省気象庁気象研究所.

ストロンチウム89、90の測定結果について

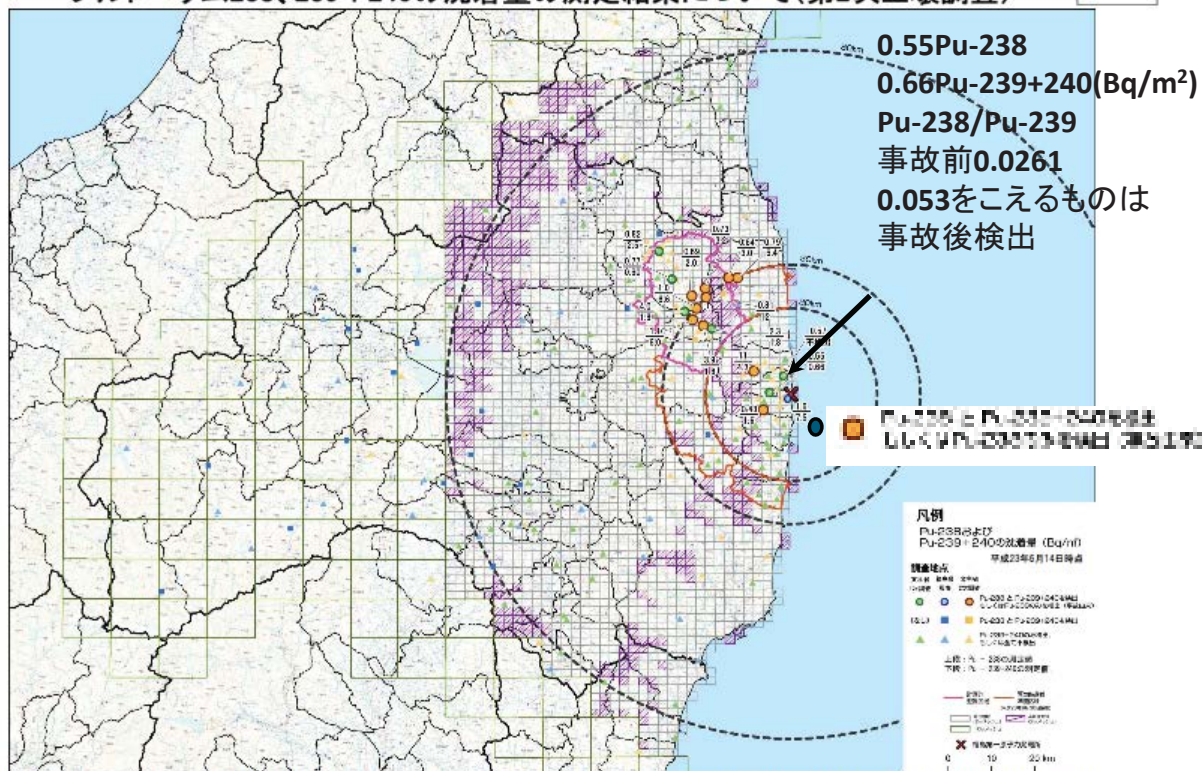
別冊2-2



・新たに沈着
17000 Sr-89
5700 Sr-90(Bq/m²)
Sr-89/Sr-90
1.9~6.5(平均6,5)

平成23年度
科学技術戦略科学推進費
「放射性物質による環境影響
への対策基盤の確立」
「放射性物質の分布状況等に関
する調査研究」
文部科学省
平成23年9月30日

※: 福島第一原子力発電所事故に伴い, 新たにストロンチウム89、90が沈着したものと考えられる箇所



※本マップでは、今回の文部科学省による第2次土壌調査の結果に加えて、昨年実施した文部科学省による第1次土壌調査の結果(平成23年9月30日公表)、及び福島県による調査(平成24年4月6日公表)の結果を平成23年6月14日時点に物理的減衰を考慮して補正した値を追記。
※平成11年度から平成21年度までの11年間の全国で観測されたPu-238とPu-239+240の沈着量の比率が対数正規分布となると仮定し、Pu-239+240に対するPu-238の沈着量の比率が0.053を超える箇所は、福島第一原子力発電所の事故由来の可能性が高い箇所とし、マップ上において○で記載。

文部科学省によるプルトニウム238,239+240,241の核種分析の結果(第2次調査)について平成24年8月21日

13

福島県における土壌の放射線モニタリング調査結果

平成24年4月8日

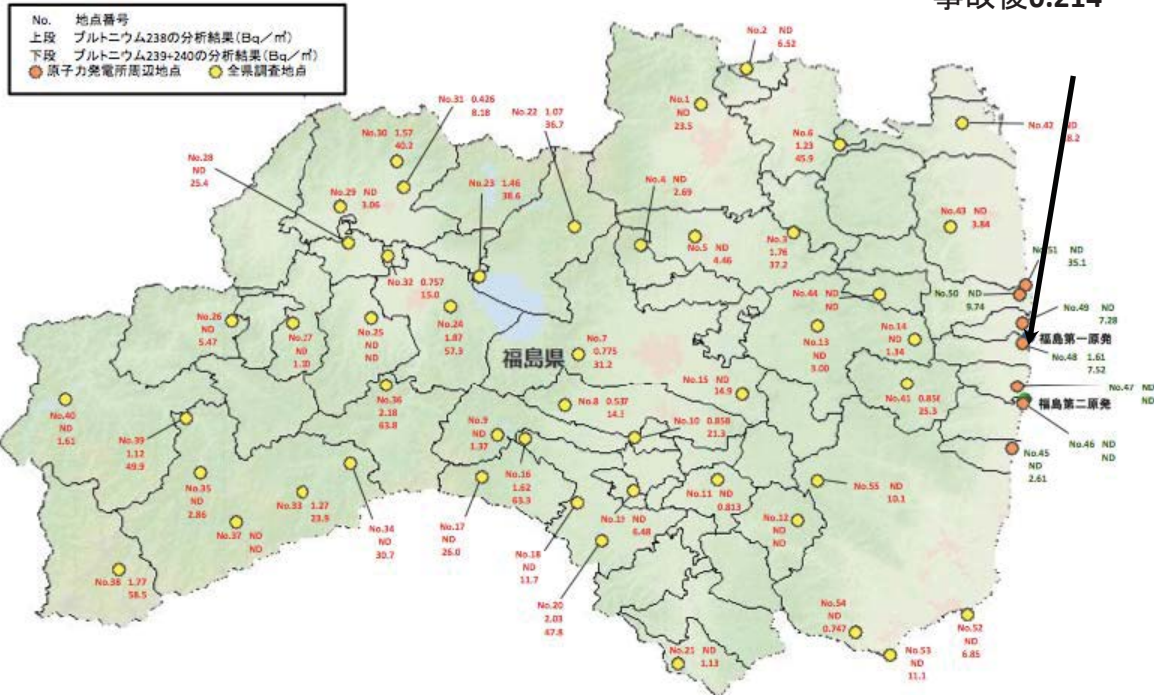
原子力発電所周辺対策本部(放射線) 福島県対策本部(原子力)

図1 ストロンチウム90の分析結果(土壌)



大熊町 夫沢
1.61Pu-238
7.52Pu-239+240(Bq/m²)
Pu-238/Pu-239
事故前0.0261
事故後0.214

図2 プルトニウム238、239+240の分析結果(土壌)



15

報道発表



文部科学省

MINISTRY OF EDUCATION,
CULTURE, SPORTS,
SCIENCE AND TECHNOLOGY (MEXT)

平成23年9月30日

文部科学省による、プルトニウム、ストロンチウムの 核種分析の結果について

●本調査において、プルトニウム 238、239+240 及びストロンチウム 89 及び 90 の沈着量の最高値が検出された各箇所における 50 年間積算実効線量

- ①プルトニウム 238 : 0.027mSv
- ②プルトニウム 239+240 : 0.12mSv
- ③ストロンチウム 89 : 0.61μSv (0.00061mSv)
- ④ストロンチウム 90 : 0.12mSv

(参考 2)

●本調査において、セシウム 134、137 の沈着量の最高値が検出された各箇所における 50 年間積算実効線量

- ⑤セシウム 134 : 710mSv
- ⑥セシウム 137 : 2.05Sv (2,000mSv)

16

【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、
これまでデータと比較し原発事故前後の
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、
全国歯科診療所施設に資料を配布をし、
乳歯を生年別、地域別に収集継続中である。



1999～2009生年
1789本

A	Akita	20
B	Miyagi	10
C	Yamagata	50
D	Tokyo	537
E	Saitama	330
F	Kanagawa	30
G	Chiba	20
H	Shizuoka	32
I	Aichi	50
J	Osaka	70
K	Hiroshima	10
L	Ehime	422
M	Fukuoka	10
N	Kumamoto	106
O	Kagoshima	70
P	Okinawa	12
Q	Fukushima	3

19

- 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
対象として
- ⑨成人第三大臼歯(1980年生年, 埼玉13本)

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

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(TM500,MORITA[®])でアルミナるつぽに入れ, 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:

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:

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 $^{239+240}\text{Pu}$:

すべての試料が検出限界未満であった. (④, ⑧未測定).

^{90}Sr :

⑨成人第三大臼歯

9.6mBq/g・Ca (H28.04時点換算).

乳歯群

⑥東京都のみ6.8m Bq/g・Ca (H28.04時点換算)

Plutonium from Above-Ground Nuclear Tests in Milk Teeth: Investigation of Placental Transfer in Children Born between 1951 and 1995 in Switzerland

Pascal Froidevaux¹ and Max Haldimann²

¹University Institute of Radiation Physics, University Hospital Center, University of Lausanne, Lausanne, Switzerland; ²Consumer Protection, Chemical Risks, Federal Office of Public Health, Bern, Switzerland

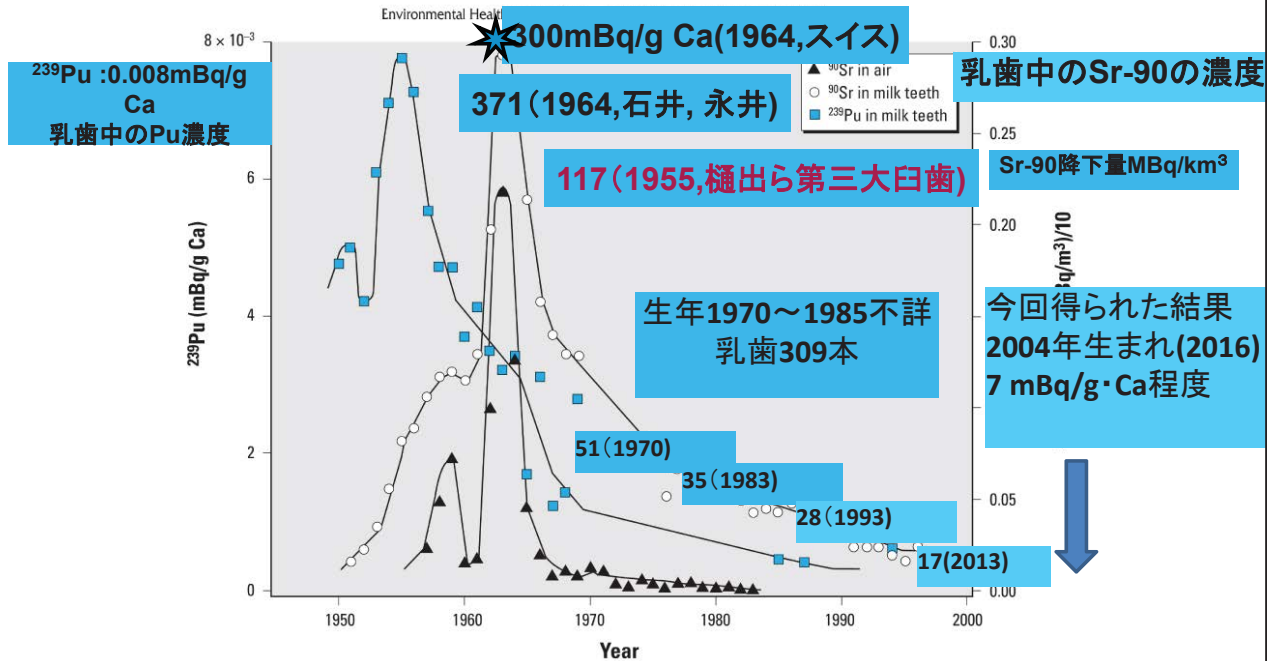


Figure 1. Activities of ⁹⁰Sr and ²³⁹Pu in milk teeth as a function of the year of birth. Nuclear bomb tests conducted between 1955 and 1963 produced large amounts of ²³⁹Pu and ⁹⁰Sr in air. ²³⁹Pu activities in the air can be deduced from ⁹⁰Sr in the air [data from UNSCEAR (2000) for the Northern Hemisphere] with a factor of 1/95.

23

日本人第三大臼歯の⁹⁰Srの経年推移

第三大臼歯(親知らず)
のSr-90の濃度

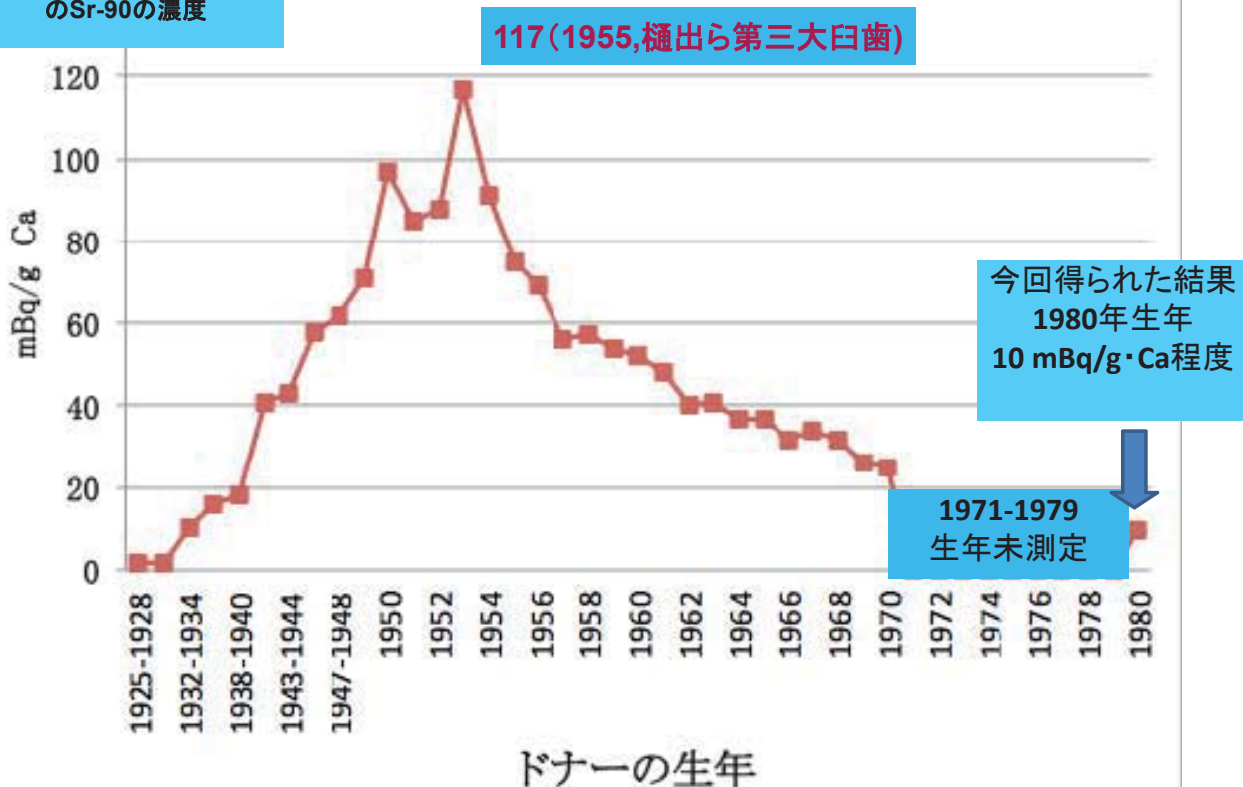
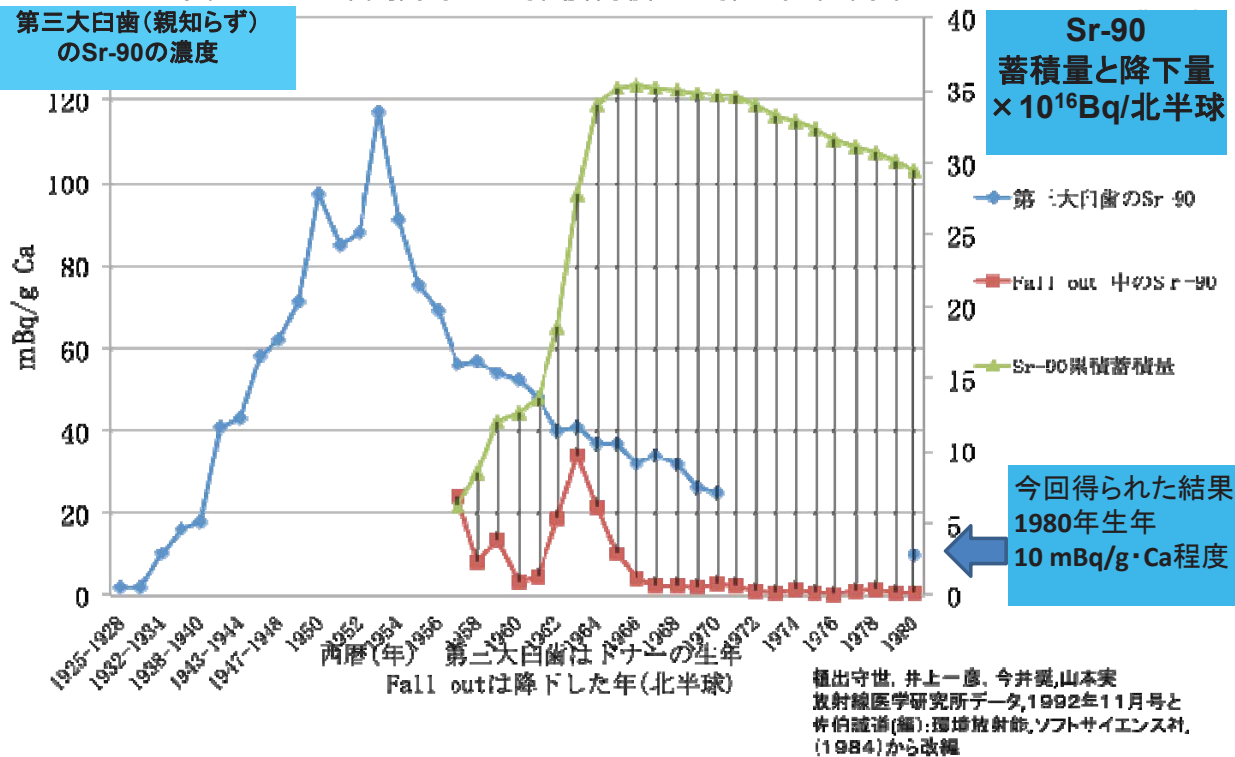


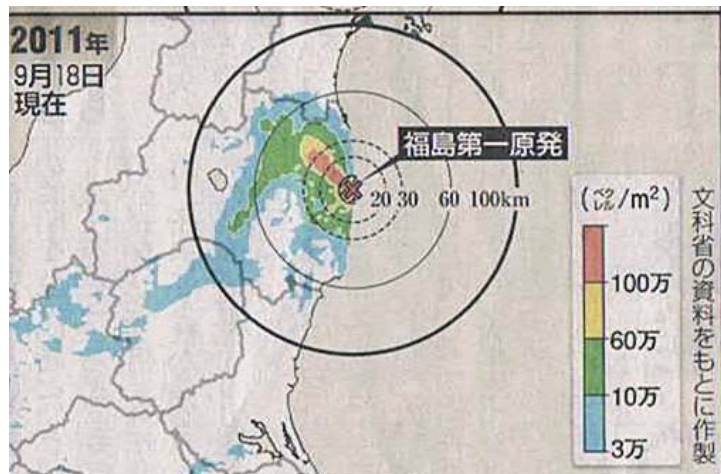
図1 ^{90}Sr の年間降下量と累積蓄積量と第三大臼歯中の ^{90}Sr

第三大臼歯(親知らず)
のSr-90の濃度



日常食中のSr-90の調査地点と測定値(2008年度 年間平均値)
(単位: Bq/人日)

都道府県名	調査地点	測定値(平均値)
北海道	札幌市北区	0.036
青森県	青森市	0.044
岩手県	盛岡市	0.031
宮城県	石巻市	0.034
秋田県	秋田市	0.055
山形県	山形市	0.035
福島県	福島市	0.039
茨城県	水戸市	0.046
栃木県	宇都宮市	0.034
群馬県	前橋市	0.033
埼玉県	さいたま市桜区	0.040
千葉県	千葉市中央区	検出されず
東京都	新宿区	0.031
神奈川県	平塚市	0.032
新潟県	新潟市西蒲区	0.043
富山県	富山市	0.040
石川県	金沢市	検出されず
福井県	福井市	0.034
山梨県	甲府市	0.024
長野県	長野市	0.041
岐阜県	各務原市	0.045
静岡県	静岡市葵区	0.047
愛知県	名古屋市中区	0.032
三重県	津市	0.043
滋賀県	大津市	0.036
京都府	京都市伏見区	検出されず
大阪府	大阪市北区	0.026
兵庫県	加古川市	0.027
奈良県	橿原市	0.024
和歌山県	和歌山市	0.029
鳥取県	鳥取市	0.036
島根県	松江市	0.040
岡山県	岡山市	0.033
広島県	広島市中区	検出されず
山口県	山口市	検出されず
徳島県	徳島市	0.025
香川県	高松市	0.041
愛媛県	松山市	0.035
高知県	高知市	0.037
福岡県	太宰府市	0.034
佐賀県	佐賀市	0.029
長崎県	大村市	0.044
熊本県	熊本市	0.039
大分県	大分市	検出されず
宮崎県	宮崎市	0.042
鹿児島県	薩摩川内市	0.042
沖縄県	那覇市	0.045



昭和40年科学技術庁
第7回環境放射能抄録集(国立栄養研究所)
健康な女児5名
1965年日常食36Bq摂取→蓄積23Bq/day 63%蓄積
→2008年東京新宿0.031Bq/day→1/1000

【考察】

- ・第三大臼歯は福島原発事故以前に収集されたものであり, Sr-90は核実験由来のものと推察される.
- ・Sr-90が2004年東京都乳歯群のみ検出され, 他試料が検出限界未満になったことは個人ベースでの蓄積が, 偶発的に生じた結果であることは否定できないが, 他試料に関して, サンプル数が少なく(20g以下)検出限界数値が上昇したので, 東京都のみの地域差が生じたものではないと考えている.
- ・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た.

被災牛の歯から放射性ストロンチウム

～歯に残された放射能汚染の記録～

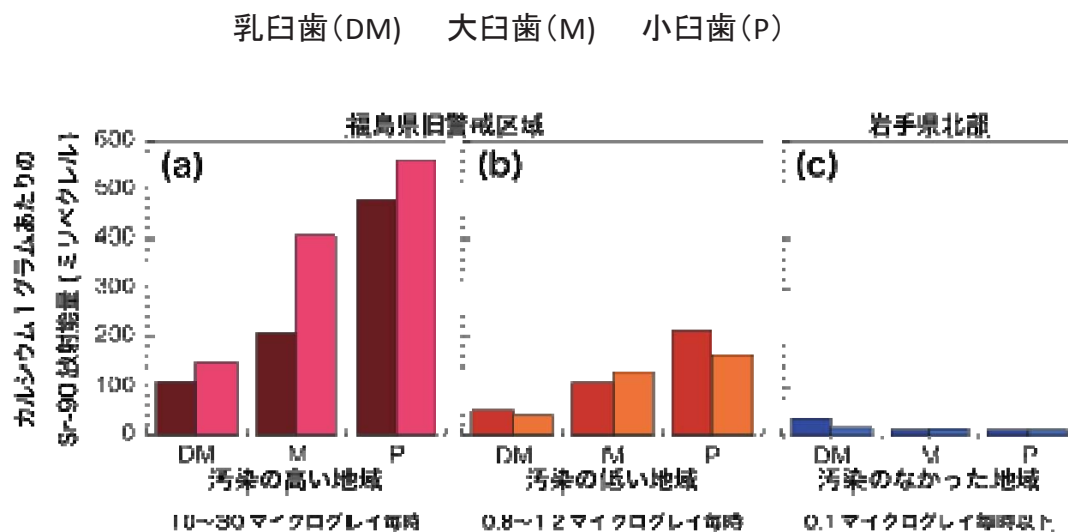


図 歯の Sr-90 放射能濃度 (ウシ捕獲地の空間線量率、歯の種類による違い)

平成28年4月11日 東北大学グループ

乳歯の発育

歯の種類	歯の芽ができる時期 (歯胚形成)	歯が硬くなる時期 (石灰化)	歯が出てくる時期 (萌出)	上顎 ↓ 下顎	乳歯の図
上顎乳中切歯(A) 下顎 "	胎生7週	胎生4～4.5月	5～7月		
上顎乳側切歯(B) 下顎 "	胎生7週	胎生4月	7～9月	1	
上顎乳犬歯(C) 下顎 "	胎生7.5週	胎生5月	16～18月		
上顎第一乳臼歯(D) 下顎 "	胎生9週	胎生5週	12～14月	↓	
上顎第二乳臼歯(E) 下顎 "	胎生10週	胎生6週	20～24月	下顎	

【胎生】一妊娠を示しています。例：胎生7週一妊娠第7週目に形成される
【月】一出産後何ヶ月で萌出するかを示しています
【乳歯の図】一この図では隙間がありませんが、実際にはあります。→が近年このように隙間がなくつまっているような歯並びが多くなっているようです

<http://www5b.biglobe.ne.jp/~kumatta-/haiku-hatsuiku.htm>

29

結論

- － 原発事故前に乳歯にあったSr-90の量
 - 7 mBq/g・Ca程度
- － 2004年生まれ児童：
 - 原発事故の影響ではない
- － 以前の値に比べると減少している

今後の研究計画

乳歯の形成：

胎生期から出生時にかけて行われるので
原発事故による影響は生年が**2011年**の乳歯
を収集後検証予定である。

生年別，地域別に**20g**以上の試料を揃え，
測定調査を実施していく。

被災地での収集を強化するか
共同研究を推進していく。

本研究は科学研究費助成事業で実施されている。

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

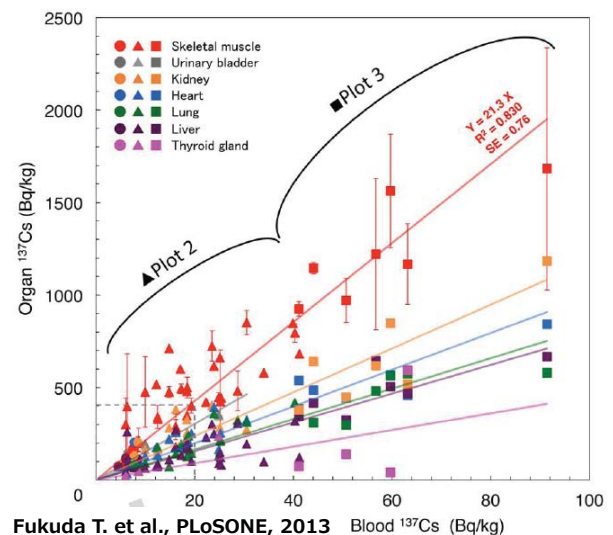
我々は肉用牛頸部筋肉の体表面に NaI サーベイメーターを密着させて計測 (生体測定)する方法を確立し、筋肉の生物学的半減期が約 1 ヶ月である事を明らかにした。放射性セシウムは長半減期核種であるため、体内動態を予測する事は意義がある。特に一定期間の測定によって、測定期間以外の体内動態が推測できると有意義である。本研究では、放射性セシウムを含む汚染飼料を給与した肉用牛において血中放射能濃度測定と生体測定を行い、一部の実測値を使って推定した放射性セシウム動態が、実測値に対してどの程度高い再現性を示すかについて検討した。肉用牛への給与試験は、平均 1,158Bq/kg の放射性セシウムを含む汚染稲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

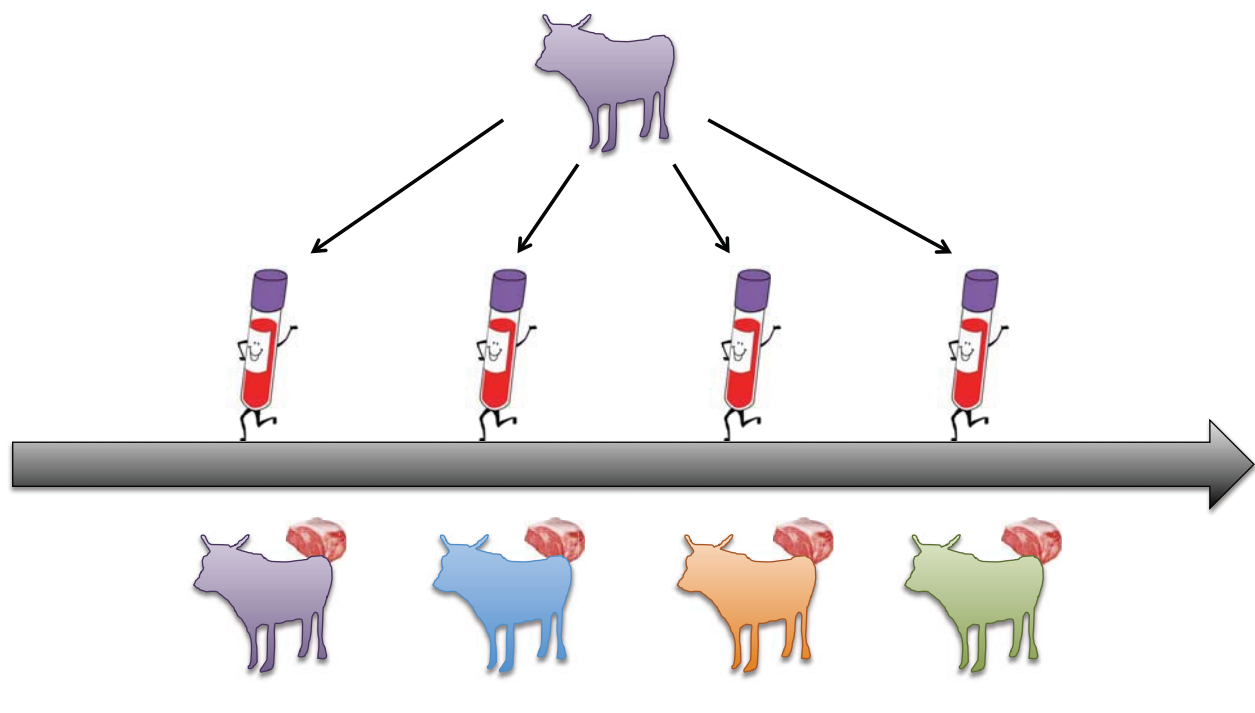
生体測定による筋肉中放射性セシウムの 体内動態推定の可能性

○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}

1. 東北大学 加齢医学研究所 病態臓器構築研究分野
2. 東北大学 理学研究科 放射化学研究室
3. 宮城県畜産試験場 酪農肉牛部
4. 量研機構放医研 福島再生支援本部
5. 宮城県仙台家畜保健衛生所 病性鑑定班
6. 東北大学 高度教養教育・学生支援機構
7. 東京医科大 分子病理



血液 → 臓器
← 筋肉

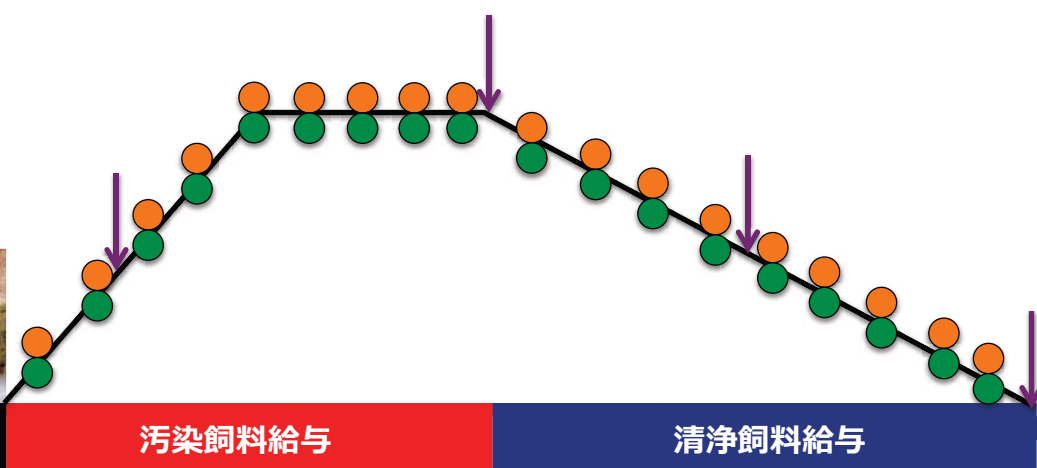
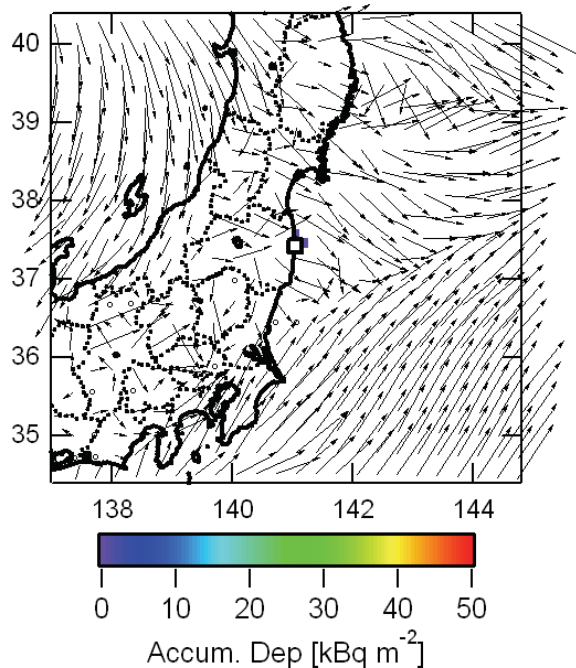


個体差
(特に低濃度放射性セシウム摂取時)

【目的】

生体測定：と畜前の肉用牛体表から筋肉中
放射性セシウムを個体ごとに評価する。

1. 個体ごとに血液-筋肉の相関を調べる。
2. 筋肉内動態推定の可能性を検討する。

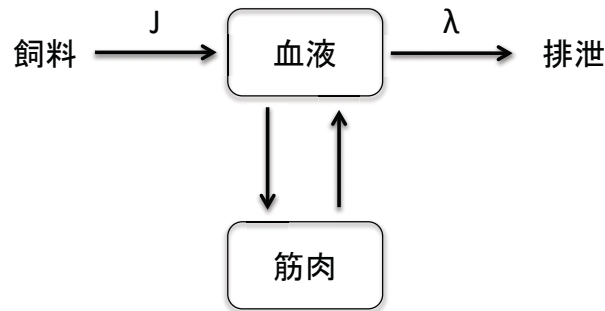


● : 血液モニタリング ● : 生体測定

↓ : 解剖

193

【放射性セシウム動態のシミュレーション】



(汚染飼料給与時)

$$M_{\text{raise}} = \alpha \times (J/\lambda) \times (1 + M_{\text{fast}} \times e^{-\lambda(\text{fast})t} + M_{\text{slow}} \times e^{-\lambda(\text{slow})t})$$

$$B_{\text{raise}} = (J/\lambda) \times (1 + B_{\text{fast}} \times e^{-\lambda(\text{fast})t} + B_{\text{slow}} \times e^{-\lambda(\text{slow})t})$$

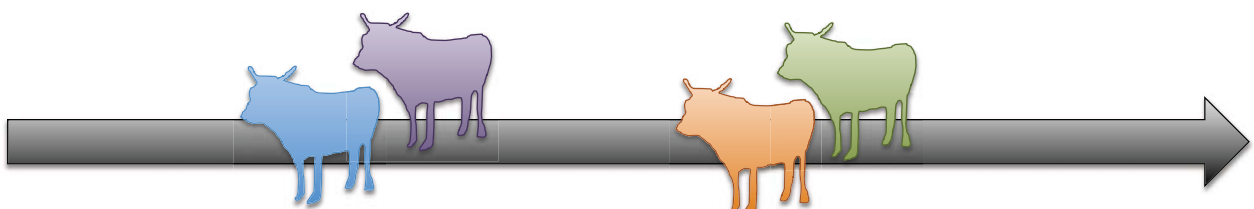
(清浄飼料給与時)

$$M_{\text{decay}} = \alpha \times (M'_{\text{fast}} \times e^{-\lambda(\text{fast})T} + M'_{\text{slow}} \times e^{-\lambda(\text{slow})T})$$

$$B_{\text{decay}} = (B'_{\text{fast}} \times e^{-\lambda(\text{fast})T} + B'_{\text{slow}} \times e^{-\lambda(\text{slow})T})$$

【まとめ】

- 生体測定と血液モニタリングによって、同一個体で筋肉と血液中の放射性セシウム動態を調べる事が可能となった。
- 放射性セシウムの摂取状況によって、血液-筋肉間の相関が異なる事が明らかとなった。
- 放射性セシウム動態を生体測定や血液モニタリングの一部のデータを使って再構築する事が可能であった。



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。

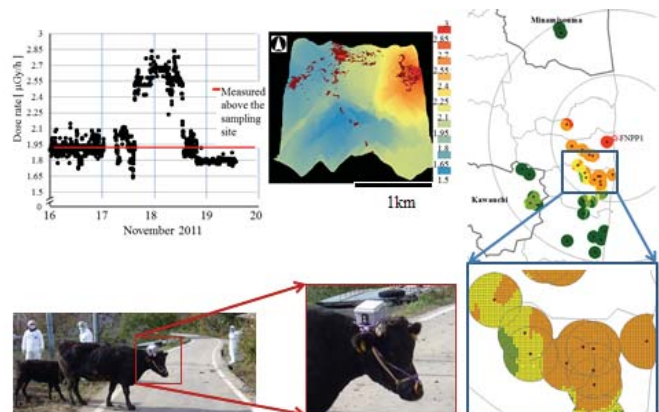


図. ウシの行動調査と汚染地図の重ね合わせ

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)

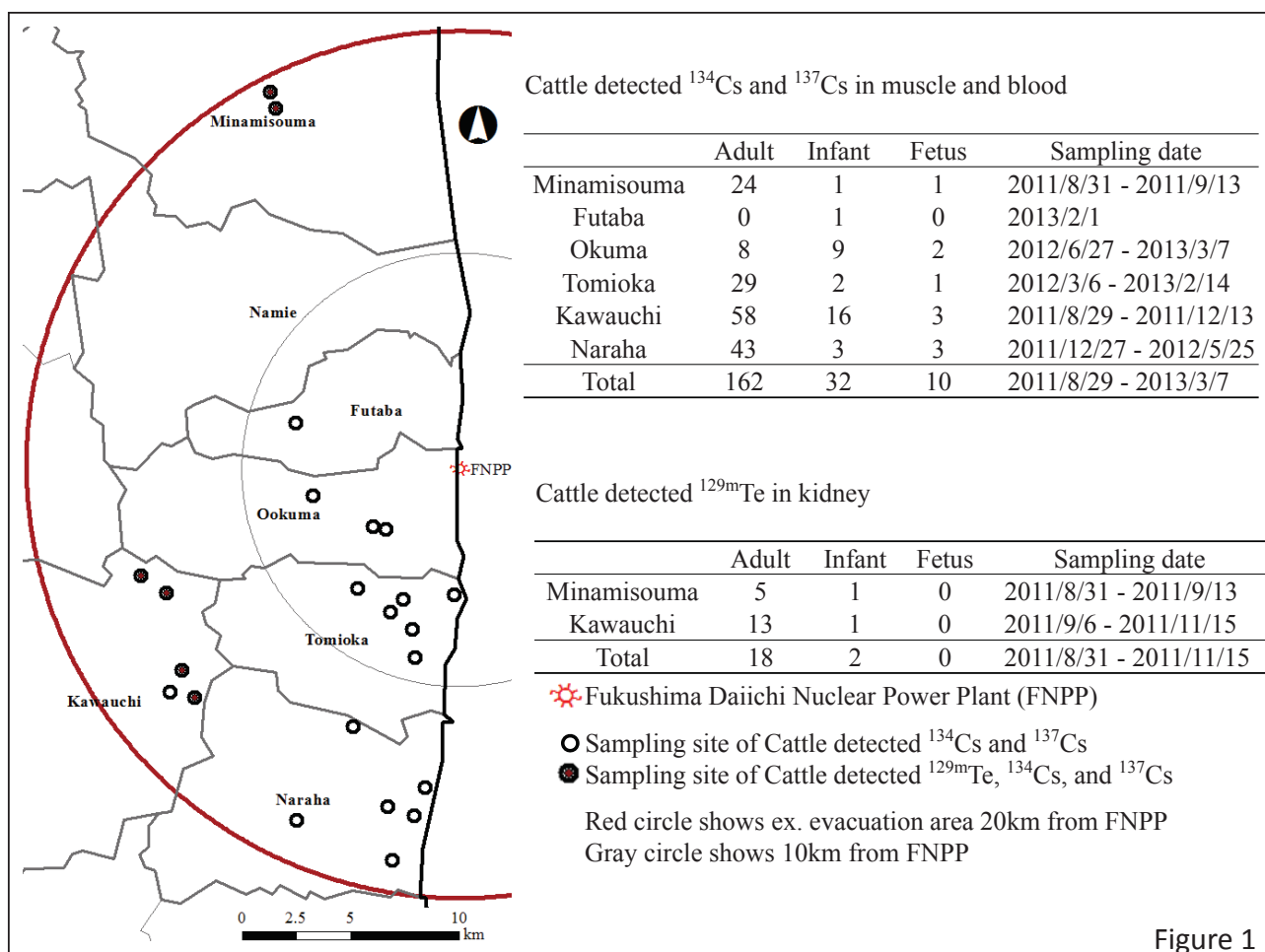
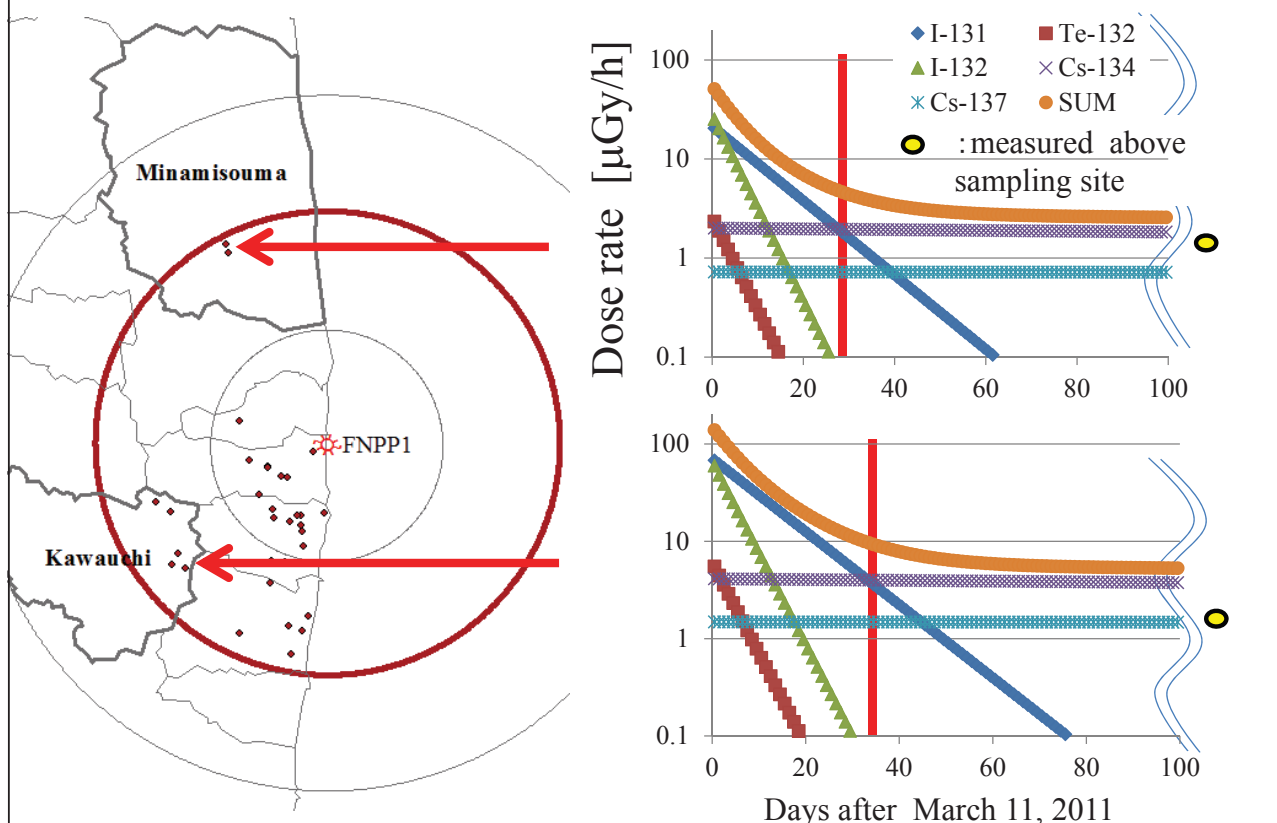


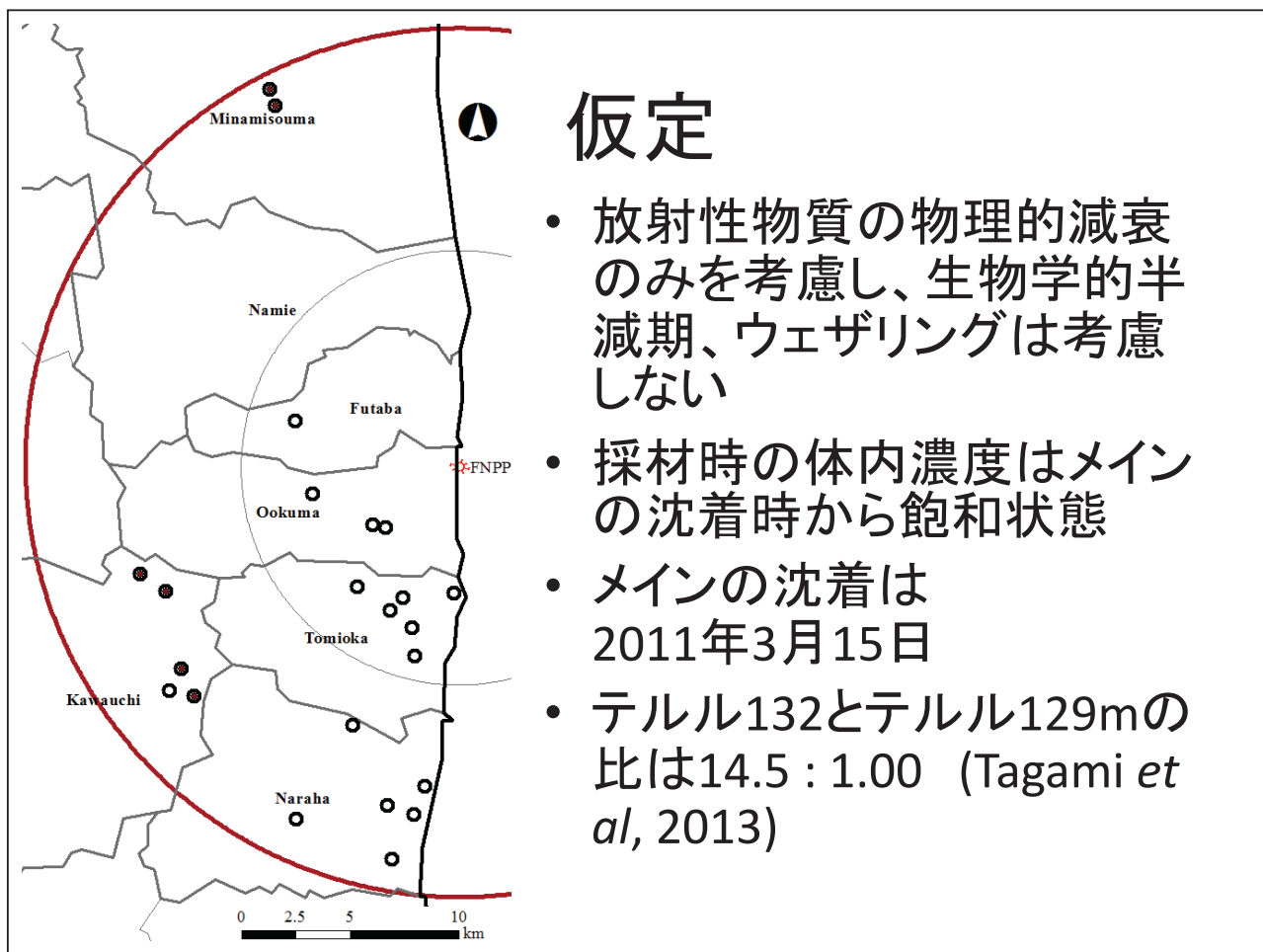
Figure 1

初期外部被ばく線量再構築



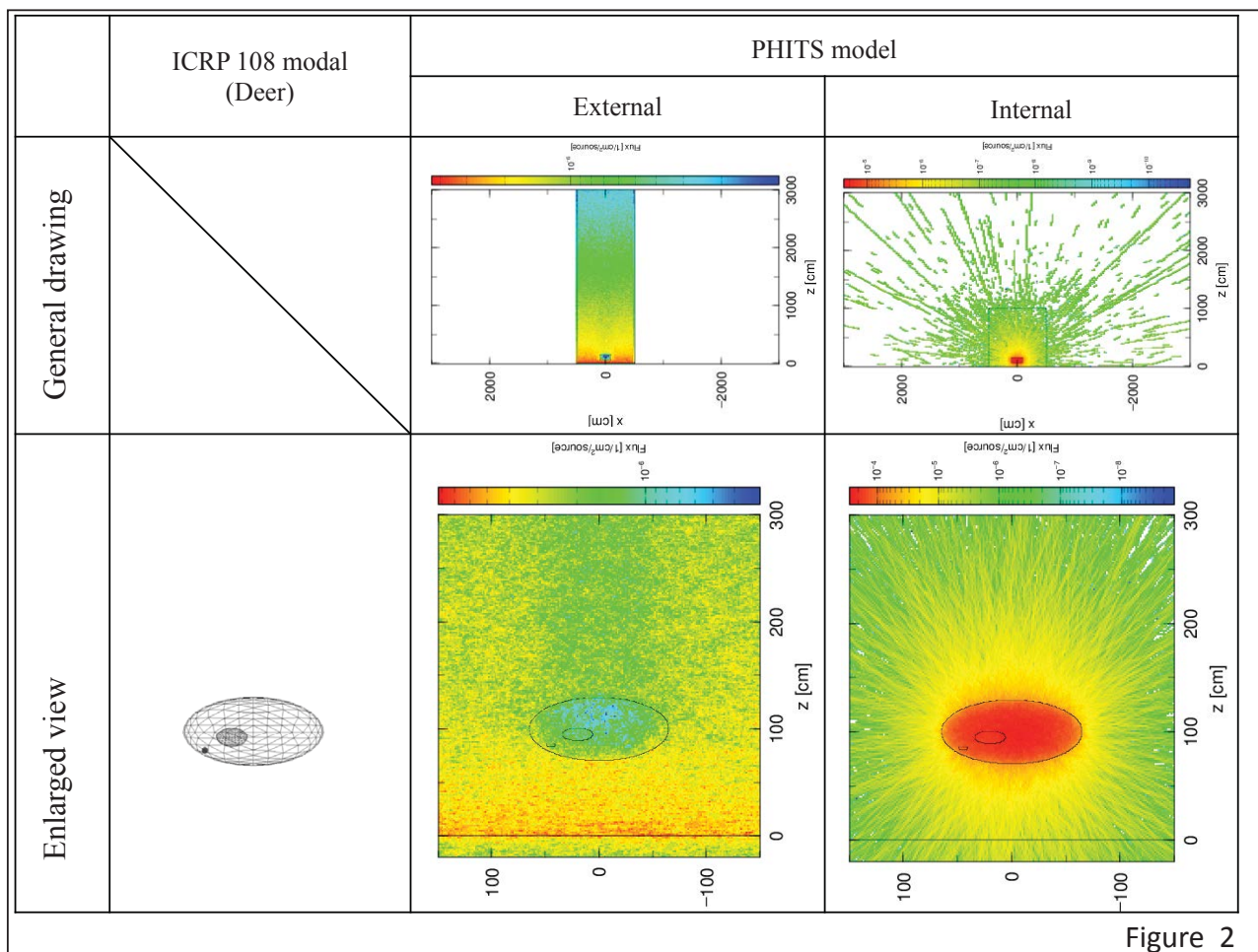
背景

- 生物影響を議論する際に線量評価を行うが、旧警戒区機器で採材されたウシは、初期被ばくの線量再構築が可能な稀有な例である。
- 福島原発事故による被ばくの初期と長期
内部と外部
を比較したい。



方法

- モンテカルロ計算 (PHITS) を使って放射性物質量を被ばく線量に換算する
- 地理情報システム (GIS) を使って、モニタリングデータを統合し、短半減期核種も含めた放射性物質の分布を得る



参照動物の換算係数の比 (PHITS/ICRP)

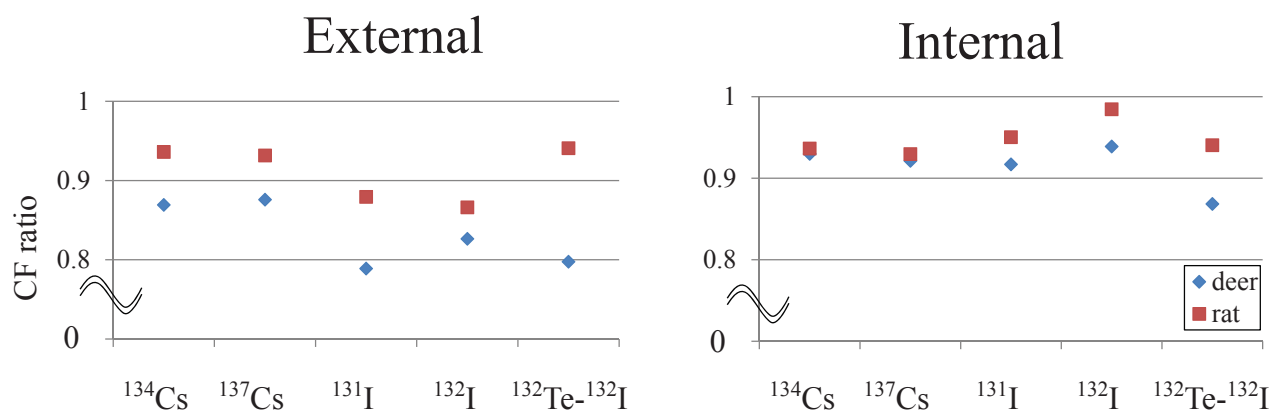


Figure 2

		Deer			Rat		
Convention Factor		PHITS ^a	ICRP108	PHITS/ ICRP108	PHITS	ICRP108	PHITS/ ICRP108
External [(μGy/day) per (Bq/m ²)]	¹³⁴ Cs	5.20*10 ⁻⁵	6.1*10 ⁻⁵	0.85	1.12*10 ⁻⁴	1.2*10 ⁻⁴	0.94
	¹³⁷ Cs	1.93*10 ⁻⁵	2.2*10 ⁻⁵	0.88	4.19*10 ⁻⁵	4.5*10 ⁻⁵	0.93
	¹³¹ I	1.18*10 ⁻⁵	1.5*10 ⁻⁵	0.79	2.73*10 ⁻⁵	3.1*10 ⁻⁵	0.88
	¹³² I	7.35*10 ⁻⁵	8.9*10 ⁻⁵	0.83	1.56*10 ⁻⁴	1.8*10 ⁻⁴	0.87
	¹³² Te- ¹³² I	7.97*10 ⁻⁵	1.0*10 ⁻⁴	0.80	1.69*10 ⁻⁴	1.8*10 ⁻⁴	0.94
Internal [(μGy/day) per (Bq/kg)]	¹³⁴ Cs	1.37*10 ⁻²	1.5*10 ⁻²	0.91	3.84*10 ⁻³	4.1*10 ⁻³	0.94
	¹³⁷ Cs	7.55*10 ⁻³	8.2*10 ⁻³	0.92	3.81*10 ⁻³	4.1*10 ⁻³	0.93
	¹³¹ I	5.50*10 ⁻³	6.0*10 ⁻³	0.92	2.95*10 ⁻³	3.1*10 ⁻³	0.95
	¹³² I	2.35*10 ⁻²	2.5*10 ⁻²	0.94	9.25*10 ⁻³	9.4*10 ⁻³	0.98
	¹³² Te- ¹³² I	2.61*10 ⁻²	3.0*10 ⁻²	0.87	1.03*10 ⁻²	1.1*10 ⁻²	0.94
^a PHITS:							

Table 0

TABLE 1
Conversion Factors of Fetus Phantoms

		Fetus in mother	Fetus outside	ratio
External [(μGy/day) per (Bq/m ²)]	¹³⁴ Cs γ	4.26*10 ⁻⁵	9.04*10 ⁻⁵	0.472
	¹³⁷ Cs γ	1.58*10 ⁻⁵	3.16*10 ⁻⁵	0.501
Internal [(μGy/day) per (Bq/kg)]	¹³⁴ Cs γ	1.28*10 ⁻²	5.78*10 ⁻³	2.22
	¹³⁷ Cs γ	4.94*10 ⁻³	2.17*10 ⁻³	2.28
	¹³⁴ Cs β	2.05*10 ⁻³	2.06*10 ⁻³	1.003
	¹³⁷ Cs β	3.18*10 ⁻³	3.18*10 ⁻³	1.002
	¹³⁴ Cs β+γ	14.9*10 ⁻³	7.84*10 ⁻³	1.89
	¹³⁴ Cs β+γ	8.12*10 ⁻³	5.35*10 ⁻³	1.52

Table 1

TABLE 2
Conversion Factors of Cattle

	Adult	Infant	Fetus
External dose CFs γ [(μ Gy/d) per (Bq/m ²)]			
¹³⁴ Cs	5.45*10 ⁻⁵	7.00*10 ⁻⁵	4.26*10 ⁻⁵
¹³⁷ Cs	2.05*10 ⁻⁵	2.58*10 ⁻⁵	1.58*10 ⁻⁵
¹³¹ I	1.30*10 ⁻⁵	1.65*10 ⁻⁵	9.21*10 ⁻⁶
¹³² Te- ¹³² I	8.34*10 ⁻⁵	1.09*10 ⁻⁴	6.42*10 ⁻⁵
Internal dose CFs $\beta + \gamma$ [(μ Gy/d) per (Bq/kg)]			
¹³⁴ Cs	1.38*10 ⁻²	1.15*10 ⁻²	1.49*10 ⁻²
¹³⁷ Cs	7.62*10 ⁻³	6.74*10 ⁻³	8.12*10 ⁻³
¹³² Te- ¹³² I (body from kidney)	6.67*10 ⁻⁵	6.33*10 ⁻⁵	-
¹³² Te- ¹³² I (kidney from the other one)	1.17*10 ⁻⁴	1.57*10 ⁻⁴	-
¹³² Te- ¹³² I (kidney)	1.23*10 ⁻²	1.10*10 ⁻²	-

Table 2

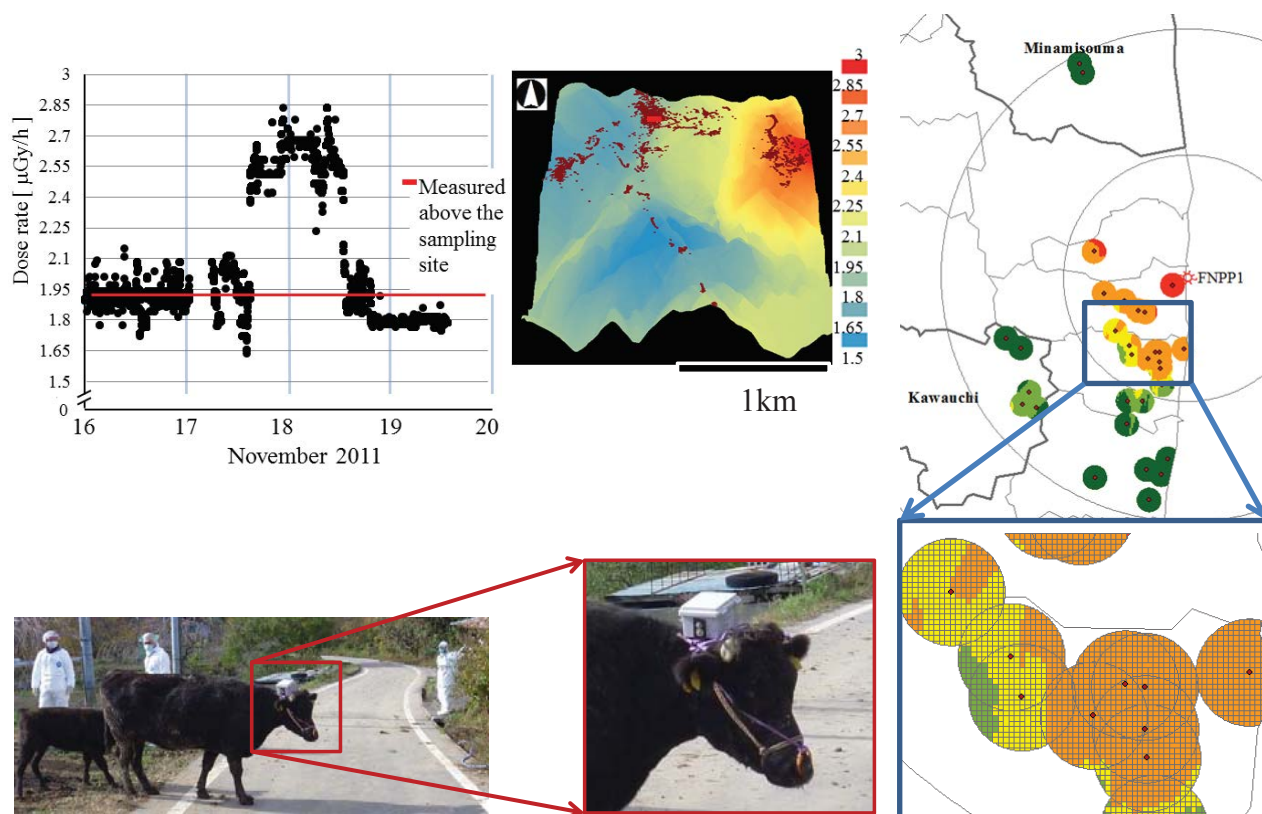


Figure 3

TABLE 3
Deposition Density of Major Nuclides in Cattle Behavioral Area

	$^{134}\text{Cs}, ^{137}\text{Cs}$ [Bq/m ²]			^{131}I [Bq/m ²]			$^{129\text{m}}\text{Te}$ [Bq/m ²]			Ratio	
	min	max	ave	min	max	ave	min	max	ave	$^{131}\text{I}/^{137}\text{Cs}$	$^{129\text{m}}\text{Te}/^{137}\text{Cs}$
Minamisouma	2.28*10 ⁵	4.23*10 ⁵	3.02*10 ⁵	9.87*10 ⁵	2.37*10 ⁶	1.59*10 ⁶	2.34*10 ⁵	5.13*10 ⁵	3.37*10 ⁵	5.3	1.1
Futaba	1.19*10 ⁶	5.33*10 ⁶	2.84*10 ⁶	9.43*10 ⁶	2.09*10 ⁷	1.49*10 ⁷	1.34*10 ⁶	1.80*10 ⁶	1.50*10 ⁶	5.2	0.53
Ookuma	1.05*10 ⁶	4.49*10 ⁶	2.16*10 ⁶	1.28*10 ⁷	3.75*10 ⁷	2.37*10 ⁷	1.01*10 ⁶	2.75*10 ⁶	1.82*10 ⁶	11	0.84
Tomioka	2.48*10 ⁵	3.71*10 ⁶	1.35*10 ⁶	6.90*10 ⁶	2.72*10 ⁷	1.31*10 ⁷	5.00*10 ⁵	1.92*10 ⁶	1.12*10 ⁶	9.7	0.83
Kawauchi	1.93*10 ⁵	8.97*10 ⁵	3.72*10 ⁵	1.63*10 ⁶	3.67*10 ⁶	2.45*10 ⁶	1.49*10 ⁵	3.87*10 ⁵	2.63*10 ⁵	6.6	0.71
Naraha	1.06*10 ⁵	7.32*10 ⁵	2.75*10 ⁵	3.19*10 ⁶	9.64*10 ⁶	5.15*10 ⁶	1.99*10 ⁵	5.20*10 ⁵	3.35*10 ⁵	19	1.2
Total	1.06*10 ⁵	5.33*10 ⁶	1.22*10 ⁶	9.87*10 ⁵	3.75*10 ⁷	1.01*10 ⁷	1.49*10 ⁵	2.75*10 ⁶	8.96*10 ⁵	9.4	0.87

Table 3

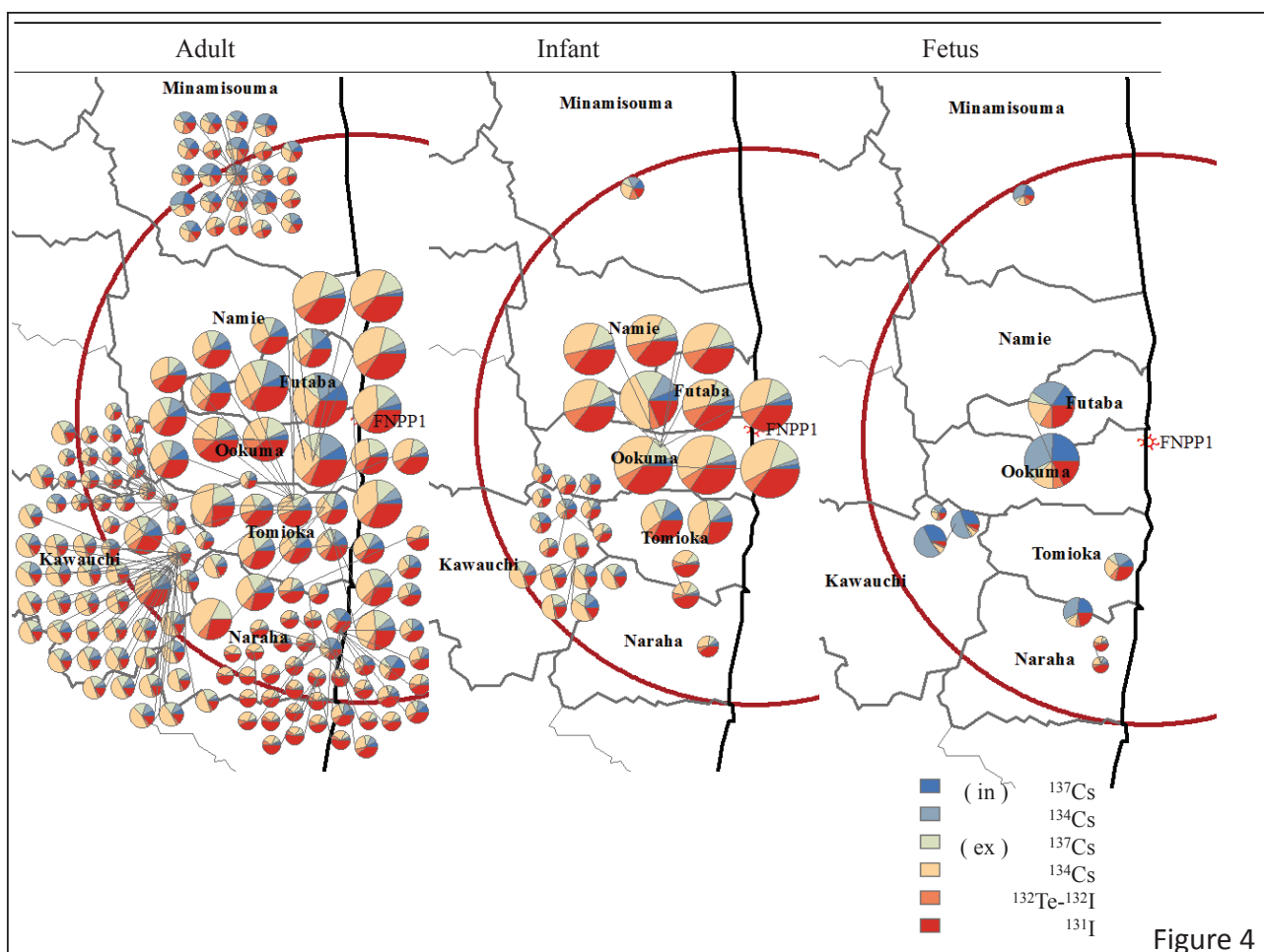


Figure 4

結果

- 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
- 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

まとめ

- 初期の試料は、事故の全体を知るうえで重要
- 環境調査やシミュレーションを検証する上でも、アーカイブのプロジェクトは大きな意味を持つ。
- 数年間生きる哺乳動物の生物影響を議論する場合、初期の内部被ばくを考慮に入れる必要がある。

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)

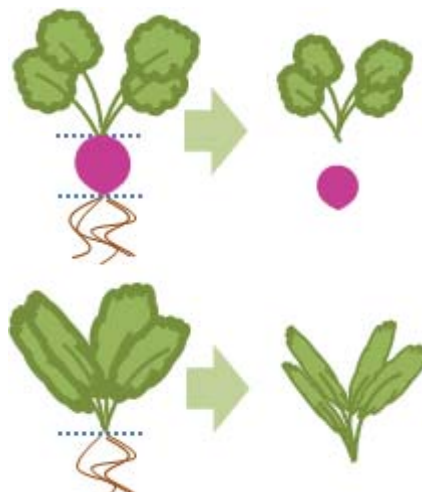


図1 試料採取方法

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壤中の ^{129m}Te と ^{137}Cs の土壤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、評価において土壤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壤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。土壤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壤の種類や 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

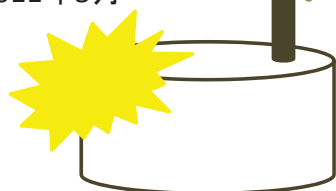
テルルとセシウムの土壌から植物への移行係数と 移行係数が内部被ばく線量評価に及ぼす影響

京都大学原子炉実験所

藤原 慶子

1. 背景

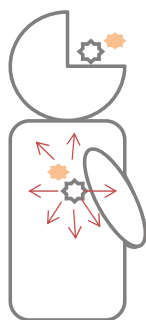
2011年3月



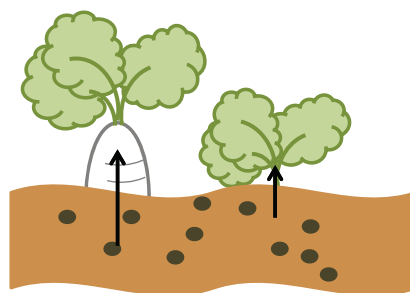
東京電力福島第一原子力発電所

^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{131}I , $^{127\text{m}}\text{Te}$, $^{129\text{m}}\text{Te}$, etc...

などの放射性核種が環境中に大量に放出された



汚染された農作物を摂取し、
内部被ばくを受けた可能性がある



放射性核種が農地に降り注ぎ、
農作物に吸収された可能性がある

事故後、政府や国際機関による
一般公衆の内部被ばく線量評価

- ・環境省
- ・厚生労働省
- ・世界保健機関(WHO)
- ・国連科学委員(UNSCEAR)

など



評価対象は主要核種である

^{131}I 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs

様々な放射性核種が放出され、
放射性テルルも大量に放出されたが、
環境動態における知見が少なく、短寿命核種であるため
今回の事故においても放射性テルルの
被ばく線量評価がほとんど行われていない



「放出された量」と「半減期」から、事故初期(1年程度)における
内部被ばくには、放射性テルルが寄与した可能性があり、
放射性テルルについて内部被ばく線量評価を行う必要がある

内部被ばく線量評価

放射性核種を体内に摂取することによって受ける放射線量の積算値



預託実効線量

(積算期間: 成人に対して50年、子供に対して摂取時から70歳までが一般的)

預託実効線量 = (摂取した放射エネルギー) × (預託実効線量換算係数)

(農作物中の放射能濃度) × (摂取量)

(土壌中の放射能濃度) × (移行係数)

大変重要なパラメータ!

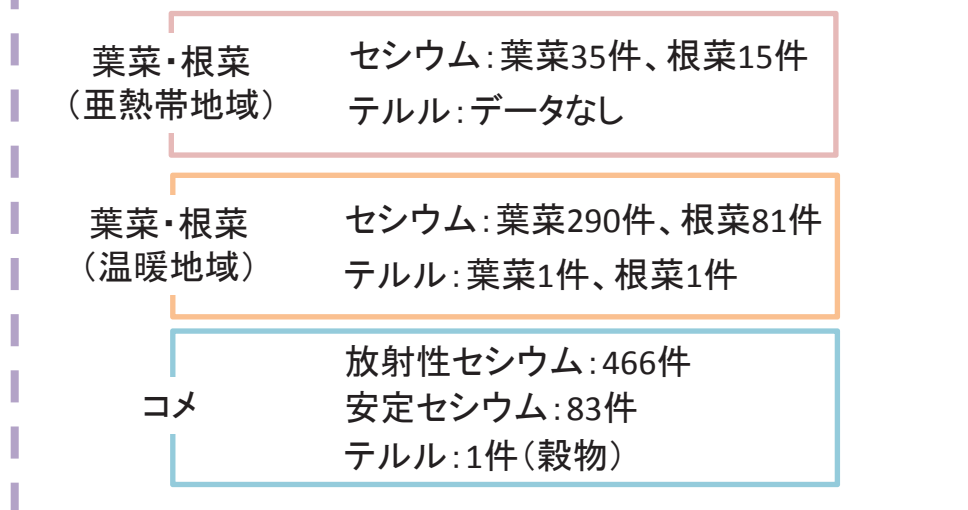
国際放射線防護委員会(ICRP)のPublication 72 (Publ.72)
の勧告値を用いる

移行係数

移行係数＝植物中の放射性核種の濃度
/ 土壌中の放射性核種の濃度

国際原子力機関 (IAEA)

Technical Report Series 472 (TRS 472)



テルルの環境動態に関する知見が不足している

食品由来の内部被ばくを規制する基準値

現行の放射性セシウムの基準値 [Bq/kg]

食品群	一般食品	乳児用食品	牛乳	飲料水
規制値	100	50	50	10

食品からの
被ばく線量の上限
1 mSv/year

放射性ストロンチウム、プルトニウム等を含めて基準値を設定

セシウム134
セシウム137
ストロンチウム90
プルトニウム
ルテニウム106
が規制の対象となっている

この基準値は、2012年4月以降の長期的な状況に対応するものであるため、福島第一原発事故により放出された放射性核種のうち、原子力安全・保安院がその放出量の試算値リストに掲載した核種で、**半減期1年以上の放射性核種を対象**としている。

テルルの放射性同位体には、
半減期が1年未満の核種しかなく
基準値に考慮されていない

本研究の目的①

テルルの環境中の挙動におけるデータが
不足している



様々な土壌について、
多数のデータが存在するセシウムとともに

土壌から植物へのテルルの移行係数を求め
土質との関係性を検討する

本研究の目的②

事故後、放射性ヨウ素や放射性セシウムにつ
いて内部被ばく線量評価が行われているが、
放射性テルルについての内部被ばく線量評価
が行われていない

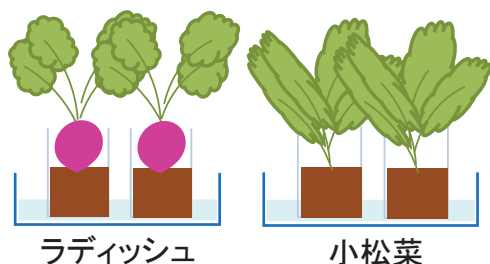


葉菜、根菜摂取時の
放射性テルルによる預託実効線量を
放射性セシウムに対して
どの程度であるかを評価する

①と②を行うことにより、
事故初期における放射性テルルの
内部被ばく線量評価が可能となる!

2. 土壌栽培におけるテルルとセシウムの移行係数

栽培植物と方法



栽培の様子

栽培条件
暗8時間・明16時間
22℃
相対湿度60%

使用した土壌と土壌の調製

様々な土質の土壌での移行を研究するために4種類の土壌を選定

使用した土壌

- Soil-1:** 市販の培養土
- Soil-2:** 原子炉実験所敷地内畑 **事故前**
- Soil-3:** 福島県田村市葉タバコ畑の土壌
- Soil-4:** 福島県二本松市きゅうり畑の土壌

安定テルル、安定セシウムが
1mg/dry-soil-kg
となるように混合した土壌を
混合後1週間と4週間寝かせてから使用

土壌の分析

分析項目

pH(H₂O)

交換性塩基(Ex. K, Na, Ca, Mg)

活性アルミニウム(Al_o)、活性鉄(Fe_o)、活性ケイ素(Si_o)

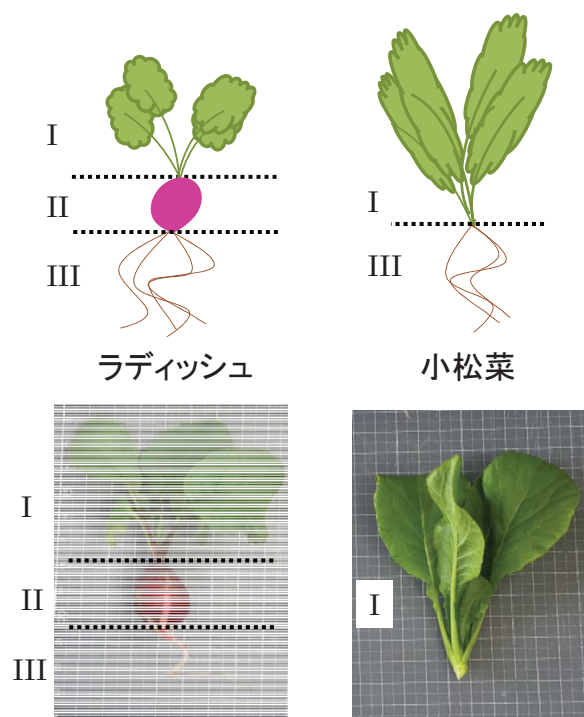
全炭素(T-C)、全窒素(T-N)

4種の土壌に
左記分析項目を
実施

土壌分析結果

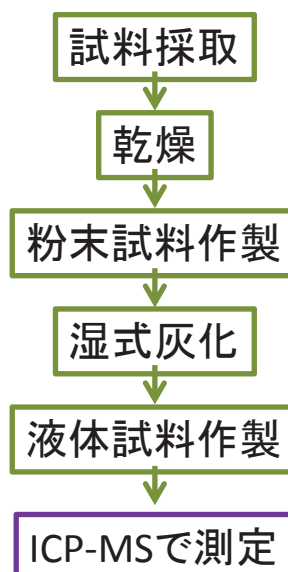
Soil	pH(H ₂ O)	Ex.K	Ex.Na	Ex.Ca	Ex.Mg	Al _o	Fe _o	Si _o	T-C	T-N
		cmolc/kg							%	
1	5.4	9.39	1.63	24.82	19.91	17.08	1.92	11.07	14.12	0.56
2	7.6	0.99	0.19	24.94	2.51	0.69	1.52	0.31	2.72	0.27
3	5.7	0.81	0.11	14.03	4.84	2.56	2.87	0.20	1.32	0.10
4	6.4	1.75	0.04	2.55	0.43	34.13	11.45	14.73	3.88	0.36

植物試料の調製



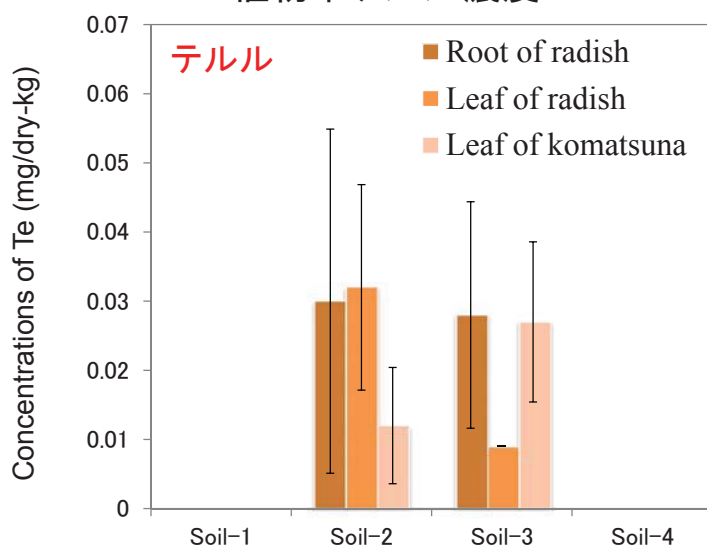
試料採取の様子

I : 「葉」の試料
II : 「根」の試料 とした



植物への移行についての結果

植物中テルル濃度

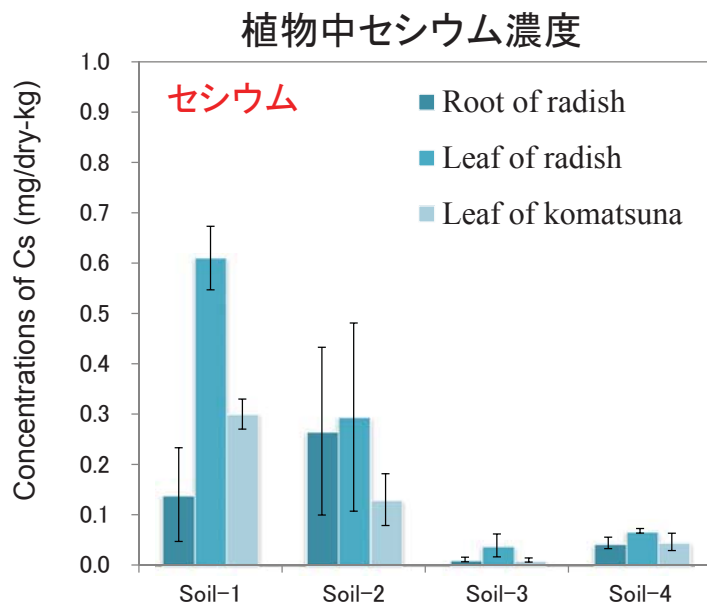


(混合4週間後の土壌を使用して栽培した結果)

・ Al_0 や Fe_0 を多く含む土壌で栽培した植物からは検出されなかった(Soil-1,4)

・Kを多く含む土壌で栽培した植物からは検出されなかった(Soil-1,4)

テルルの植物への移行は、土壌中の Al_0 や Fe_0 、交換性塩基の量により変化する可能性がある



(混合4週間後の土壌を使用して栽培した結果)

・すべての土壌で栽培された植物から検出された

・砂質で有機物の多い土壌で栽培した植物のセシウム濃度が高かった(**Soil-2**)

・交換性塩基を多く含む土壌で栽培した植物では、検出されたが、交換性塩基とセシウムが植物への移行に競合し、水溶性セシウムから植物への移行割合は小さかった(**Soil-1,4**)



セシウムの植物への移行は、土壌中の交換性塩基の量や土質により変化する可能性がある

土壌栽培実験における考察

テルルの土壌から植物への移行に関する考察

本研究における結果

- ・ Al_0 や Fe_0 を多く含む土壌では、植物への移行が確認できなかった
- ・交換性塩基によって植物への移行が阻害された可能性が示唆された

先行研究での知見

実験による研究がされておらず知見なし

セシウムの土壌から植物への移行に関する考察

本研究における結果

- ・砂質で有機物の多い土壌で栽培した植物のセシウム濃度が高かった
- ・交換性塩基を多く含む土壌で栽培した場合、水に抽出され得るセシウムが植物へ移行した割合は低かった



一致

先行研究での知見

- ・セシウムの移行係数は砂質、有機土壌で高い
- ・交換性塩基が陽イオンの植物への移行を阻害する

まとめ

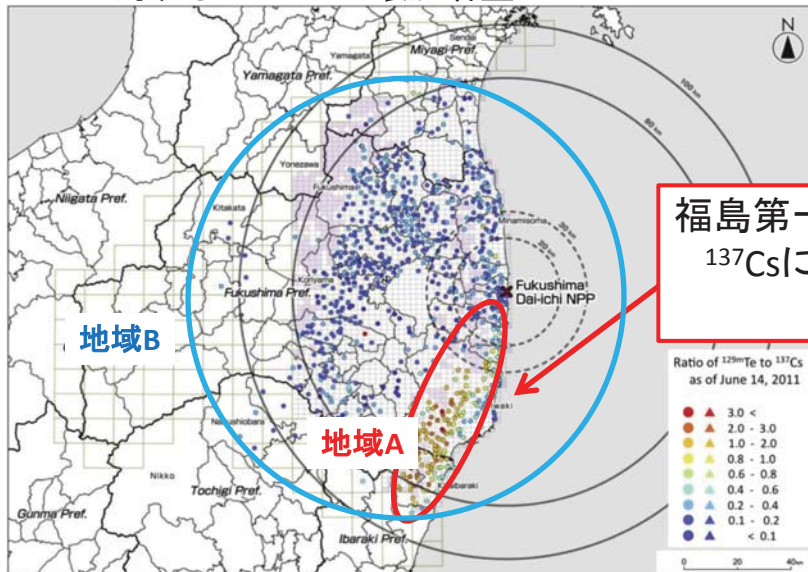
移行係数は土壌の性質により大きな差が見られ
今後、栽培する植物種、栽培条件等により
大きく変動することが考えられる



様々な条件で移行係数を求め、
移行係数に関連する要因を明らかにする必要がある

3. 預託実効線量評価

^{137}Cs に対する ^{129}mTe の土壌沈着量比



These data were measured and presented by Saito et al.

^{129}mTe は、事故で放出されたテルルの放射性同位体 (^{127}mTe , ^{129}mTe , ^{131}mTe , ^{132}Te) の中でも測定を行いやすい ^{129}mTe だけが測定された

福島第一原発から南方向の地域で ^{137}Cs に対する ^{129}mTe の沈着量の比率が高い

地域によって放射性核種の沈着量比が異なるため、南方向を**地域A**、測定地域全体を**地域B**と設定し被ばく線量の評価を行った

Saitoらの研究結果より
沈着量の比率(平均値)
(2011/6/14)

地域A,B

$^{134}\text{Cs} : ^{137}\text{Cs} = 0.91 : 1$

地域A

$^{129}\text{mTe} : ^{137}\text{Cs} = 1.49 : 1$

地域B

$^{129}\text{mTe} : ^{137}\text{Cs} = 0.71 : 1$

原子力安全・保安院
の報告などにより

放出量の比率
(2011/3/11)

$^{127}\text{mTe} : ^{129}\text{mTe}$

1 : 3

テルルの同位体の半減期から、 ^{127}mTe も重要！

半減期

^{127}mTe : 109d

^{129}mTe : 33.6d

^{131}mTe : 30h

^{132}Te : 78.2h

沈着量比と放出量の比を用い、農作物の採取時期における放射性核種の存在比の減衰補正を行う

土壌中濃度を求める

・沈着量比(存在比)

・移行係数

(TRS 472, 土壌実験)

・預託実効線量換算係数

これらの値を使用し、

葉菜や根菜摂取時の放射性セシウム($^{134+137}\text{Cs}$)に対する
放射性テルル($^{127\text{m}+129\text{m}}\text{Te}$)の預託実効線量比を求める

移行係数の差異による預託実効線量の違いを確認

単回摂取: 摂取日 = 収穫日(収穫開始日)

継続摂取: 収穫開始日から1年間摂取

収穫開始日: 葉菜→2011/4/30

根菜→2011/10/30

実際収穫した農作物→実際の収穫日

これらのデータ及び条件を用い

預託実効線量比 と 預託実効線量を求めた
(セシウムに対する比) (線量)

葉菜・根菜における預託実効線量

実際に収穫された葉菜及び根菜の ^{134}Cs と ^{137}Cs 濃度

地域	農作物	濃度 (Bq/kg)		収穫日
		^{134}Cs	^{137}Cs	
A	ホウレンソウ	60	59	2011/5/4
	カブ	38	39	2011/5/14
B	ホウレンソウ2	1100	1100	2011/4/13
	カブ2	220	200	2011/3/30

ホウレンソウとカブは南方向で収穫され、
 ^{137}Cs の濃度が検出された中で平均的な値を示したホウレンソウとカブ
 ホウレンソウ2とカブ2は福島県全域で収穫され、
 ^{137}Cs の濃度が検出された中で平均的な値を示したホウレンソウとカブ

ホウレンソウ2:

事故後の食品における暫定規制値は500Bq/kgであり、
 この濃度を超える農作物は市場に出回っていないが、事故後の流通を
 考えると自作の農作物を摂取している可能性があるため、高濃度であるが
 この値で計算を行った。

1日に摂取する葉菜、根菜の重量(国民栄養・健康調査)

	1日に摂取する葉菜、根菜の重量(g)					
	3か月乳児	1歳児	5歳児	10歳児	15歳児	成人
根菜*1	—	31.0	31.0	45.4	45.0	54.1
葉菜*2	—	27.7	27.7	50.6	55.1	61.1

*1 根菜は、ニンジンと大根

*2 葉菜は、ホウレンソウ、キャベツ、白菜

預託実効線量評価のまとめと考察

用いる移行係数の違いにより

放射性テルルによる預託実効線量について

ハウレンソウで40倍程度

カブで100倍程度

放射性セシウムと放射性テルルによる

預託実効線量について

ハウレンソウで1.1- 8.3倍

カブで1.4-17.4倍

の差が生じる

5. まとめ

- ・セシウムの移行係数は、これまで多くの研究が積み重ねられIAEAのTRS 472にある程度集約されているが、テルルの移行係数について、より一層データを充実させる
- ・移行係数に対する考察を深める
- ・適切な移行係数を選択し預託実効線量进行评估する



精度良く内部被ばく線量評価を行うことが可能



内部被ばく線量評価における不確かさを低減することにより
被害を受けた方々の放射線被ばくに対する不安が少しでも
解消されることを期待する

御静聴ありがとうございました

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。

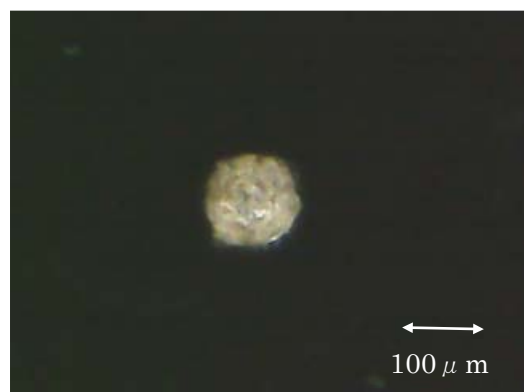


図1 Csホットパーティクルの顕微鏡写真

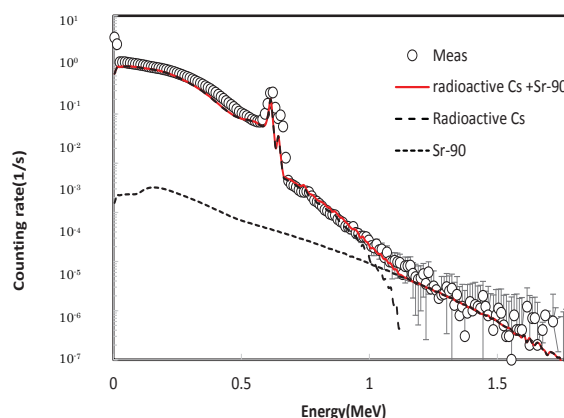


図2 β線スペクトルを放射性Csと⁹⁰Srの応答でフィットした例

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

広島大院工 遠藤 暁、杉尾健次郎、
梶本 剛、田中憲一
広島大工 中村駿介

Csホットパーティクルとは？

SCIENTIFIC
REPORTS

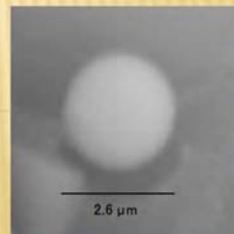
Emission of spherical cesium-bearing particles from an early stage of the Fukushima nuclear accident

Kouji Adachi, Mizuo Kajino, Yuji Zaizen & Yasuhito Igarashi

SEM image of particle 1



Detected elements by EDS:
O, Na, Si, Cl, Fe, Mn, Zn, Cs



Adachi et al., Sci. Rep., 2013; doi: 10.1038/srep02554

経緯

- 2016年2月23日、筑波大学Cs-ballの研究班のミーティングに参加
- 土壌のイメージングプレート分析を行うと、ホットスポットとして確認でき、粒を抽出してみると1粒で数k-数10Bqの放射能を持っている
- 土壌に沈着しているCs-ball（ホットパーティクル（HP））が確認されている

Cs-HP

- 放射性Csを含んだ不溶性の粒子
- 土壌に沈着したCs-HPは不溶性のためほとんど動かない
- 小さな粒子は、強風や除染作業で再浮遊する可能性がある
- 呼吸などで吸入してしまう可能性がある

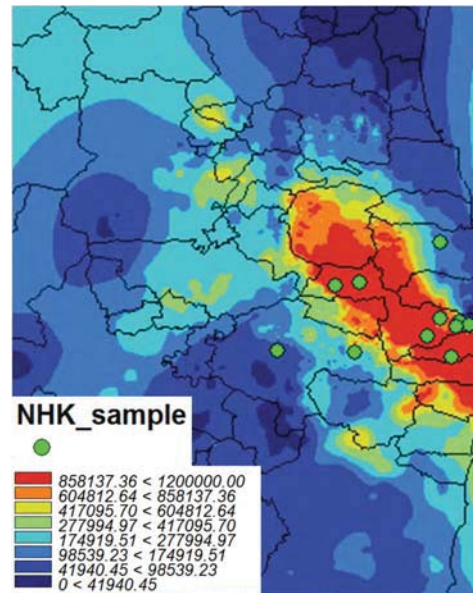
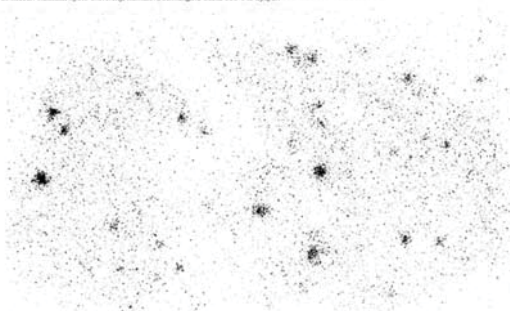
- 2013年 NHK七沢氏から測定依頼
- 土壌試料は高濃度汚染地域で採取
- イメージングプレート でホットスポットが確認できる



Measurement of soil contamination by radionuclides due to the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident and associated estimated cumulative external dose estimation

S. Endo^{a,*}, S. Kimura^b, T. Takatsuji^c, K. Nanasawa^d, T. Imanaka^e, K. Shizuma^f

^aGraduate School of Engineering, Hiroshima University, 1-4-1 Kagamiyama, Higashi-Hiroshima 739-8527, Japan
^bMedical School, Dokkyo Medical University, 880 Kitakobayashi, Mito-machi, Shimizu-gun, Tochigi 321-0293, Japan
^cGraduate School of Fisheries, Science and Environmental Studies, Nagasaki University, 1-14, Bunkyo-machi, Nagasaki 852-8521, Japan
^dThe NHK Broadcasting Culture Research Institute, Ageo-Mori Tower 10F, 2-5-1, Ageo, Maitsu-ku, Tokyo 305-4206, Japan
^eResearch Reactor Institute, Kyoto University, Kamatori, Saemang, Osaka 590-0494, Japan



- Cs-HPの汚染濃度はどの程度か？
- Cs-HPに含まれる放射能は？

2013年NHK土壌採取場所

- ・ 土壌汚染濃度の測定の詳細は省略
- ・ 試料採取場所と測定結果のみ紹介

ID	採取場所	GPS		2011年	2013年 空間線量率
S-1	南相馬市	37.6452747	140.953478	140-300	
S-2	浪江駅前	37.4925864	140.99019	-	
S-3	浪江町末永宅前	37.4885297	141.007861	-	
S-4	浪江町岩倉宅前	37.4858081	140.98453	-	
S-5	浪江町赤字木集会所	37.5670714	140.801308	2210*-3030	
S-6	浪江町津島支社	37.5607131	140.753175	510	
S-7	浪江町小丸	37.4656714	140.930053	-	30 μ Sv/h
S-10	双葉町山田玉澤宅前	37.42681	140.974575	10100	25 μ Sv/h
S-11	田村市都路中学校	37.43677	140.792426	81.9	
S-12	田村市常葉中学校	37.4399731	140.644078	30.3	
S-13	浪江町田代宅前	37.49948	140.95317	-	

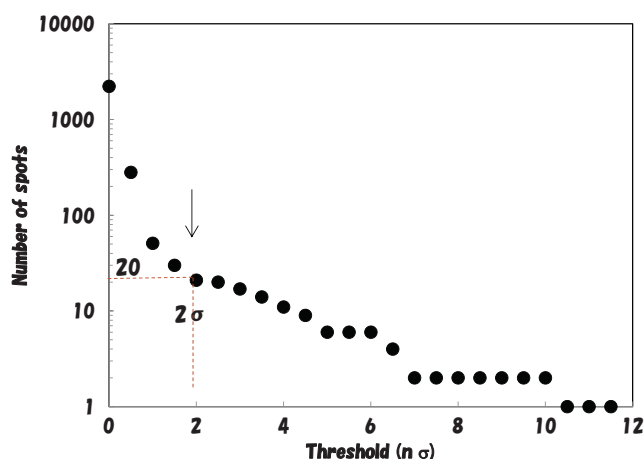
土壌汚染濃度測定結果

ID	Sampling point	¹³⁷ Cs inventory (kBq/m ²)	
		2013/June	2011
S-1	南相馬市	148	89(3月)、 140-300(11月)
S-2	浪江駅前	32	-
S-3	浪江町末永宅前	131	-
S-4	浪江町岩倉宅前	3260	-
S-5	浪江町赤字木集会所	3020	2210-3030
S-6	浪江町津島支社	1640	510
S-7	浪江町小丸	16800	-
S-10	双葉町山田玉澤宅前	10972	10100(双葉町山田)
S-11	田村市都路中学校	53	81.9
S-12	田村市常葉中学校	36	30.3
S-13	浪江町田代宅前	6504	-

* 双葉町山田の値を示す

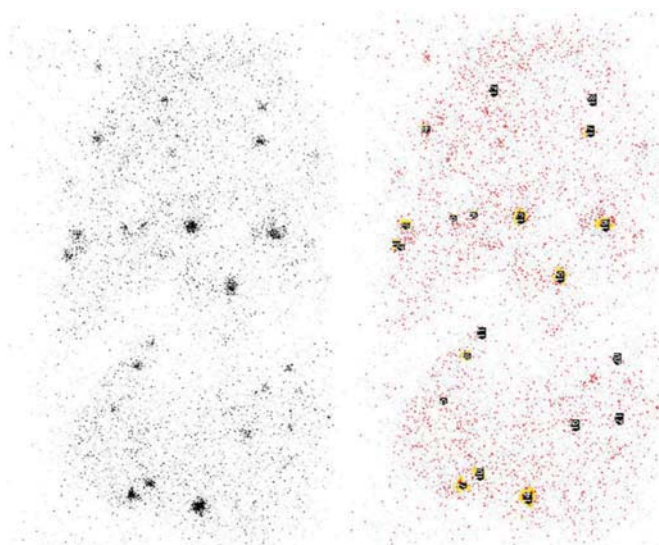
Csホットパーティクルの(HP)測定

- イメージングプレート
- 土壌を薄く広げイメージングプレートで数分露光
- Spot数の計測を10回繰り返した
- ホットパーティクルのない領域の平均インテンシティ+ 2σ で同定



IP同定したCs-HP個数(S-4)

- Spotの同定例（試料4：浪江町岩倉宅前）



回数	Number of spots
1	20
2	31
3	26
4	19
5	26
6	26
7	23
8	29
9	26
10	24
Average	25
STD	3.5

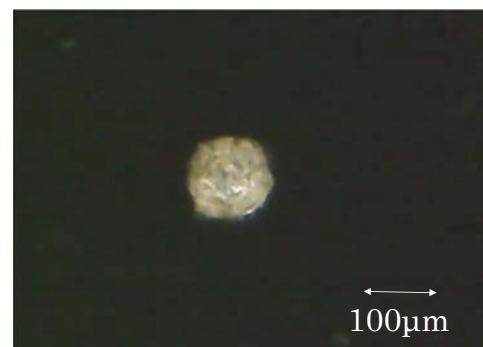
結果

□ ホットパーティクル密度

ID	採取場所	個数	Cs-ball (1/m ²)
S-1	Minamisoma City	-	-
S-2	Namie Station	-	-
S-3	Namie Suenaga house	-	-
S-4	Namie Iwakura house	21	3868
S-5	Namie Akogi	8	1105
S-6	Namie Tsushima	1	138
S-7	Namie Komaru	19	2625
S-10	Futaba Yamada	6	829
S-11	Tamura Miyakoji JHS	-	-
S-12	Tamura Tokoha JHS	-	-
S-13	Namie Tashiro house	11	1520

Csホットパーティクル(HP)の抽出

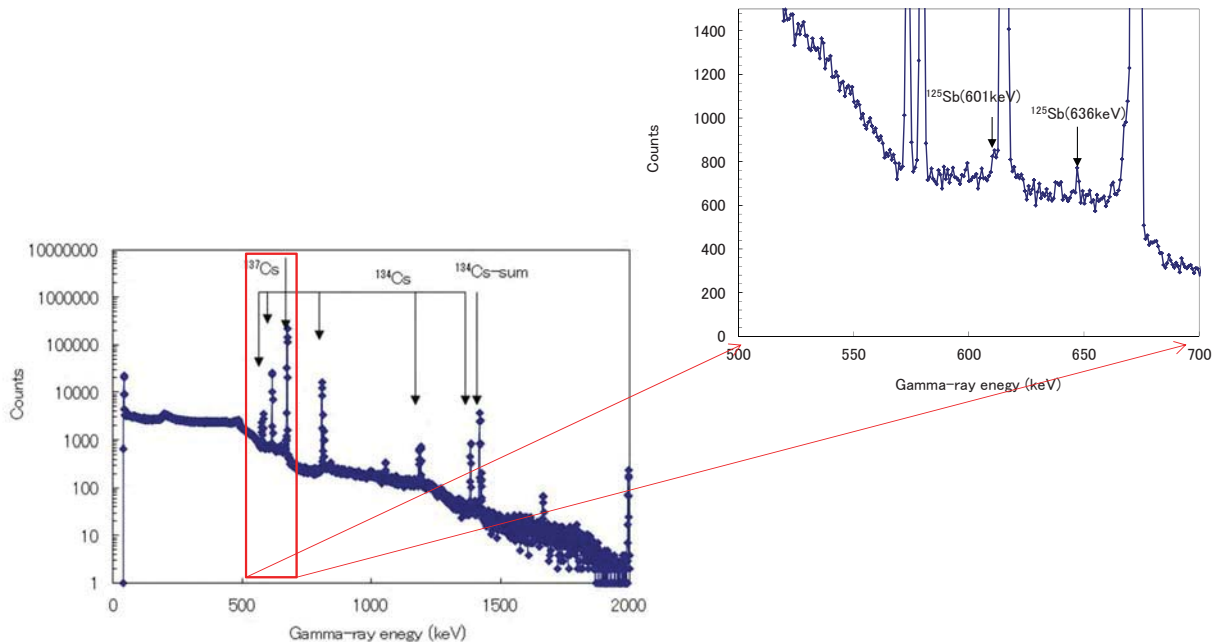
- イメージングプレートとGMサーベイ領域を特定
- コリメータとマイクロスコプ、GMサーベイで、粒を同定、抽出
- 同定した粒：Ge検出器、Si検出器測定、SEM分析を実施



Cs-HPの顕微鏡写真

Ge検出器による測定

□ ^{134}Cs , ^{137}Cs を確認 + ^{125}Sb



Ge測定結果

- Ge検出器 : ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{125}Sb 検出
- ^{125}Sb は統計誤差大

	Radioactivity (Bq/particle)		
^{134}Cs	15.9	±	0.1
^{137}Cs	71.1	±	0.1
^{125}Sb	0.4	±	0.33

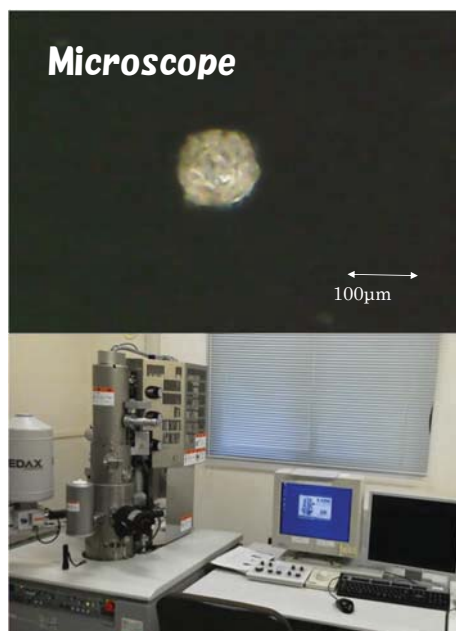
土壤汚染濃度へのCs-HPの寄与

		^{137}Cs inventory (kBq/m ²)	averaged Cs- HP activity (Bq)	Cs-HP (kBq/m ²)	Cs-HP (1/m ²)
S-1	南相馬市	148	-	-	-
S-2	浪江駅前	32	-	-	-
S-3	浪江町末永宅前	131	-	-	-
S-4	浪江町岩倉宅前	3260	33	77	3868
S-5	浪江町赤宇木集会所	3020	78	86	1105
S-6	浪江町津島支社	1640	108	15	138
S-7	浪江町小丸	16800	56	146	2625
S-10	双葉町山田玉澤宅前	10972	54	45	829
S-11	田村市都路中学校	53	-	-	-
S-12	田村市常葉中学校	36	-	-	-
S-13	浪江町田代宅前	6504	61	92	1520

・ 土壤汚染濃度の1/20－1/200程度

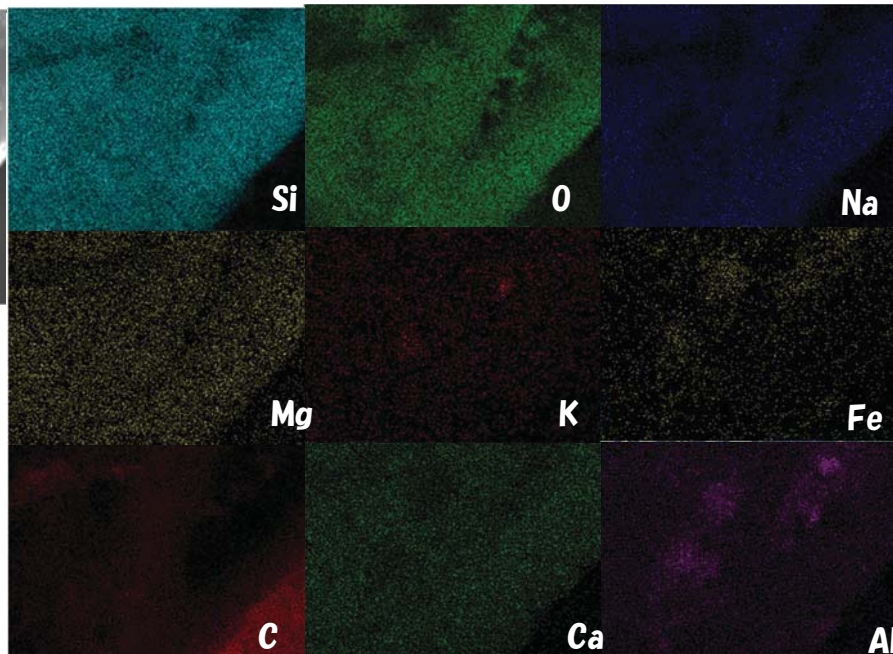
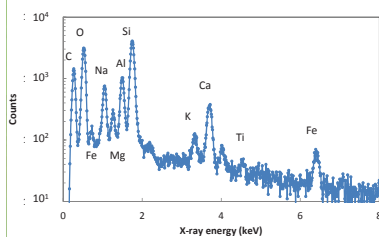
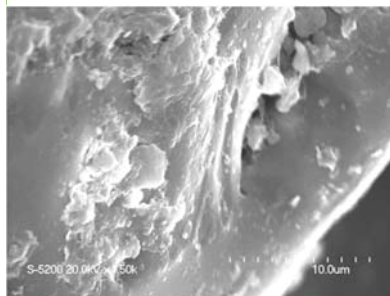
電顕写真

□ S-4（浪江町） 試料



元素分析(EDS)

□ 主成分：Si、O（元素の分布はあまりない）



Si検出器による測定

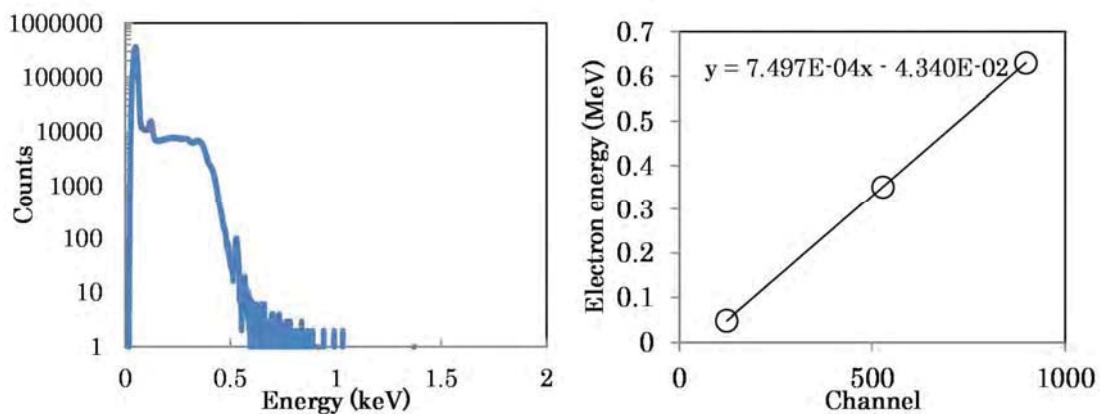
□ Si検出器（空乏層厚： $\sim 400\mu m$ ）

□ 遮蔽体内で、1000000s測定



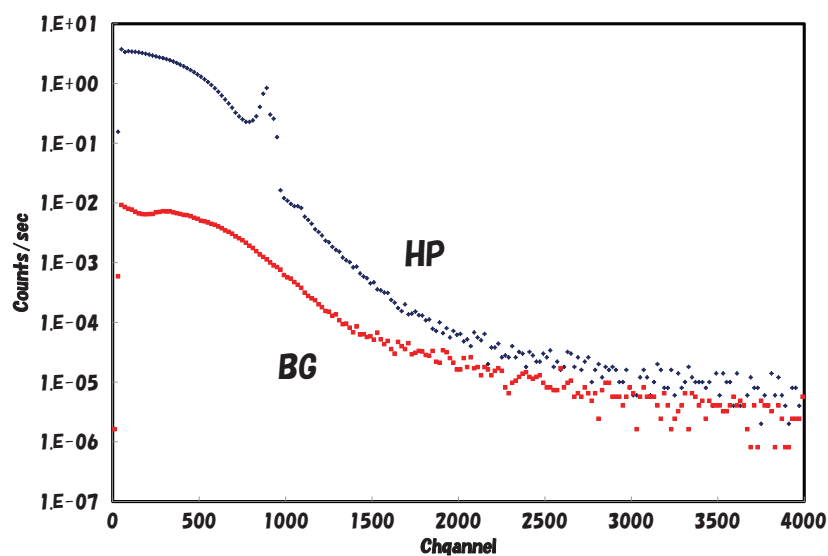
Si検出器のエネルギー校正

- ^{133}Ba 、 ^{137}Cs 線源から内部転換電子を用いて校正



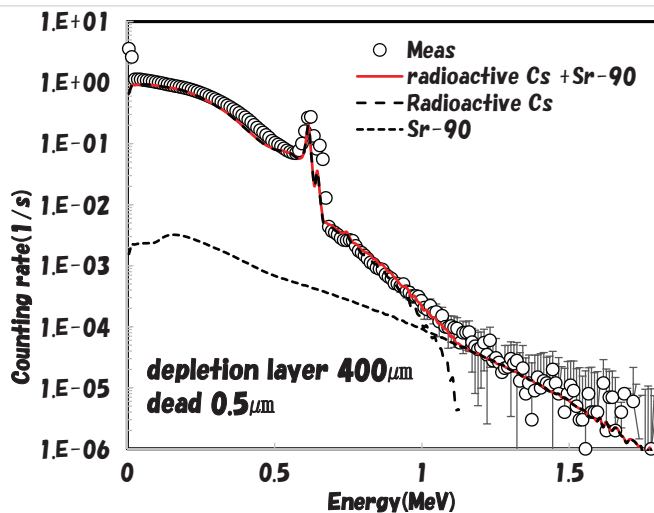
測定スペクトル例

- ^{137}Cs の内部転換電子が確認できる
- 高エネルギー側で、BGより高い



モンテカルロ計算と測定スペクトル

- Si : 1.38cm φ の円形シート、厚み400 μmを仮定
- Cs-HPはSiO₂の直径100 μm



Radioactivity (Bq/particle)					
	Ge			Si	
¹³⁴ Cs	15.9	±	0.1	13	± 0.04
¹³⁷ Cs	71.1	±	0.1	60	± 0.04
¹²⁵ Sb	0.4	±	0.33	-	± -
⁹⁰ Sr	-	±	-	0.09	± 0.03

ほぼGe測定に一致

$$^{90}\text{Sr} / ^{137}\text{Cs} = 0.0015$$

S-4から抽出したCs-HP

- 抽出した3つのHPの放射能

	¹³⁷ Cs (Bq)		¹³⁴ Cs (Bq)		⁹⁰ Sr (Bq)		⁹⁰ Sr / ¹³⁷ Cs
NHK-4-1	60	±0.04	13	±0.04	0.09	±0.03	0.0015
NHK-4-2	77	±0.05	17	±0.05	0.15	±0.03	0.002
NHK-4-3	82	±0.03	18	±0.03	0.09	±0.023	0.001

まとめ

- Cs-ballの β 線測定： ^{90}Sr からの β が見えている
- Ge測定： $^{134,137}\text{Cs}$ 放射能の他 ^{125}Sb を検出
- モンテカルロ計算：測定スペクトルをほぼ再現
- Si測定： $^{134,137}\text{Cs}$ 放射能：Ge測定とほぼ一致

^{90}Sr 放射能の決定が可能

$^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}: 1/500 - 1/1000$

—今後—

- 2016年6-7月に実施した土壌について
分析を進める予定

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。

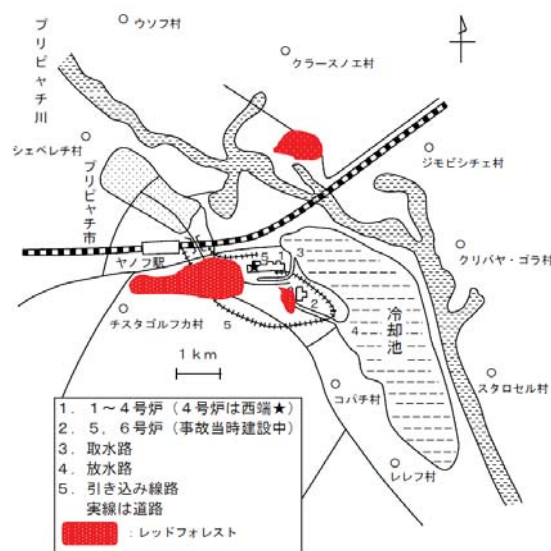


図1. チェルノブイリ原発周辺の概略図。

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	—	—	—

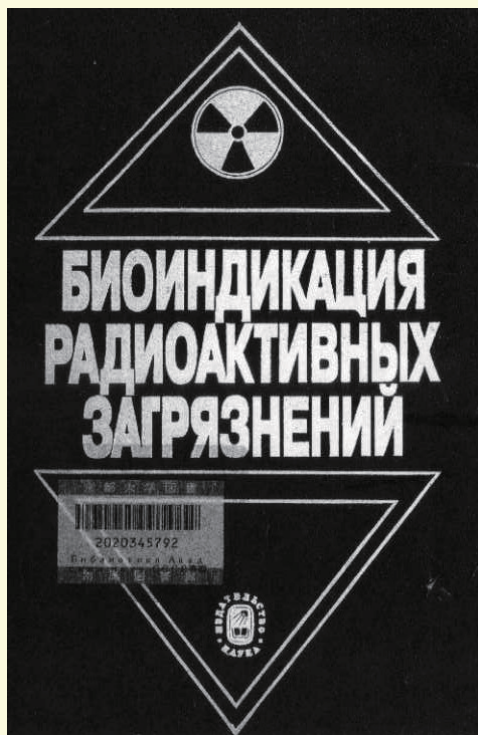
注. “+”；変化有り、“—”；変化なし. 100rad=1 Gy.

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

2016年8月4日
京都大学原子炉実験所



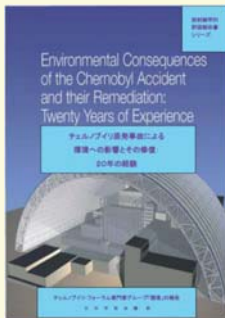
D.A. Krivolutsky 編

“Bioindication of Radioactive Contamination”

ロシア科学アカデミー

・生態学進化問題研究所、NAUKA、
Moscow 1999 約400ページ

- 第1章:放射能汚染環境における生態学的モニタリングの手法(9編)
- 第2章:野生動物の放射能生態学(18編)
- 第3章:環境毒性研究の方法(7編)
- 第4章:エコシステムでの汚染影響の分析(8編)



<総説> チェルノブイリフォーラム報告 (2005)

6.4. 土壌無脊椎動物への放射線影響

事故後2ヶ月以内に、原子炉から3-7 km 地点の森林のリター層に生息する無脊椎動物の数は、30分の1に減少し、**[6.14]** 繁殖は深刻な影響を受けた（幼虫と若虫はいなくなった）。約30Gyの被曝線量（土壌中に設置された熱ルミネッセンス線量計から推定した）は、無脊椎動物群落に破壊的な影響を与え、卵や初期生育段階にある個体を死に至らしめ、成体には生殖障害を起こした。比

6.6. 他の陸生動物に対する放射線影響

1986年の8月と9月に野生動物と家畜の一部を屠殺し解剖が行われた。イヌとニワトリは慢性放射線症候群の兆候が見られた（体重の減少、蓄積脂肪の減少、リンパ節、肝臓、脾臓の質量増加、肝臓、脾臓における血腫の形成、及び大腸内膜の肥厚化）。ニワトリの巣に卵は無く、また卵巣にも卵は認められなかった。

1986年の秋にかけて、小型齧歯類の数が2分の1から10分の1にまで減少した^{訳注9}。事故発生後5ヶ月間に（小型齧歯類が）吸収した放射線量の推定値はガンマ線については12から110 Gy、ベータ線については580から4500 Gyと推定された。動物の個体数は1987年の春までに回復をしていたが、これは主に比較的放射能汚染の低い地域からの移入によるものであった。1986年と1987

D.A. Krivolutsky編“Bioindication of Radioactive Contamination” ロシア科学アカデミー・生態学進化問題研究所、NAUKA、Moscow 1999 pp106-122.

ВОЗДЕЙСТВИЕ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА ЖИВОТНЫЙ МИР В РАЙОНЕ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС В ПЕРВЫЙ ПЕРИОД ПОСЛЕ АВАРИИ (1986-1988 гг.)

Д.А. Криволуцкий, В.З. Мартюшов, И.А. Рябцев

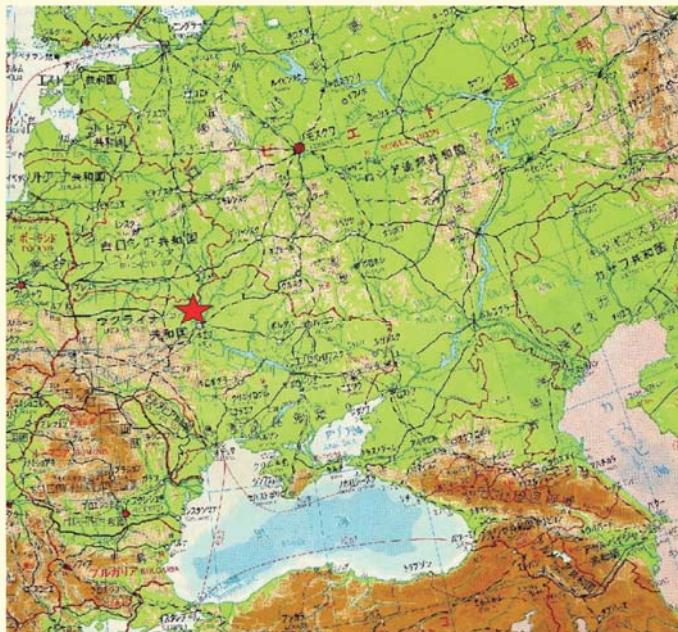
チェルノブイリ原発周辺での事故後初期段階（1986-1988年）における
放射能汚染の動物相への影響

D.A. Krivolutsky, V.Z. Martyushov, I.A. Ryabtsev

Настоящее исследование выполнено в период с июля 1986 по конец 1988 г. коллективами Лаборатории биоиндикации Института эволюционной морфологии и экологии животных им. А.Н. Северцова АН СССР (Москва) и Опытной научно-исследовательской станции химкомбината “Маяк” (Челябинская область) по инициативе известного радиоэколога Е.А. Федорова, который, являясь членом Правительственной комиссии СССР по ликвидации последствий Чернобыльской аварии, сам лично начал работать на ЧАЭС 28 апреля 1986 г. – на третий день после аварии. Евгений Алексеевич был госпитализирован с признаками острой лучевой болезни в сентябре 1986 г. и скончался весной 1987 г.

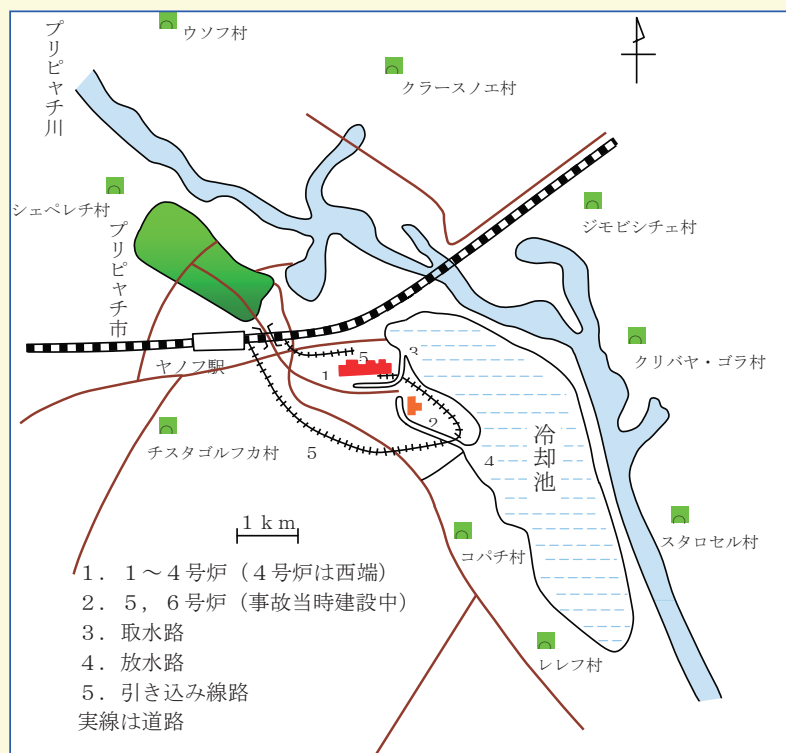
本報告の研究は、1986年7月から1988年末にかけて、ソ連科学アカデミー・A.N.Severtsov記念動物生態学形態進化学研究所（モスクワ）、ならびに高名な放射能生態学者E.A.Fedorovに率いられた科学研究コンビナート“マヤク”のメンバーによって行われたものである。Fedorovは、チェルノブイリ事故処理政府委員会のメンバーとして、事故から3日後の1986年4月28日からチェルノブイリ原発で仕事を開始した。彼は、1986年9月に急性放射線障害の兆候で入院し、1987年春に死亡した。

チェルノブイリ：位置と周辺立入禁止ゾーン



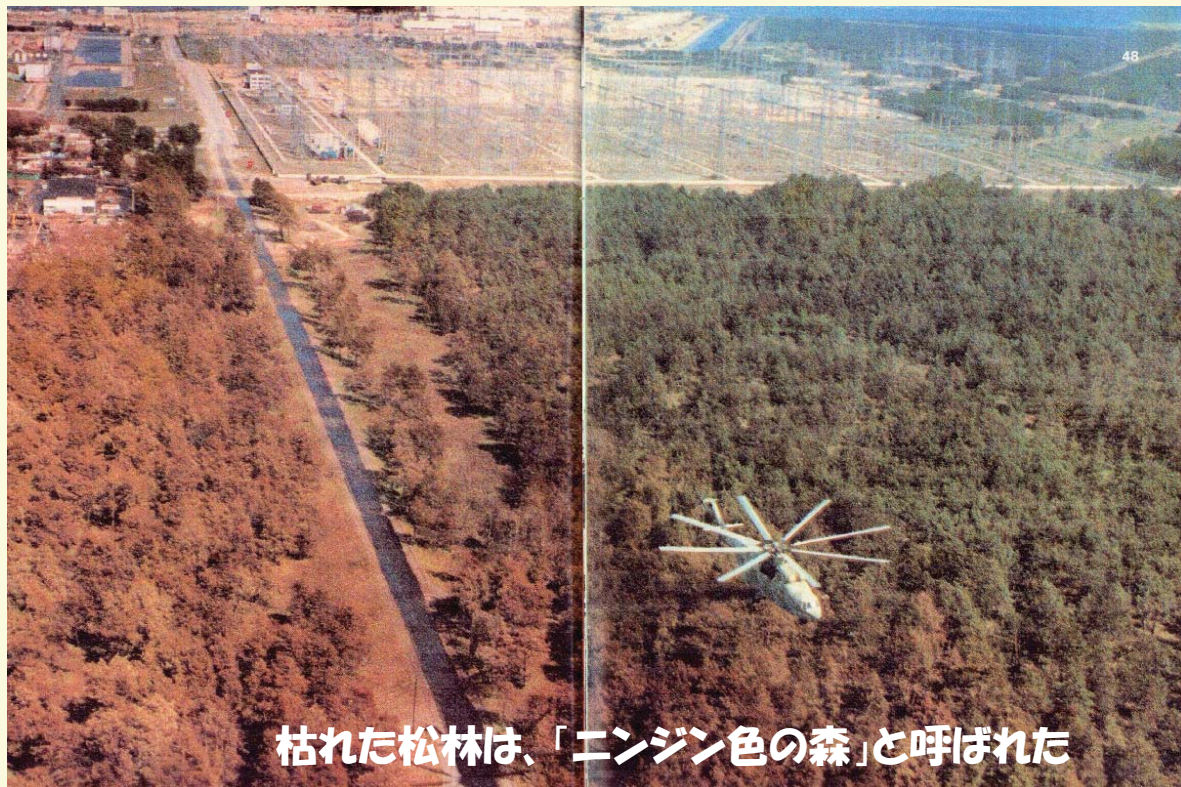
チェルノブイリ周辺立入禁止区域

チェルノブイリ原発周辺10km



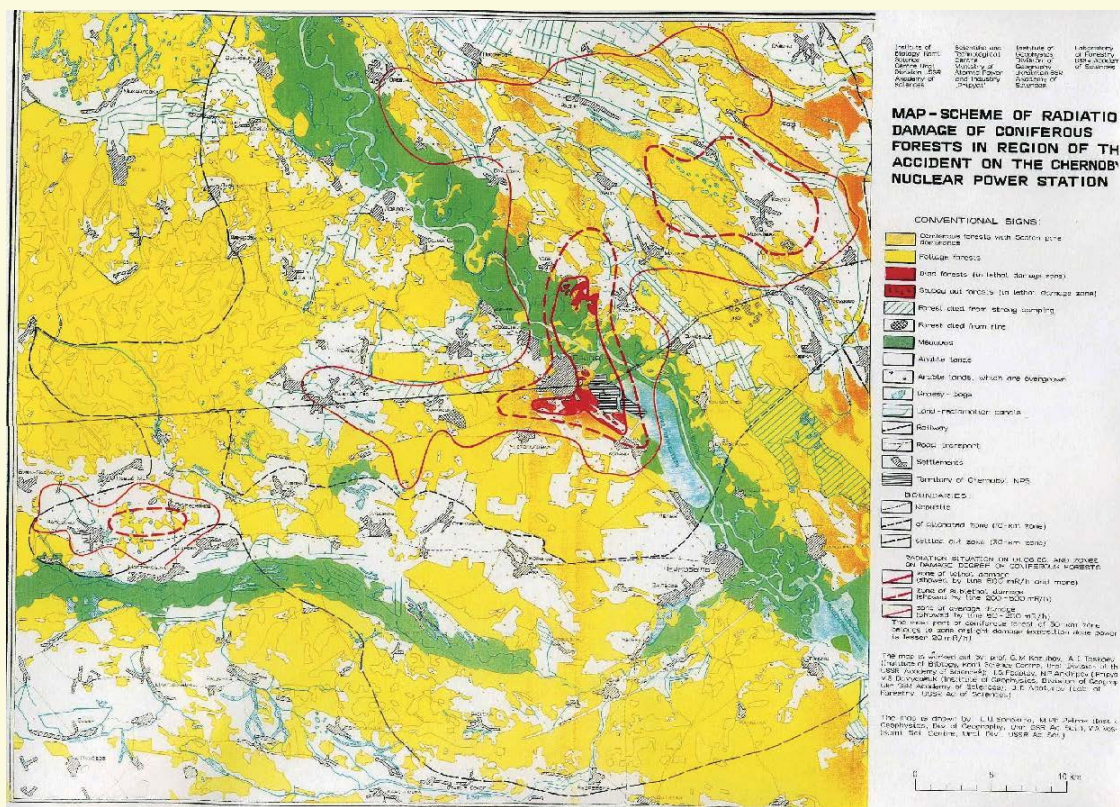
さまざまな資料を基に今中作成

放射能で枯れた森



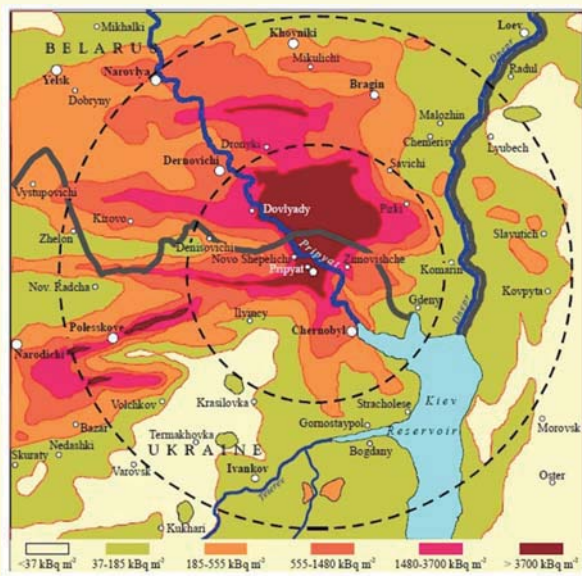
Чернобыльский репортаж (1988)

1986年6月1日の放射線状況



Kuzbov et el. 1991

事故炉周辺のセシウム137汚染の比較



UNSCEAR 2000

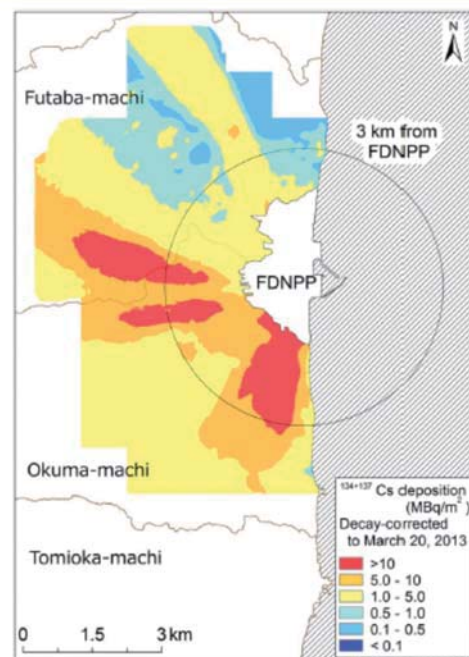
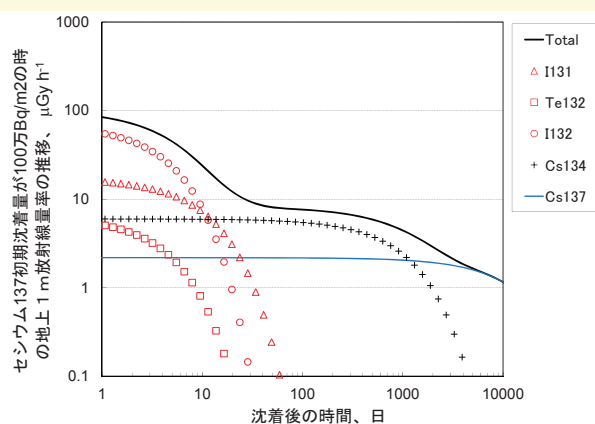


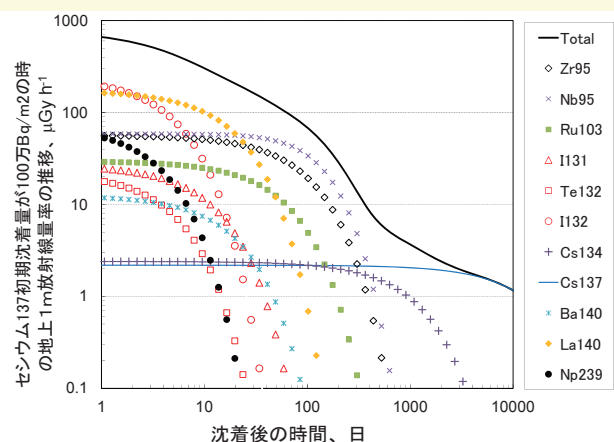
Fig. 6. Distribution map of radioactive cesium deposition on the soil. Data were decay-corrected to March 20, 2013.

Sanada & Torii JER 2015

Cs-137の初期沈着が100万Bq/m²だった場合の地上1mでの空間線量率変化 チェルノブイリ vs 福島

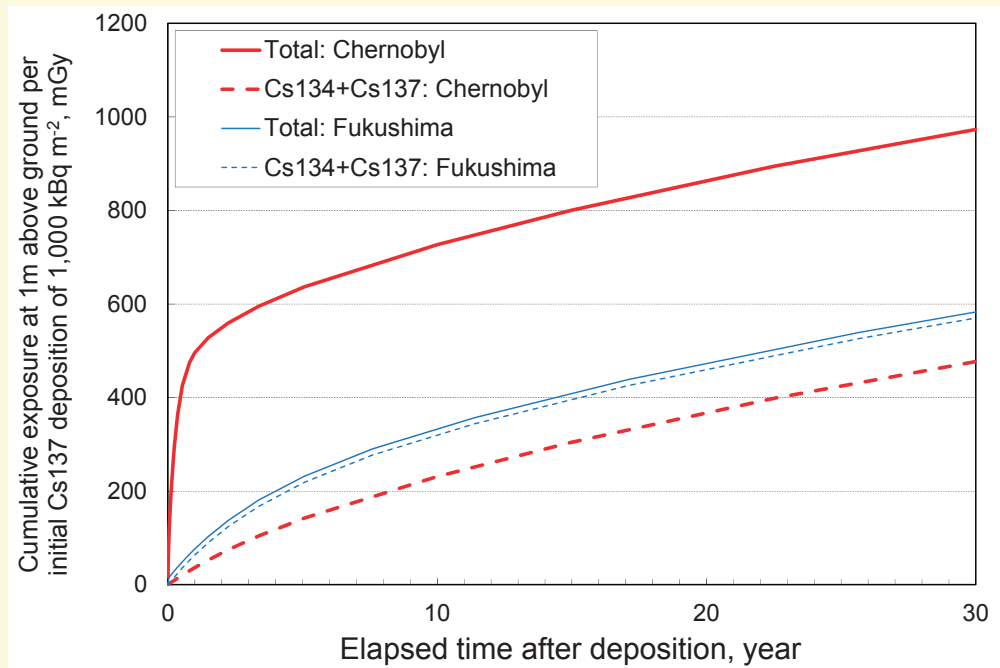


福島: 飯舘村



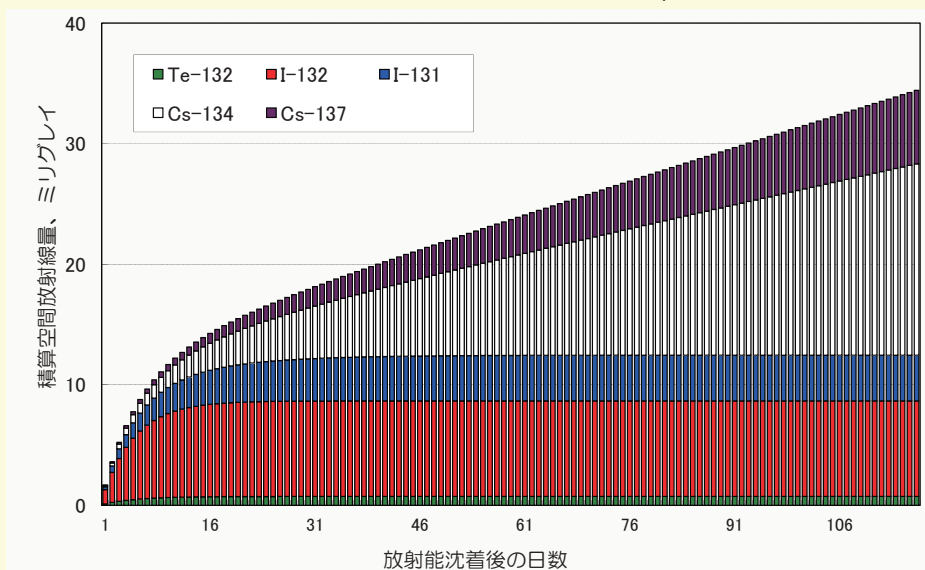
チェルノブイリ: 西方向

Cs-137の初期沈着が100万Bq/m²だった場合の地上1mでの積算空間線量 チェルノブイリ vs 福島



外部被曝の推定方法 ずっと野外にいたときの積算空間線量

セシウム137初期沈着：100万Bq/m²当り：



3月15日18時に放射能汚染がおき、6月30日12:00（107日後）に避難したとし、それまで24時間ずっと野外にいたとして、積算空間線量は32.6ミリグレイ。

Krivolutsky論文のまとめ

- 土壌生物のβ線被曝はガンマ線被曝の27倍.
- 土壌表面の微生物には大きな影響があったが2年目にはほぼ回復.
- 事故直後には(残された)家畜に放射線火傷が認められたが数カ月で回復.
- 外見上の異常はなくとも、イヌやブタの臓器には病理的变化。(ネズミ類のような小動物には変化なし.)
- 鳥類の臓器には、2年目に病理的变化.
- 5年後には、外見上、病理上の異常はなくなったが、野ネズミの血液像には異常が残っている.

Krivolutsky論文のまとめ

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.

Review article

Effects of non-human species irradiation after the Chernobyl NPP accident

S.A. Geras'kin ^{a,*}, S.V. Fesenko ^{a,b}, R.M. Alexakhin ^a

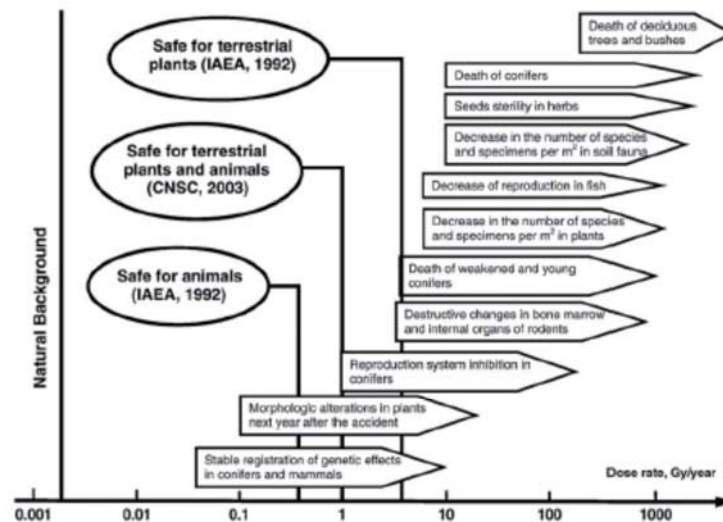
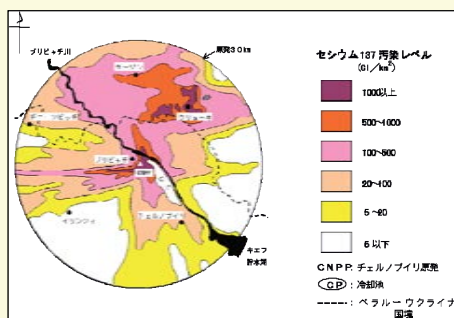


Fig. 1. A comparison of effects observed on non-human species in the conditions of the 30-km Chernobyl Exclusion Zone with estimated no effect values recommended by International Atomic Energy Agency and Canadian Nuclear Safety Commission.

1993年6月 チェルノブイリゾーン訪問



ご静聴有り難うございました！

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

D.A. Krivolutsky, V. Z. Martyushov, I.A. Ryabtsev

本報告の研究は、1986 年 7 月から 1988 年末にかけて、ソ連科学アカデミー・A.N. Severtsov 記念動物生態学・形態進化学研究所（モスクワ）、ならびに高名な放射能生態学者 E.A. Fyodorov に率いられた科学研究コンビナート“マヤク”のメンバーによって行われたものである。Fyodorov は、チェルノブイリ事故処理政府委員会のメンバーとして、事故から 3 日後の 1986 年 4 月 28 日からチェルノブイリ原発で仕事を開始した。彼は、1986 年 9 月に急性放射線障害の兆候で入院し、1987 年春に死亡した。

この論文は、すばらしい研究者であり人間であった彼に捧げられるものである。その内容は、動物界に対するチェルノブイリ事故の最初の時期の観察であり、事故影響を調査している全ての人にとって興味深いものである。本報告で述べられている観察のうち、すでに公表されているのは、土壤生物相の変化（Krivolutsky et al 1988, 1990; Krivolutsky 1994）だけであり、地表の脊椎動物に関する調査結果は、研究者にも非公開であったが、1991 年になって公開された。また、これらのデータは、1986 年から 1987 年にかけて、チェルノブイリ事故による生態影響についてソ連政府が国際機関に報告する資料を作成する際の基礎となった。

環境の被曝評価

放射線の影響を明らかにするためには、サンプル採取時の放射線環境だけでなく、事故が発生したときからの変化や土壌の深さにもなう分布を考慮した吸収線量の知見が必要である。

そのため 30km 圏において、1986 年 5 月と、1986 年と 1987 年の 7 月-8 月に、さまざまな汚染レベルで、生態学的に典型的な地域について、熱蛍光線量計（Prister, Shein, 1979, 1980）とベータ・ガンマ線量計 KRB-G-1、RUP-1 を用いた詳細な放射線量測定が実施された。この作業によって、地表面のガンマ線量の推移、生体に対する総線量へのベータ線とガンマ線の相対的寄与、土壌深さにもなう変化についての推定が可能となった。それらのフィールド調査は、G.N. Shein と本論文の著者らによって実施された。

地表面におけるガンマ線量の変化は、次の式によってうまく記述される。

$$R(t) = 7.5 R_{D+15} t^{-0.75} e^{-3.51 \cdot 10^{-3} t}$$

ここで、 $R(t)$ —事故後の時間 t における地表面でのガンマ線量、 mR/h 、

R_{D+15} —事故から 15 日後における地表面ガンマ線量、 mR/h 、

t —事故後の経過時間、日。

この式の第 1 項 $7.5 \cdot R_{D+15} \cdot t^{-0.75}$ は、放射性核種混合物の物理的減衰を表し、第 2 項 $e^{-3.51 \cdot 10^{-3} t}$ は地面への放射性核種の沈降の効果を表している。

よく知られているように、生物への放射線被曝影響の程度は、吸収線量の大きさのみならず、被曝の時間的経過にも依存する。それゆえ、地表面での被曝量集積の時間的プロセスを評価することが重要である。外部被曝は事故後の初期が強力で、観察された被曝影響は基本的に（事故後最初の 1 年間の被曝の 70-75% をもたらした）1 カ月半から 2 カ月間の間の被曝で形作られた。

地表面での総吸収線量に対するベータ線とガンマ線の寄与の比は、1986 年夏にフッ化リチウム熱蛍光線量計を用いてみつかったところ、30km 圏内の平均で 27 対 1 となった。つまり、総被曝量の

96%はベータ線によるものであった。このように、被曝をもたらす基本的要素はベータ線であった。地表から高さや地面の深さが大きくなるに従い、ベータ線は空気や土壌で弱くなるので相対的寄与は小さくなるものの、被曝影響をもたらす基本的要因はベータ線であった。もちろん土壌中のある深さでは、ガンマ線被曝はベータ線より大きくなるが、そこでの被曝量の大きさは小さくなり、生物への影響をもたらすほどではなくなる。例外のひとつは、とりわけ汚染が大きかった“赤い森”であった。そこでは、土壌表面と落葉層でのベータ線は非常に強くすべての生き物が死滅した。その場所で土壌深部に住んでいる生物の被害状況を調べるための調査は、1986 年には、ガンマ線量が人にとっても危険だったため実施不可能だった。

表1 土壌表面・落葉層の土壌生物サンプリング時の被曝量特性

場所、時間	ガンマ線、mR/h	ベータ線、 $\text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$	総吸収線量、R
松林、落葉層、 原発から 3km、86/7/18	49.7		2940
松林、30km 圏の境界 86/7/18	6.1		916
耕作地、コパチ村 原発から 3km、86/9/23	8.0	1.0–5.0	8600

30km 圏内のさまざまな地域で得られた多くの測定値を用いて、(30km 圏全体に適用できる) 事故後 15 日後 (D+15) における地表面でのガンマ線量率と吸収線量とを規格化して関係づけることが可能となった。すなわち、D+15 における地表面での 1mR/h のガンマ線量率は、事故後 1 カ月間の 60 ± 28 ラド、事故後 1 年間の 70 ± 33 ラドの吸収線量に対応する (表 1)。

こうした線量情報は、1986-1987 年の任意の時期に測定された空間ガンマ線量を用いて、土壌表面層でのベータ線とガンマ線による総吸収線量を見積もることを可能にした・

土壌動物相への汚染の影響

チェルノブイリ原発事故は、土壌中に生息する生物への被曝の危険性という観点からは、4 月 26 日という傷つきやすい時期に発生した。つまり、無脊椎動物にとって、冬眠と春の土壌温暖の後の脱皮と繁殖の時期であった。本論文の著者らによって、土壌中生物に関する放射能生態学的な研究方法と原則はすでに開発されており (Krivolutsky, 1983)、それらが応用された。

土壌中マイクロ動物相サンプルは、IEMEZh (ソ連科学アカデミー・動物生態学形態進化学研究所) が開発した方法にしたがって、面積 225 平方 cm で深さ 3cm の表面土壌を、10 回採取した。こうしたサンプルは、マイクロ動物相としては非常に大きく (通常は $3 \sim 5 \text{cm}^2$ で大きくても 25cm^2)、小生物による土壌や落葉層中の塩分量のマイクロ動物相での小さな変動を避けることができる。(!!!なんだか、意味不明!!!)

この際には、メゾ動物相には特段の関心を寄せてはいないが、マイクロ動物相サンプルには、成長途中のメゾ動物相が少なからず含まれている。通常、こうした段階を他の方法で計数してはならない (????)。得られたサンプルは、電熱器により、通常の方法で 3 日間乾燥させた。調査されたサンプルからの動物の追い出しは、同時並行で実施された。

調査結果は一様に、チェルノブイリ原発から 3–7 km の範囲において、森の落葉層に生息する土壌生物が放射能汚染により強く影響されていたことを示した。ダニ類やメゾ動物相の生育途中の数量は、(1986 年 7 月半ばにおいて) 30 分の 1 に減っていた。より穏やかな減少 (2–3 分の 1) は、

耕作土壌のメゾ動物相で観察されたが、土壌 5～20cm に生息する動物相には破局的な減少は認められなかった。放射能汚染は、さまざまな土壌生息動物の正常な繁殖を妨げた。チェルノブイリのマイクロ動物相では、松林の土壌相で幼虫や若虫がいなくなった。耕作土壌では、そのような死滅は観察されなかったが、ミミズの数是非汚染地区に比べ 4 分の 1 だった。

事故から 1 年後の 1987 年 4 月、土壌生物相は、最も強い影響を受けた地域でも大きく復活した。ミミズ数は対照地域の約 15% だったが、卵の存在は、最大の汚染地域における生物の繁殖を示していた。コパチ村では、無脊椎動物の数は対照地域の 45% で、メゾ動物相の多くは昆虫の幼虫で、つまり外から成虫が飛んできて汚染地域に転住したものだった。事故の 2 年半後には、メゾ動物相は実質的に完全に回復した。性的未成熟（30%）と性的成熟（10%）の相対的割合は、対照地域と調査した汚染地域では違いがなかった。従って、0.9～1.4mR/h という残留放射線レベルは、土壌動物の復活において悪影響をもたらしていなかったと結論できよう。動物相の種類の違いは保たれていた。つまり、汚染地域の森のミミズは *Dendrobaena octaedra* のみで、対照地域にはさらに *Eisenia nordenskioldi* が認められた。土壌のマイクロ動物相については、我々のデータでは、もっと早く 1988 年春には復活した。

事故後最初の 3 年間の観察から以下のように結論できる。

1. チェルノブイリ原発事故が周辺近傍地域にもたらした放射能汚染は、土壌生物相、とりわけ森の落葉層と表層の棲息生物へ実質的な影響をもたらした。
2. 約 3 krad という総被曝量は、土壌無脊椎動物を直接に死滅させるほどではなかった。その被曝量は、この種の生物の 50 日半致死線量の 3～30% であった。
3. そのような放射線量は、ほとんどすべての無脊椎動物の卵や発生初期段階での死滅をもたらすには十分であり、放射能汚染の結果として観察された負の影響は、集団の繁殖や再生産過程への障害と関係づけられるものであった。マイクロ動物相の短い生涯（通常 1～12 カ月）、定常的な世代交代、多くの種の個体の成長の間に、電離放射線は、集団の再生能力を破壊することによって影響をもたらした。そのような放射線量も、これまで知られていなかった、動物の死滅線量と呼べるであろう。
4. 耕作土壌では、深いところの生物は、土壌上層により放射線の作用が遮蔽された。いずれの動物においても破滅的な死亡は観察されなかった。
5. 事故の 1 年後、森の動物相の量は、残留個体（対照の 15%）と外部からの昆虫の転住によって徐々に回復し、幼虫の数は対照地域とほぼ同じになった。
6. 事故から 2～2.5 年後には、原発から 3km 以上離れたところでは、土壌動物相はほぼ完全に回復した。
7. 1987 年から 1993 年にかけての土壌生物の多様性は、抑制された状態で、対照に比べ、記録された種数は約 50% だった。1995 年によく、この指標に関しても生態系が回復した。

野生ならびに家畜の脊椎動物に対する影響

30km ゾーンを動物地理学的に分類すると、ヨーロッパに典型的な地表の脊椎動物相で特徴付けられる、ポレーシエ森林地域である。

1986 年 8 月－9 月、放射能汚染を蒙った地域に生息している動物の調査が行われた。主な調査地域は、レフ村、コパチ村、チスタガロフカ村、チェルノブイリ市、それにチェルノブイリ原発冷却池だった。哺乳類と鳥類の種類、分布、挙動が調査された。動物を捕殺し、さまざまな臓器の放射能濃度、病理学的変化の観察、血液像が調べられた。

（チェルノブイリ原発から半径 10km 圏の）1986 年 8 月 1 日までの動物の外部被曝吸収線量は 0.3krad で、内部被曝は 4krad だった。

脊椎動物相の中心は鳥類で、50 種類以上の鳥が確認された。稀な種類として保護されている、大小の白サギ、白尾ワシ、灰色ツルにも出会った。鳥の一部は汚染地域に巣を作っていた。野生ならびに家のスズメ、ムクドリ、カササギ、カラス、ミヤマガラス、イエツバメ、ヨシキリの孵化が認められた。調査期間中に、野生の鳥の死骸には出会わなかった。

鳥の挙動には、外観からは異常は認められなかった。一部の鳥は、巣立ち後に渡りをし、汚染地域の生息期間は限られていた。8月末に渡り鳥として確認されたのは、ウグイス、ホオジロ、アトリ、セキレイ、オオタカ、チコハヤブサだった。

30km 圏に残っていた家鳥は、ガチョウ、カモ、ニワトリだった。ガチョウとカモの栄養状態は良かったが、ニワトリは水準以下だった。ニワトリの新鮮な卵や若鳥は認められなかった。事故後はじめの2カ月間は、卵やひなの孵化が認められていた。

30km 圏の哺乳類としては、ハリネズミ、リス、野ネズミ、イエネズミ、黄ノドネズミ、ふつうのハタネズミ、ふつうのトガリネズミ、小型トガリネズミの8種類が観察された。

最も大きな汚染地域に残されていた家畜には、事故から最初の数カ月間、鼻の潰瘍、四肢や腹部の脱毛といったⅠ度とⅡ度の火傷が認められた。3、4カ月後には傷は回復した。8月－9月に我々が調査したときには、ブタ、ネコ、イヌに放射線火傷は認められなかった。

チェルノブイリ 30km 圏の野生哺乳類の動物相は、十分に多様で、6科目 45 種類の哺乳類が生息していた。

動物の生活圏分布は一様ではなく、動物が多いのは自然の生活圏であった。森には、ハリネズミ、リス、アライグマ、テン、アナグマ、シカ、オオジカ、モグラ、ネズミ類がいた。草地や沼沢地には、ビーバー、マスカラット、ミズネズミ、カワウソ、マムシ、アオダイショウ、イモリ、ヒキガエル、カエル、カメがいた。しかし、これらの動物の数は多くはなかった。

畑のように人間の手が入った生活圏では、主にハタリス類とネズミ類が観察された。集落の中では家ネズミと灰色ネズミだった。森では、まれにオオカミ、キツネ、ウサギに出会った。

調査期間中、野生の哺乳動物の行動に外見上の異常は観察されず、通常の典型的な野生動物相であった。

1986 に観察された動物の病理変化

30km 圏で捕獲したすべての鳥と哺乳類は解剖して、変化がないか臓器や組織を観察した。

冷却池周辺のレレフ村、コパチ村、チスタガロフカ村で捕獲したイヌの内臓や組織には、慢性放射線病を特徴付けるさまざまな変化が認められた。筋肉や脂肪組織の萎縮が見られたが、皮膚、鼻や口の粘膜、目の結膜に異常はなかった。全てのイヌの肝臓は肥大化し、断面は削れが多かった。肝臓の実質はもろい成分で、押すと容易にくずれた。

チスタガロフカ村と冷却池近くで捕獲した3匹のイヌでは、肝臓と脾臓に、暗サクラ色で大きさソラメ大の充血した斑点があり、臓器の表面に隆起した溢血が認められた。

イヌの腎臓は、肥大せず、皮膜は容易に剥がれ、結合組織に脂肪はなく、皮質と実質に点々状の溢血があり、層の間は不明確で溶解していた。(!!!今中には意味不明!!!) チスタガロフカの3匹と冷却池近傍の2匹の腎臓の表面はざらざらして、(管と糸球管の萎縮、結合組織での貧弱な細胞の増加が、表面をでこぼこにしながら腎臓を形作る) 腎臓硬化症(?)の存在を示していた

泌尿器系の臓器には異常は認められなかった。脾臓は、すべてのイヌで約1.5倍に肥大化していた。脾臓断面での髄の部分の暗赤色で溢血していた。

リンパ節は、10匹のうち4匹のイヌで、膜で仕切られたりして(?)溢血し肥大化していた。甲状腺は、暗赤色だったが肥大化はなかった。

イヌの腸と胃には、明るい色の粘液が多量にあり、小腸の壁は厚くなっていたが、溢血、壊死、潰瘍その他の変異はなかった。ほとんど全ての動物の肺には、それほど大きくない漿液カタル性肺炎の病巣(?)が認められ、痛んだ場所では肺組織の色が赤くなり、切断面の表面からは濁った液体、気管支側からはねばった粘液が浸透していた。(???)

30km 圏ではその他に、ハリネズミ、リス、ヌートリア（洋ドブネズミ）の解剖と病理調査を実施した。チェルノブイリ市で捕獲したヌートリアには、外見にも、解剖した臓器にも異常はなかった。レレフ村付近で捕獲したリスやハリネズミにも臓器に異常はなかった。といっても、ヌートリア、ハリネズミ、リスは、自然の植物、果物、草、キノコ、胡桃、菜園産物を森や村を自由に行き来して食していた。

陸生鳥類に関する多くの調査では、組織の異常な例がいくつか観察された。レレフ村やコパチ村のニワトリは、鶏舎や物置で暮らしていたが、巣に卵やヒナがいなかった。ニワトリの羽の表面に異常はなかった。赤いトサカや首の垂れ皮も正常だった。ニワトリの解剖では、肝臓が赤茶けた色に変化し、病弊していた。卵巣は、卵はなく萎縮していた。骨格の変化（胸骨突起の湾曲）は、自由な居住にともなう、通常の世話と十分エサの不足によるビタミンとミネラル欠如の結果と考えられた。

水辺や水棲の鳥類（ガチョウ、カモ、カモメ、サギ）には、外観にも内部組織にも変化は認められなかった。水棲鳥類の栄養状態は通常で、病弊はなく活発だった。

調査データを分析した結果、イヌとニワトリの臓器に、慢性的放射線障害に特有な症状が認められたと結論される。症状は、肝臓、リンパ節、腎臓の溢血、肝臓と脾臓の肥大、イヌの腎臓硬化症、ニワトリの卵巣萎縮であった。動物に観察されたそれらの変化は、外部被曝ならびに内部被曝の結果である。

鳥類と哺乳類の臓器における放射性核種の蓄積

放射性物質は、土壌－植物－草食動物－肉食動物という食物連鎖を通じて、地上脊椎動物の臓器に入る。動物の臓器に蓄積されていた放射性物質量の調査結果を表 2 と表 3 に示す。

調査結果は、同じ地域に生息している動物の間で体内の放射性物質濃度に大きな違いがあり、また同じ種類でも場所によって大きな違いがあることを示している。

たとえば、レレフ村や冷却池の岸で捕獲された動物の放射性物質濃度は、土壌の汚染レベルがより大きなチスタガロフカ村で捕獲された動物より、大きかった。

穀類食のニワトリの筋肉の濃度は、哺乳類や水棲鳥類に比べてかなり低かったが、羽の汚染では反対の傾向があった。

陸上動物の羽や皮膚の汚染は、繰り返し水と接触している水鳥より大きかった。水の放射性物質濃度は、土壌に比べてかなり低く、水鳥の体表面から放射性物質の一部が洗われていることを示している。つまり、動物の皮膚は主として機械的なメカニズムで汚染していると言える。

動物の臓器や組織に蓄積されている放射性物質は、基本的にセシウム 134 と 137 で、その濃度は時折、土壌中濃度を越えていた。つまり、臓器への蓄積である。

表2. 1986年9月におけるチェルノブイリ原発30km圏の動物臓器の、単位汚染密度当りの放射性物質濃度、(pCi/kg) / (Ci/km²).

動物の種類	調査数	臓器、組織 (生重量)	場所	Nb95	Zr95	Ru103	Ru106	Cs134	Cs137	Ce141	Ce144
ニワトリ	3	筋肉 羽	レレフ村	18 411	25 6632	7694	0	3920 7360	3070 6316	33 1258	51 5105
カラス	1	筋肉 羽	"	1550	3057	4559	0	21600 4960	22134 4503	1076	3455
ガチョウ	1	筋肉 羽	"	81 675	1075	414		28080 7120	9474 5760	397	1200
サギ	1	筋肉 羽	"	145	283			11680 1520	11842 1579		
野ガモ	1	筋肉 羽	"	81 675	10472	414		28080 7120	25292 5760	397	1200
イス	1	筋肉 毛皮 肝臓	"	1641	2396	1813	0	49760 16400 21600	49795 14210 20555	944	3300
ハタネズミ	6	(頭・内臓除 いた) 胴体	"	44	1	1	0	1920	1959	1	28
リス	1	(頭・内臓除 いた) 胴体	"	382	584	207	0	6880	5438	50	150
イス	3	筋肉 毛皮	チスタガロフ カ村	8 161	3 491	15 458	35 1434	547 1069	567 1225	1 67.1	64
家カモ	1	筋肉 羽	"	327	261	180	336	202 242	102 223		27
ガチョウ	1	筋肉 羽	"	35	38	3 57	13 168	203 140	204 153	5	25
ヌートリア	1	筋肉 毛皮	チェルノブイ リ市	65 3420	4280	4210	3652	7333 8000	8596 6667	3137	261
イス	6	筋肉 毛皮 肝臓	冷却池近傍	47 6298 165	141 10707	7694 2927	0 0	73520 20080 38880	64795 29240 32398	3129	1246

表3. 冷却池近辺の土壌とイヌの筋肉中のセシウム 137 濃度 (pCi/kg 生重量)。

調査対象	¹³⁷ Cs	調査対象	¹³⁷ Cs
イヌ No.1	19.7	No.5	21.9
No.2	43.2	No.6	22.2
No.3	11.3	土壌	8.6
No.4	15.1		

セシウム 134 と 137 は代謝プロセスにより、濃度は 60 日後には平衡状態になる。

レレフ村冷却池付近で得られた調査結果では、イヌの筋肉のセシウム 137 濃度は 22pCi/kg [!!!単位が何だか変、μ のマチガイだろう!!!] まで蓄積されていた (表3)。

イヌの筋肉のセシウム 137 濃度は、他の動物に比べて最も大きく、モデル実験で得られた他の研究結果とも一致した。

生活スタイルが違っても鳥類のセシウム 137 濃度はだいたい同じだった。たとえば、冷却池付近のカラス、家のガチョウ、野生のカモの筋肉中セシウム 137 濃度は、生重量でそれぞれ 0.76、0.56、0.86 μCi/kg だった。ただ、青サギの筋肉中濃度は半分だった。というのは、サギのエサである小魚やカエルのセシウム 137 濃度が低かったからである。

表4に、土壌中から動物筋肉への移行係数の数値をいくつか示した。

小動物をエサにしているイヌの筋肉にはセシウムの濃縮が認められた。

さまざまな村では、沈着した放射性粒子の性質や分布の違いにより蓄積度の違いがあった。

表4 チェルノブイリ周辺汚染地域の動物の筋肉といくつかの植物に対する土壌からの移行係数

調査対象	セシウム 137 移行係数
レレフ村	
ニワトリ	0.12
家のガチョウ	1.0
野生のカモ	0.3
イヌ	2.0
チェルノブイリ市	
ヌートリア	0.3
草 (青い部分)	0.5
トウモロコシの穂	0.2

1987 年 (事故後2年目の) 動物の状態

1987 年 8 月 1 日での調査地域の哺乳類に対する外部被曝は最大約 400rad で内部被曝は約 5000rad だった。1987 年 8 月 1 日における動物の吸収線量の (1 年間の) 増加は、1986 年 8 月 1 日の線量の 10~20% であった。

主要な脊椎動物は鳥類で、50 種類以上が観察された。1986 年の観察では、動物や鳥類の種類においては、事故以前との比較で変化は認められなかった。1987 年、チェルノブイリ原発 30km ゾーンでは、“赤い森”を含め、齧歯類の増加が認められた。

動物数の増加について、言及されている要因のひとつは、畑で収穫されなかった穀物や菜園の存在である。そこでは、灌漑作業の停止とともに、水に充たされた空間ができあがり、水辺に巣を作る鳥 (カモ、サギ、カモメ) が増加した。

“赤い森”と放棄された庭では 1987 年に、ゲッ歯類の定住が観察された。赤い森においてワナで捕獲したゲッ歯類 (ワナの効率は約 40%) の臓器には外見上の異常は認められなかった。

1987 年の観察では、放射能汚染レベルの大きな枯れた松林と近傍において、いくつかの種類の鳥類が巣作りと子育てを続けていた。高い放射線レベルが、この地域から鳥類を遠ざけるようなことはなかった。

1987 年の夏、30km 圏では、昆虫、穀類食や昆虫食ならびに肉食の鳥類が増加した。チョウの害敵であるマツキボシゾウムシの 2 年目における増加は、ウラル東部放射能汚染事故で 2－3 年後にネパールカイコガが増加したことに似ていた。

1987 年の哺乳類と鳥類の臓器における病理変化

1987 年 8 月、チスタガロフカ村、レフ村、コパチ村、チェルノブイリ市ならびに冷却池付近において、野生ならびに家畜動物の病理調査を実施した。全部で 33 種類、120 体の動物を調査した。動物の病理調査結果を表 5 に示す。

表 5 のデータから、動物組織における外見からの病理変化の存在を判断できる。生活形態、エサの種類、被曝量によって病理変化が決まっている。つまり、1986 年と 1987 年の草食小動物には病理変化は認められなかったが、ブタやイヌの解剖では以下のような病理変化が認められた。肝臓は約 1.5 倍に肥大化してその表面には多数の斑点状や縞状に溢血があった。脾臓も肥大化し表面には点状の溢血があった。

肺には漿液カタル性肺炎の病巣が認められた。腎臓の皮質には、点状の溢血をもつ層間がはっきりしない層があり、調査したイヌには腎臓硬化症のケース（40%）があった。

1987 年の調査では、いくつかの鳥類においても臓器の変化が認められたことに注意頂きたい。肝臓と脾臓が肥大して変色し、溢血も認められた。

表 5. 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

調査された動物の体内臓器に観察されたさまざまな影響は、まず第1に、外部および内部被曝量に依存する。被曝量の形成には、汚染地域における動物の基本的な生活場所の役割が大きい。たとえば、ネズミ類は基本的に同じ場所に生活し、鳥類はかなりの距離を移動する。ブタやイヌは汚染土壌とつねに接触し、エサを得る過程で土壌を飲み込んで内部被曝を受ける。調査動物の放射線に対する感受性もさまざまである。ブタはイヌに比べて放射線感受性が大きく、鳥類は、イヌやブタに比べて放射線に強い。

我々の考えでは、こうした原因が、被曝影響の現れ方を左右している。体内臓器に観察される変化は慢性的放射線病である。時間の経過とともに放射線量率は減少しているが、1986-1987年に観察された動物の病理的变化は、さらに2-3年続くと思われる。しかし、動物の大量死に至ることはないだろう。

さまざまな動物群集における放射性物質の蓄積と移行

チェルノブイリ 30km 圏やベラルーシ・モギリョフ州に棲息している動物における、セシウム 137、ストロンチウム 90、プルトニウム、キュリウム、アメリカシウムといった放射性物質の臓器への蓄積は、以下のような要因に左右される。

- 土壌の汚染密度、ならびに動物の土壌への接触の仕方と時間
- その動物種のエサの状況と生活場所の環境
- 放射性物質の生物による利用され易さ（土壌中での形態）

1986-1987年に調査した動物群集における土壌の放射性物質汚染密度は、セシウム 137 で 13~20 倍の違いがあった。

土壌のセシウム 137 汚染レベルが 20~450Ci/平方 km のチェルノブイリ原発 5km ゾーンに長期間（5~16 カ月）残されていた家畜の動物や鳥は、常に移動しながらエサを得ており、筋肉中のセシウム 137 濃度は最大で、ブタ 0.6 μ Ci/kg（=22kBq/kg）、イヌ 13.4（500kBq/kg）、ガチョウ 9.5（350kBq/kg）、ニワトリ 0.7（26kBq/kg）だった。セシウム 137 土壌汚染が 450Ci/平方 km の冷却池近くに棲んでいるイヌとガチョウのセシウム 137 濃度は、レフ村、コパチ村、チスタガロフカ村に棲んでいるものに比べて 15~20 倍であった。それらの村のセシウム 137 土壌濃度は 20~35Ci/平方 km で、冷却池近くに比べ 13~20 分の 1 だった。

5km 圏に棲息している野生の定住性鳥類（カラス、スズメ、ハト）の筋肉中セシウム 137 濃度は、0.23~3.8 μ Ci/kg（8.5~1400 kBq/kg）の間だった。

5~7 カ月という一定期間だけ汚染地域に棲息する渡り鳥（カモメ、ノガモ、サギ、バフンダカ）の筋肉中セシウム 137 濃度は 0.1~3.7 μ Ci/kg（3.7~140 kBq/kg）だった。違う種類の鳥類のセシウム 137 濃度の類似性は次のことを示している。

チェルノブイリ原発 5km 圏内における渡り鳥の 5~7 カ月間の生活やヒナ鳥の 1~3 カ月間の成長の間に、放射性物質摂取にともなう体内のセシウム 137 濃度レベルは動的平衡に徹している。

チェルノブイリ原発 5 km 圏の鳥類や哺乳類の放射性物質の体内摂取においては、食餌の際の土壌粒子の取り込みがかなり寄与している。胃や餌袋の内容物のセシウム 137 濃度がエサそのものより 2~3 倍大きいことが、そのことを示している。土壌粒子として摂取されるセシウム 137 の寄与は、エサよりも 2 倍以上多いであろう。

チェルノブイリ原発 5 km 圏内の動物の骨格中のストロンチウム 90 濃度は、イヌで 1.5 μ Ci/kg（56 kBq/kg）、ニワトリで 0.6 μ Ci/kg（22kBq/kg）、ガチョウで 2 μ Ci/kg（74kBq/kg）で、筋肉中の放射性セシウムとだいたい同じレベルであった。

事故後ははじめの数カ月間は、放射性物質の主な摂取経路は吸入であった。1986 年 9 月、5km 圏の

イヌの肺中のストロンチウム濃度は、骨格中の 3.5 倍で、肺中のプルトニウム濃度は他の臓器や組織の 2～3 倍だった。これらのことは、事故後最初の年には吸入の寄与が大きかったことを示している。

チェルノブイリ 30km 圏とモギリョフ州において、土壌の汚染レベルとさまざまな種類の動物の臓器中放射性物質濃度との相関性を定量的に調べるため、動物の種類を以下の 4 つに分類して、臓器への移行係数 (Kn) を求めた。1) 土壌中の有機物、落葉、落枝を栄養にしている動物 (土壌中メゾ動物相)、2) 植物を食べる動物 (植物食の昆虫、穀物食の鳥、草食の哺乳類)、3) 昆虫食の動物 (昆虫食の鳥と哺乳類)、4) 肉食 (哺乳類とは虫類)。

さまざまな食物連鎖におけるストロンチウム 90 とセシウム 137 の蓄積に関する法則性の分析結果 (図 1 - 図 3) は、食物連鎖の前段階に比べ、植物や無脊椎動物を食べている動物の骨格でのストロンチウム 90 の蓄積傾向と、同じ動物の筋肉中セシウム 137 の減少傾向を示している。その例外は、草食のカモとガチョウで、それらの筋肉中セシウム 137 の移行係数 (Kn=1.4~1.7) は、肉食哺乳類や鳥類 (Kn=2) に比べ若干小さいが、このことは文献データと一致している。

肉食の哺乳類と鳥類の体内では、ストロンチウム 90 とセシウム 137 の濃縮が観察され、さまざまな肉食動物についての法則性として知られているものである。

放射性物質の動物体内への取り込まれ易さを調査するため、チェルノブイリ原発から、2km、5km、270km の地点で、野ネズミと草へのセシウム 137 の蓄積を調べた。2km 地点での土壌からの移行係数は、草 (Kn=0.06)、野ネズミ (Kn=0.2) とともに、5km (草で Kn=0.2、野ネズミで Kn=0.6) や 270km (モギリョフ州ベプリン、草で Kn=4.9、野ネズミで Kn=0.6) の移行係数に比べて小さかった。これらのデータは、動物や植物への放射性セシウムの取り込まれ易さが、チェルノブイリ原発の距離とともに大きくなることを示している。この結果は、原子炉爆発にともなう地域汚染の調査結果と一致する。

30km 圏での超ウラン元素に関する食物連鎖にともなう移行の研究は、かなりの量のプルトニウム、キュリウム、アメリカシウム、土壌、植物、動物の臓器・組織に存在していることを示している。動物群集での超ウラン元素の存在を基に食物連鎖中での移行を調べることができる。

結論として、30km 圏に棲息する全ての種類の哺乳類と鳥類において、放射性物質 (ストロンチウム 90 とセシウム 137) の蓄積が認められた。

土壌 1	草 1.7(0.3)	野ネズミ	$\frac{0.6*}{1}$	$\frac{(0.7*)}{(2.3)}$	イヌ	$\frac{11.9}{12.2}$	$\frac{(2.0)}{(4.5)}$	
		ハト	$\frac{0.6}{0.5}$	$\frac{(0.3*)}{(1.1)}$		カラス	$\frac{3.6}{3.7}$	$\frac{(6.5)}{(15.1)}$
		ニワトリ	$\frac{1.7*}{1.3}$	$\frac{(-)}{(-)}$		カモメ	$\frac{0.4*}{0.3}$	$\frac{(0.9*)}{(1.0)}$
	落葉層 31.5(96.0)	野ガモ	$\frac{2.5*}{2.9}$	$\frac{(1.7*)}{(2.6)}$		サギ	$\frac{0.7*}{5.1}$	$\frac{(3.7*)}{(2.6)}$
		ガチョウ	$\frac{21.1*}{30.2}$	$\frac{(1.4*)}{(4.3)}$		昆虫食の鳥	$\frac{0.4}{2}$	$\frac{(0.7)}{(0.8)}$
	キノコ 0.6(0.3)	昆虫	$\frac{0.5}{0.5}$	$\frac{(2.0)}{(1.0)}$		ブタ	$\frac{0.6}{1.3}$	
						バフンダカ	-	$\frac{(0.8*)}{(13.3)}$

図 1. チェルノブイリ 30km 圏における生態系での 1986-1987 年のセシウム 137 移行係数 (分子: 食物連鎖前段階からの移行係数, 分母: 土壌と比較したときの移行係数, *印は、胃の移行係数。) () 内の値は 1987 年。

土壌 1	草 1.1(0.1) (キビ、ヒマワリ)種 0.03(-) キノコ -(0.4)	野ネズミ	$\frac{3.3}{1.9}$	$\frac{(15.0)}{(1.4)}$	カラス	-	$\frac{(22.0)}{(2.7)}$
		野ガモ	$\frac{6.0*}{1.1}$	$\frac{(-)}{(1.4)}$		0.6	
		ガチョウ	$\frac{1.1*}{0.8}$	$\frac{(-)}{(1.4)}$		-	$\frac{(0.3)}{(0.02)}$
		ニワトリ	$\frac{1.5*}{1}$	$\frac{(-)}{(-)}$		-	
		ハト	$\frac{-}{-}$	$\frac{(17.2*)}{(1.7)}$			

図2. チェルノブイリ 30km 圏の生態系において 986-1987 年に観察されたストロンチウム 90 の移行係数

土 壌 1	草 5.0 落葉層 14.0	野ネズミ	$\frac{0.6*}{0.5}$	昆虫食の鳥	$\frac{0.6}{0.3}$
		キリギリス	$\frac{0.1}{0.5}$	トカゲ	$\frac{1}{0.5}$
		カブトムシ・クソムシ	$\frac{0.8}{0.9}$	カエル	$\frac{0.4*}{0.5}$
				タマムシ	$\frac{1.4}{0.6}$

図3. ベラルーシ・モギリョフ州ベプリンの生態系において 1987 年の観察されたセシウム 137 の移行係数.

動物臓器のセシウム 137 濃度の変化は、土壤中の放射性物質濃度に依存している。

脊椎動物が上位に位置する食物連鎖において、ストロンチウム 90 はいずれの段階でも骨格に蓄積され、このことは従来から確認されている結果と一致した。

さまざまな食物連鎖においてセシウム 137 の蓄積もさまざまだった。セシウム 137 は、草食や無脊椎動物を食べている動物や鳥類の大部分では蓄積されなかった ($K_n = 1$) が、水棲で草食の鳥類 (カモやガチョウ) や肉食哺乳類では蓄積があった。

動物臓器への生物学的影響は、哺乳類に対しては 1986 年～1987 年に、鳥類に対しては 1987 年～1988 年に観察された。1988 年には動物における外観的な変化はなくなった。しかしながら、哺乳類における遺伝的また血液学的変化は事故から 5 年後も観察された。

チェルノブイリ原発周辺の植物に関しては、最大の放射線影響は 1987 年に認められた。放射線量が 10mR/h 以上の 4 平方 km の地域において、マツの枯死、広葉樹、灌木、草本の上部の障害が現れ、草本が死滅した後に、シラカバ、匍匐植物、青モリニアといった植物が増加し、草の量は 2～2.5 倍になった。10mR/h 以下では、植物への放射線影響は観察されなかった。

1989 年には、植物の形態変化はほとんど消滅し、(エリカ属、匍匐植物、青モリニアといった) 草の増加は終了したが、以前のような種への復活は認められなかった。変化は 1990 年にも残っていた。

野獣と鳥類の種類については 1988 年の観察では、事故以前と変化はなかった。1988 年に 30km 圏で捕獲した結果では、1987 年に比べ、野ネズミの数は 3～4 分の 1 に減少していた。この減少は、以前に農業が行われていた地域に関係し、もともと自然状態のところでの減少は少なかった。

1988 年の観察では、枯死した松林やその周辺の高レベル汚染地域で、いくつかの鳥類が巣を作り

エサを得ていた。1986年や1987年と同じく、この地域において、高いレベルの放射線が鳥類を寄せ付けなくなるようなことは認められなかった。

1988年夏の30km圏では、1987年と同じくらい多くの昆虫と穀物食や昆虫食の鳥類が認められた。マツ林では、放射能汚染地域でのネパールカイコ増加に似たような、マツキボシゾウムシに増加が認められた。

1988年の夏、捕獲した小動物を解剖し臓器や組織を観察した。1988の小型脊椎動物には臓器の病理変化は観察されなかった。注目しておきたいのは、1986年から1988年にかけて400～600mR/hというレベルの“赤い森”に生息していたカヤネズミや野ネズミの臓器において病理的な異常がなかったことである。このことは、栄養状態が良い野ネズミ集団の場合、放射線レベル上昇が影響をもたらさなかったことを示している。

1991年、事故から5年後のチェルノブイリ30kmの汚染地域において、野ネズミの著しい増加が認められた。このことは、放射線の有害作用に対する修復や適応を表している。しかしながら、これらのメカニズムは、外部被曝と内部被曝をあわせて年間50～120radという慢性的被曝下で調査された大部分の野ネズミにおいて、慢性的放射線病の発現を防止できておらず、なかでも造血系において慢性放射線病が明らかだった。

チェルノブイリ30km圏の野ネズミの80～95%に血液像の部分的な異常が認められ、白血球の減少は、病理的变化を示した野ネズミの70%に認められた。こうした血液像全体の異常は、環境中の害的要因に対する動物の抵抗性に影響するであろう。

注目したいのは、変化の度合いで、白血球の変化は40～60%に認められ、そのうち10～20%は骨髓での好中球減少を主体とする重度の白血球減少症で、リンパ球減少と合併している例もあった。血液像の変化は、白血球の再生だけでなく、骨髓での赤血球や血小板にも認められている。放射線症として観察された血液像の病理は、赤血球における小核増加と言った種類の血液における遺伝学的変化を伴っている。野ネズミの血液系に変化が観察されるものの、原則として、いかなる形態的变化も認められていない。

事故後5年のチェルノブイリ30km圏の野ネズミの血液像に変化はあるものの、観察した野ネズミの50%以上が成熟前の若い野ネズミであったことは、血液像変化が生殖機能を障害していないことを示している。

(2016.7.20 いまなか訳)

ЛИТЕРАТУРА

- Кривоуцкий Д.А. Радиоэкология сообществ наземных животных. М.: Энергоатомиздат, 1983. 86 с.
- Кривоуцкий Д.А. Почвенная фауна в экологическом контроле. М.: Наука, 1994. 269 с.
- Кривоуцкий Д.А., Покаржевский А.Д., Усачев В.Л. и др. Влияние радиоактивного загрязнения среды на почвенную фауну в районе Чернобыльской АЭС // Экология. 1990. № 6. С. 32–42.
- Кривоуцкий Д.А., Тихомиров Ф.А., Федоров Е.А. и др. Действие ионизирующей радиации на биогеоценоз. М.: Наука, 1988. 240 с.
- Пристер Б.С., Шейн Г.П. Метод измерения поглощенных доз в объектах внешней среды термолуминесцентными дозиметрами // Тр. Ин-та прикладной геофизики, 1979. Вып. 38. С. 130–135.
- Пристер Б.С., Шейн Г.П. Блок для измерения высвечивания термолуминесцентных дозиметров // ПТЭ. 1980. № 6. С. 35–36.

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）
低線量放射線の生物影響研究と被災動物線量評価事業
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

◇ 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性

<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

KUR REPORT OF
KYOTO UNIVERSITY RESEARCH
REACTOR INSTITUTE

発行所 京都大学原子炉実験所

発行日 平成 28 年 12 月

住所 大阪府泉南郡熊取町朝代西 2 丁目

TEL (072) 451- 2300