

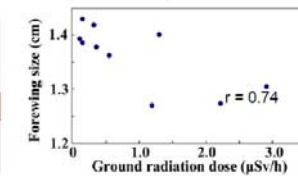
福島第一原発周辺汚染地域での 地表β線量マップの作成

遠藤 暁¹, 梶本 剛¹, 田中憲一¹,
 Nguyen Tat THANH¹, 林 剛平², 今中哲二³
¹広大院工, ²東北大加齢研, ³京大原子炉

2015年8月11日京大炉

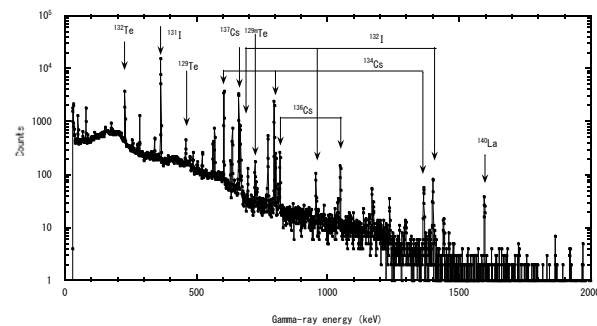
β線被曝

- ・実効線量に効かない
～体表面から数mmオーダーで減衰
- ・皮膚線量のみが問題となる
- ・大瀧等：福島第一原発事故後数カ月後、福島近郊のヤマトシジミに突然変異を検出
- ・体サイズがmm程度の昆虫の場合は、全身被曝に相当
- ・幼虫・蛹の被曝線量の推定のためβ線線量計算を実施



2011.3調査で同定された核種

- ・ ^{129m}Te – ^{129}Te , ^{131}I , ^{132}Te – ^{132}I , ^{134}Cs , ^{136}Cs , ^{137}Cs , ^{99m}Tc , ^{140}La を検出

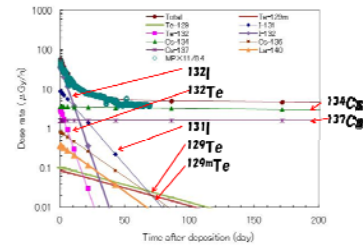


汚染密度

	白石	佐須	山津見神社	村役場	長泥曲田
	contamination (kBq/m ²)				
^{129m}Te	795.4 ± 21.2	794.0 ± 20.0	773.8 ± 14.3	751.8 ± 10.3	2300 ± 27.0
^{129}Te	614.9 ± 12.5	641.9 ± 12.1	477.8 ± 10.6	520.3 ± 5.8	1749 ± 15.8
^{131}I	9935 ± 22.8	9493 ± 17.4	8076 ± 13.2	6490.5 ± 8.0	15074 ± 21.4
^{132}Te	5371 ± 708	5517 ± 357	4231 ± 298	4616.7 ± 197	17225 ± 577
^{132}I	5101 ± 685	5771 ± 315	4316 ± 244	5207.5 ± 197	16291 ± 603
^{134}Cs	907.4 ± 1.4	716.1 ± 1.3	515.0 ± 0.9	597.1 ± 4.7	2161 ± 1.8
^{136}Cs	140.8 ± 2.6	111.5 ± 2.1	83.0 ± 1.4	105.9 ± 1.1	361.7 ± 2.9
^{137}Cs	1047 ± 1.6	839.3 ± 1.5	590.8 ± 1.1	740.9 ± 0.8	2219 ± 2.2
^{140}Ba	46.7 ± 10.5	45.7 ± 7.8	28.8 ± 5.6	43.4 ± 4.6	105.8 ± 12.9
^{140}La	58.7 ± 2.0	68.5 ± 1.7	43.2 ± 1.1	50.9 ± 0.8	131.5 ± 2.0

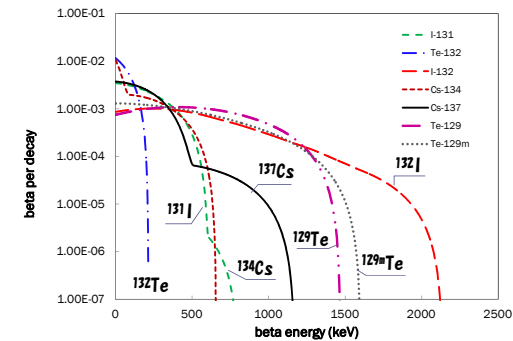
計算に考慮する核種

- 計算に考慮する核種：
 ^{131}I , ^{132}Te , ^{132}I , ^{134}Cs ,
 ^{137}Cs , $^{129,129\text{m}}\text{Te}$
- β 線放出比 ~ 0.9 ,
 $E_\beta \sim 1.6\text{MeV}$
- $^{129,129\text{m}}\text{Te}$: γ 線放出比が
 小さく、 γ 線量には効か
 ないが β 線量には効く
- $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}=0.01$ -
 0.001程度なので無視で
 きる



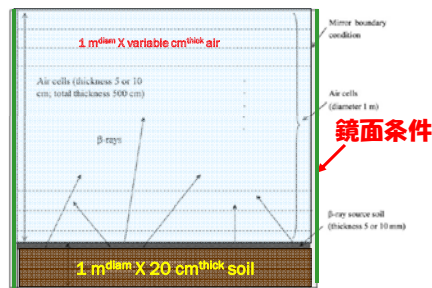
β 線スペクトル

- β 崩壊核種の最大エネルギー、放出比を考慮



MCNP計算：入力幾何形状

- 入力幾何体系：円筒(広島土壌、空気で構成)
- 線源：土壌5および10mmに均一に分布
- 核種： $^{129,129\text{m}}\text{Te}$, ^{131}I , ^{132}Te , ^{132}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs
- 線量：沈着密度 $1\text{MBq}/\text{m}^2$ ($1000\text{kBq}/\text{m}^2$) で計算



線量率の時間変化

Endo et al JRR2014

- 線量率の計算

$$\dot{D}_i^0(h) = \frac{\varepsilon_i(h)}{m(h)} \cdot \alpha_i \quad (i = ^{129\text{m}}\text{Te}, ^{129}\text{Te}, ^{131}\text{I}, ^{132}\text{Te}, ^{132}\text{I}, ^{134}\text{Cs} \text{ and } ^{137}\text{Cs}).$$

$$\dot{D}_i^v(h) = \dot{D}_i^0(h) \cdot r_h \cdot r_c \quad \leftarrow \text{線量率へ換算}$$

	f_i
$^{129\text{m}}\text{Te}$	1
^{131}I	9.2
^{132}I	8.3
^{137}Cs	1

- 1000kBq/m²の ^{137}Cs 沈着に対し
1時間当たりの線量率に変換
- 時間変化

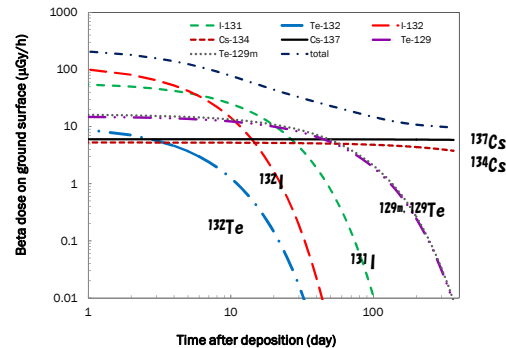
$$\dot{D}_s(t, h) = \sum \dot{D}_i^0(h) \cdot f_i \cdot \exp(-\lambda_i t).$$

- 物理半減期を考慮(環境半減期は無視)

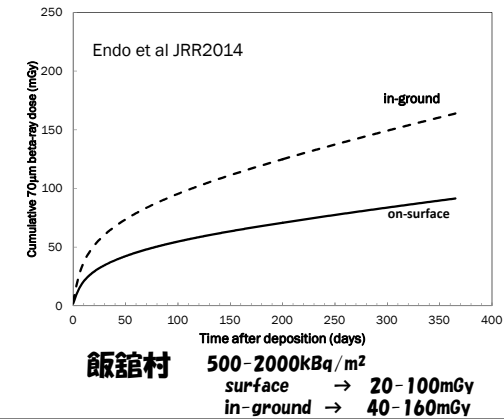
土壌表面線量率の計算結果

Endo et al JRR2014

- β ray dose ($\mu\text{Gy/h}$) on Soil surface



積算線量 (^{137}Cs 1000kBq/ m^2 当たり)



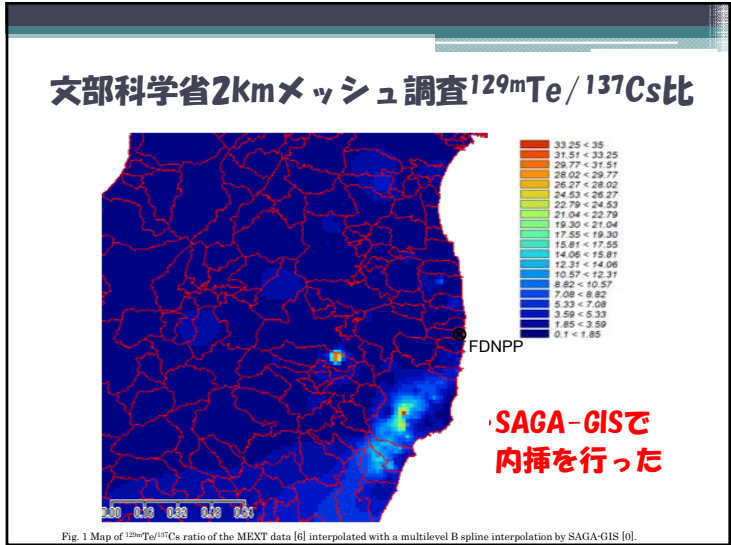
マップの作成

- $^{131}\text{I}/^{137}\text{Cs}$, $^{132}\text{I}/^{137}\text{Cs}$, $^{129\text{m}}\text{Te}/^{137}\text{Cs}$ の比を飯館村の値で固定しているが、実際には場所で違う
- 福島全県にわたる放射能沈着濃度のデータが必要
- MEXT 2km メッシュ調査: 2011年6月開始
- 福島全県中で~2000ヵ所で土壌調査が実施
- ^{131}I が同定されている地点は、~400ヵ所
- このデータを用いて $^{131}\text{I}/^{137}\text{Cs}$, $^{132}\text{I}/^{137}\text{Cs}$, $^{129\text{m}}\text{Te}/^{137}\text{Cs}$ の比を作成

核種の ^{137}Cs に対する比

- 沈着核種の比を文部科学省 2kmメッシュ調査の結果を利用
- $^{131}\text{I}/^{137}\text{Cs}$, $^{129\text{m}}\text{Te}/^{137}\text{Cs}$ の値で線量率に変化
- $^{129\text{m}}\text{Te}/^{137}\text{Cs} \rightarrow r_T$
- $^{131}\text{I}/^{137}\text{Cs} \rightarrow r_I$
- $^{131}\text{I}/^{137}\text{Cs}$, $^{129\text{m}}\text{Te}/^{137}\text{Cs}$ が揃っていないところは内挿値を用いる
→ GIS解析

	飯館村
$^{129\text{m}}\text{Te}$	r_T
^{129}Te	$0.7 \cdot r_T$
^{131}I	r_I
^{132}Te	$8.3 \cdot r_T$
^{132}I	$8.3 \times r_T$
^{137}Cs	1



計算結果抜粋

Location	Longitude	Latitude	^{131}I	^{137}Cs	^{129}mTe	$^{129}\text{mTe}/^{137}\text{Cs}$	$^{129}\text{mTe}/^{137}\text{Cs}$
浪江町南津島	37.55683	140.7897	4.4	2100	-	5.5	1.1
浪江町赤字木七郎	37.59606	140.7541	17	7900	920	5.6	1.1
浪江町益曾根	37.54186	140.8622	2.8	1300	220	5.6	1.1
浪江町鶴平	37.56053	140.8238	19	5700	450	8.7	0.8
浪江町赤字木塩込	37.56683	140.8021	10	2500	-	10.4	1.0
飯館村小宮	37.62881	140.7731	3.2	1300	190	6.4	1.1
飯館村蔵平	37.62539	140.8105	3.7	1400	-	6.9	1.5
飯館村大倉	37.72678	140.8348	0.49	140	29	9.1	1.3
飯館村野手仲	37.63806	140.7982	5.3	1500	-	9.2	1.3
飯館村松坂	37.68981	140.7201	3.6	1000	-	9.4	1.1
飯館村草野	37.71753	140.7633	1.2	300	-	10.4	1.4
飯館村飯種	37.66136	140.6972	1.5	280	-	13.9	1.0
相馬市軒北原	37.84108	140.8961	0.064	52	8.8	3.2	1.1
相馬市大坪前の澤	37.82283	140.8953	0.2	55	11	9.5	1.1
相馬市初野西原	37.82603	140.8707	0.23	27	3.3	22.2	0.9
南相馬市高の倉	37.62867	140.8983	0.77	250	-	8.0	2.4
南相馬市原町	37.62383	140.9612	0.42	100	25	10.9	1.4
南相馬市島崎	37.68547	141.0106	0.15	6.8	-	57.4	1.4
福島市荒井	37.71081	140.3873	0.18	39	-	12.0	1.2
福島市渡利	37.72	140.4994	1.7	400	-	11.1	1.4
福島市大波	37.757083	140.55381	2.9	570	110	13.2	1.4
福島市松川町	37.68006	140.3562	0.41	67	-	15.9	1.2

推定法

- 土壌表面線量率の時間変化

$$\dot{D}(r_I, r_T, t) = \sum_i f_i \cdot \dot{D}_i^0 \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{t}{T_i}}$$

$$D(r_I, r_T) = \int_0^{1\text{year}} \dot{D}(r_I, r_T, t) dt$$

$$D_A = D(r_I, r_T) \cdot A_{137\text{Cs}}$$

計算結果抜粋

$$D_A = D(r_I, r_T) \cdot A_{137\text{Cs}}$$

Location	Longitude	Latitude	^{131}I	^{137}Cs	^{129}mTe	$^{129}\text{mTe}/^{137}\text{Cs}$	$D(r_I, r_T)$ (mSv/y)
浪江町南津島	37.55683	140.7897	4.4	2100	-	5.5	1.1
浪江町赤字木七郎	37.59606	140.7541	17	7900	920	5.6	1.1
浪江町益曾根	37.54186	140.8622	2.8	1300	220	5.6	1.1
浪江町鶴平	37.56053	140.8238	19	5700	450	8.7	0.8
浪江町赤字木塩込	37.56683	140.8021	10	2500	-	10.4	1.0
飯館村小宮	37.62881	140.7731	3.2	1300	190	6.4	1.1
飯館村蔵平	37.62539	140.8105	3.7	1400	-	6.9	1.5
飯館村大倉	37.72678	140.8348	0.49	140	29	9.1	1.3
飯館村野手仲	37.63806	140.7982	5.3	1500	-	9.2	1.3
飯館村松坂	37.68981	140.7201	3.6	1000	-	9.4	1.1
飯館村草野	37.71753	140.7633	1.2	300	-	10.4	1.4
飯館村飯種	37.66136	140.6972	1.5	280	-	13.9	1.0
相馬市軒北原	37.84108	140.8961	0.064	52	8.8	3.2	1.1
相馬市大坪前の澤	37.82283	140.8953	0.2	55	11	9.5	1.1
相馬市初野西原	37.82603	140.8707	0.23	27	3.3	22.2	0.9
南相馬市高の倉	37.62867	140.8983	0.77	250	-	8.0	2.4
南相馬市原町	37.62383	140.9612	0.42	100	25	10.9	1.4
南相馬市島崎	37.68547	141.0106	0.15	6.8	-	57.4	1.4
福島市荒井	37.71081	140.3873	0.18	39	-	12.0	1.2
福島市渡利	37.72	140.4994	1.7	400	-	11.1	1.4
福島市大波	37.757083	140.55381	2.9	570	110	13.2	1.4
福島市松川町	37.68006	140.3562	0.41	67	-	15.9	1.2

事故当初から1年間の積算β線量マップ

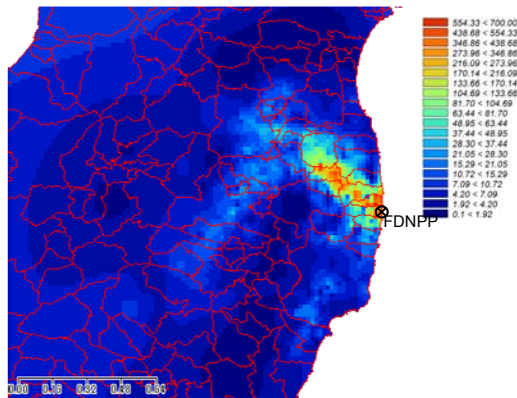


Fig. 4 Map of cumulative β-ray dose on ground surface in the first one year after deposition mSv.

まとめ

- 先に行った沈着放射能に伴う土壌表面β線線量の結果を拡張し、文部科学省の2kmメッシュ調査の測定値と組み合わせることで積算β線量マップを作成した
- 浪江町赤宇木手七郎では、年間の積算β線線量が710mSvと高い値が得られた
- 福島市内では、西部では4-10、東部では20-60mSvと地域ごとに大きな違いがあった。
- いわきでは、 $^{131}\text{I}/^{137}\text{Cs}$ 比が高いものの、 ^{137}Cs 沈着密度が、比較的低いため $69 \pm 39\text{mSv}$ と福島市内東部と同程度であった。