

放射線を正しく理解しよう

- 測定結果をどう考えますか？
- 心配、不安なのは？ がん？、病気？、遺伝？
- 皆さんと一緒に考えてみましょう

東京都立墨東病院診療放射線科
小山 和行

放射線とは、

- 放射線って体に良いの？悪いの？
- 放射線ってなに？
- 種類があるの？
- どこにあるの？
- 自然界？人工的産物？
- どうしてわるさをするの？
- 何が危険なの？
- ヒトの役に立つの？
- 食物、水、空気などに含まれる放射線からの影響は？
- 原子力って？

福島原発事故での放出核種

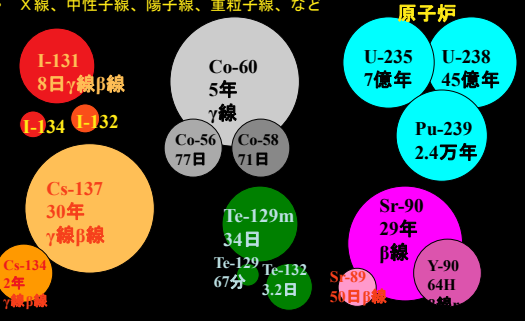
	α線	β線エネルギー (MeV)	γ線エネルギー (MeV)	半減期		α線	β線エネルギー (MeV)	γ線エネルギー (MeV)	半減期
Cs-56			1.238	約77日	Cs-134		0.658	0.605, 0.796	2.065年
Cs-58			0.811	約71日	Ba-137m			0.662	2.551分
Co-60			1.333, 1.173	約5年	Cs-136				約13日
Mo-99	1.215	0.739		約66時間	Cs-137		0.512	0.662, Ba137m	30.17年
Tc-99m		0.141		約6時間	Ba-140	1.003, 1.017		0.537	約13日
Ru106	0.0394			約170日	Ce-144		0.319		284.9日
Ag108m				約18年	La140	1.350, 1.679	1.596, 0.487		約1.7日
Tc-129	1.470			約70分	Sr-90		0.546		29年
Te-129m	1.603			約34日	Y-90		2.280		64時間
Te-132	0.215	0.228		約3日	Pu-238	5.5			87.7日
I-131	0.606	0.364		8日	Pu-239	5.16			2.4x10 ⁴ 年
I-132	2.14, 1.185	0.733		2.3時間	Pu-240	5.17			6.56x10 ³ 年
I-134				約53分					

(注：一部未確定あり)

種別数で発生する放射核種は、Cs-134, Sr-89, Y-90, I-129, I-132, I-133 Pu-238, 239, 240

放射線を出すものってなに？

- 放射性同位元素 (ラジオアイソトープ) : 数多くの種類と反応性生物がある
- X線、中性子線、陽子線、重粒子線、など



体の中の放射線量は？

ヒトの体内の主な放射性物質 (体重60Kgの日本人の場合)

カリウム40	4,000Bq
炭素14	2,500Bq
ルビジウム87	500Bq
鉛210・ポロニウム210	20Bq

(注) 放射性物質の原子核が1秒間に1回崩壊すると1Bqになります。



米 30 食パン 30 魚 100



牛肉 100 ほうれん草 100 干し椎茸 700



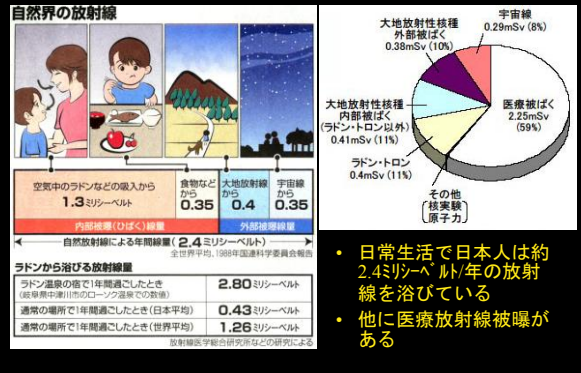
粉ミルク 200 牛乳 50

食物 1Kg中に含まれるK40の放射線量 (日本) Bq/Kg

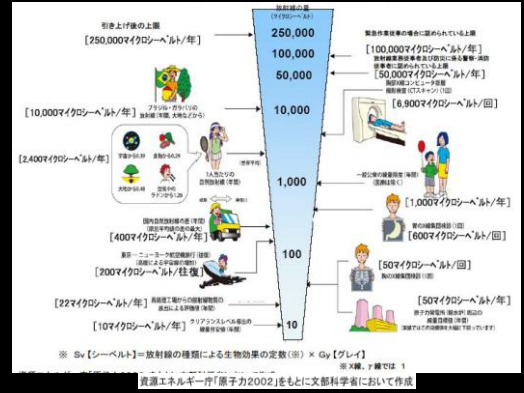
環境科学技術研究所

K40 : 半減期 13億年

自然界の放射線と日常生活での被曝

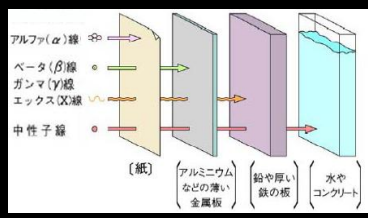


自然・人工放射線



放射線の種類と透過力

- α線---ヘリウムの原子核、β線---電子、γ線---電磁波
- 体外からと体内からとでは 人体(組織)への影響が異なる



放射線の種類	人体への影響(同じ強さの放射線を浴びたとき)	
	体外から浴びる場合	体内から浴びる場合
α線	小	大
β線	小	やや大
γ線	大	小

放射線測定?

- 測定機器は、目的にあったものを使用する



放射線の単位とは?

- レントゲン、キュリー、ベクレル、シーベルト、グレイ: 科学(物理、生物物理)者の名前
- ベクレル: 物質が放射能を出す能力(何個であるか)
- シーベルト: 放射能はα線、β線、γ線、中性子線などの種類や皮膚・眼・臓器などにより受ける影響に差が出るのでどのくらい影響が出るのかを計算するときにそれぞれの放射線の実効線量係数をかけて影響を計算する
 - 等価線量と実効線量
 - 預託実効線量(1日の線量から年間の線量を推測)
- グレイ: 物質での吸収線量 1 Gy = 1 J/kg 放射線治療で使用している

体内の放射性物質はなくなるの?

- ヨウ素131は甲状腺に集まる。残りは尿から排泄。約3日間で体内残存は摂取量の10%以下になる。甲状腺蓄積の生物学的半減期は約80日。物理学的半減期は8日。甲状腺では速やかに減少し、蓄積することはない。
- セシウム-137は物理学的半減期は30年。生物学的半減期約70日。長く蓄積はしない。

- 1回のみであれば減っていく
- 繰り返せばなくなるまでの日数がかかる

Cs 134 : 2y β 658keV γ 605, 796KeV
Cs 137: 30y β 514keV γ 662KeV

半減期: 体内(生物学的半減期)

- 体内に取り込まれた(摂取、吸入、など)放射性同位元素が体の外に出て行くまでの時間
- 実際に体(臓器)に対する被曝の計算に使用する

放射性ヨウ素 131	生物学的半減期	物理学的半減期	
		生物学的半減期	物理学的半減期
放射性ヨウ素 131	乳児	11日	8日
	5歳児	23日	
	成人	80日	
放射性セシウム 137	0~1歳児	9日	30年
	2~9歳児	38日	
	10~30歳	70日	
	31~50歳	90日	

(食品安全委員会)

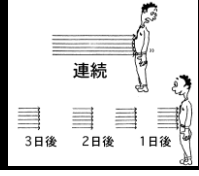
被曝を考える

- 被曝：急性→慢性被曝、全身被曝→局所（部分）被曝、連続被曝→分割被曝
- 障害と回復

部分被曝と全身被曝



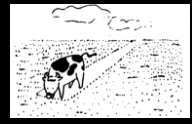
生ずる障害は被曝の仕方により異なる



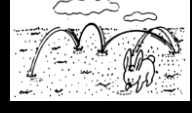
被曝を考える：障害

- 放射線の種類、線質により、体や臓器に対する影響が異なる
- α線は体の表面で止まり、β線は浅い部位で止まり、γ線、中性子線は突き抜ける
- 体の中の臓器により受ける影響が異なる（感受性の違い）

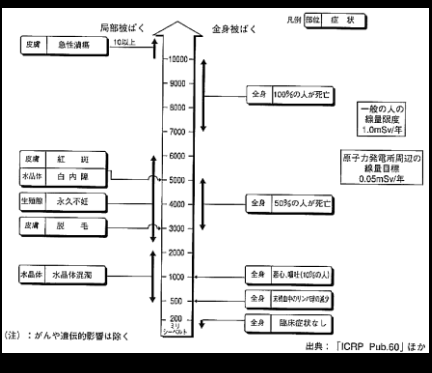
α線は直進する
α線の飛程は0.05mm (5 MeV)



β線は方向を変えながら進む



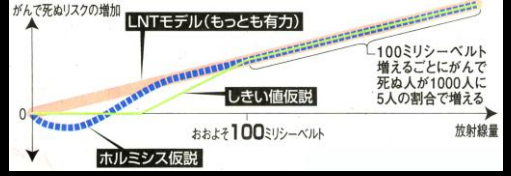
急性被曝：局所、全身



- 局所被曝と全身被曝では被曝線量による症状の起こり方が異なる
- 1回での被曝と少量ずつの被曝では症状の起こり方が異なる

放射線による人体への影響

- LNTモデル — 影響は直線的に起こる
- しきい値仮説 — 影響は一定以上になって起こる
- ホルミシス仮説 — 低線量被曝は体に良い



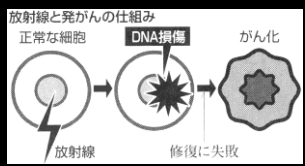
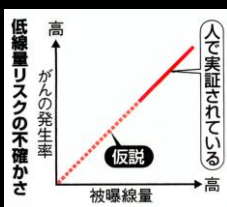
—疫学では決着がつかない
—がんになるリスク係数

・100ミリシーベルト以下	1000人中	5.7人
・10ミリシーベルト	10,000人中	5.7人
・1ミリシーベルト	100,000人中	5.7人

国際放射線防護委員会 (ICRP)

低線量リスクは？ 高線量は？

- がんの放射線治療は高線量率 (20Gy~70Gy)
- 一定以上の放射線量でないとがん治療の効果が得られない
- がん治療では正常細胞の回復を期待しておこなう



・がん治療での放射線、抗癌剤は細胞分裂を阻害する

ラドン・ラジウム 温泉では？

- ウラン238壊変系列、トリウム232壊変系列
- 親核種があるかぎり、放射線は出続ける
- 主にα線、β線が出続ける
- 変わる途中を含めるとα線、β線、γ線が出続ける
- 療養泉（医療効果あり）：ラドン113ベクレル/水kg以上含有
- 放射線防護：飲用水中の濃度規定—WHO：258.9Bq/L (18.9マッヘ)以下
- 飲用：2740~10960Bq/L (200~800マッヘ)
- 吸入：68500~109600Bq/m3 (5~8マッヘ)
- 効能：科学的根拠に乏しい：高濃度吸入被曝—染色体異常や肺がんの増加はない（三朝温泉での疫学調査）

α線：吸入

- 肺障害？
- 白血病？
- がん死？

玉川温泉 浴室	0.30~0.50マイクローシーベルト
〃 岩盤温泉	1.0~15.0マイクローシーベルト
村衫温泉 中心部	0.20~0.50マイクローシーベルト
東京都（環境）	0.134マイクローシーベルト
墨田区（1cm）	0.05~0.24マイクローシーベルト

ラドン・ラジウム温泉の中の放射線量は？

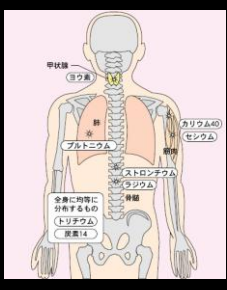
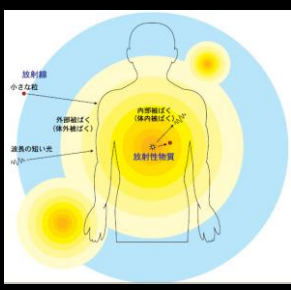
- ・ 三朝温泉176マッペ (2412ベクレル/リットル——おおよそ年実効線量30ミリシーベルト)
- ・ 染色体異常：三朝温泉住民調査で放射線被曝特有の環状染色体の異常なし (逆に周辺住民より減少)、癌死亡率は周辺住民のがん死亡率より低い ——周辺 0.8、全国平均1.0、三朝地区 男0.54、女0.46 (ホルミシス効果??)
- ・ 海外：イタリアLacco Ameno 37222Bq/L、ギリシャTherma 10138Bq/L、ドイツBrambach 30262Bq/L、オーストリアBadgastein 4400Bq/L、など。(チェコ、オーストリア、フランス)
- ・ ウラン鉱山：高濃度ラドンの吸入で肺がんの発生率増加



ホルミシス (刺激する) 効果：<もっとも理想的な環境は自然放射線の100倍である>
 年100mSv (自然放射線量を 1 mSvと設定)
 100mSv——11.4 μSv/時間 (274 μSv /日)

内部被曝とは？

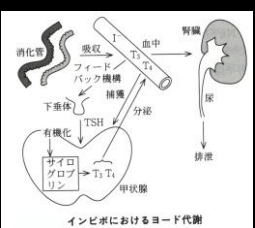
- ・ 体内に入って障害を起こす可能性があるもの
 - α線、β線を放出する放射性同位元素 (ラジオアイソトープ)
 - ある臓器に集積 (蓄積) しやすいものが重要



内部被曝---甲状腺とは

- ・ 血中のヨウ素 (無機ヨード) を取り込み、甲状腺ホルモン (トリヨードサイロニンT3、サイロキシンT4) を合成する
- ・ 残りのヨウ素は腎臓から排泄される

- ・ 通常血中ヨウ素は食物から摂取される
 - ・ 海藻類：海苔、わかめ、こんぶ、ひじき、など
 - ・ インスタントラーメン
 - ・ 鰯 (こんぶでだしをとったもの)
 - ・ 他：野菜、魚の一部



核医学でおこなう甲状腺の検査の場合には、検査前2週間はこれらの食べ物を取らないようにしてから検査をおこないます

甲状腺ヨード摂取検査への影響

- ・ 日本人の場合、日常的に ヨウ素 の摂取がある
- ・ 甲状腺の検査には約1~2週間 ヨウ素摂取 を止めないと正しく検査できない
- ・ 海藻類 (のり、こんぶ、わかめ、ひじき、かんてん、だしの素など)
 - 1週間以上
- ・ ヨウ素剤 (ルゴール、ヨーチン、総合ビタミン剤、去痰剤など)
 - 2週間以上
- ・ 薬剤 (甲状腺剤、抗甲状腺剤、X線造影剤など)
 - 1~4週間

日本人でのヨウ素131による甲状腺の内部被曝をどう考えるかが問題

原子力事故と被曝 (ヨウ素)

- ・ 放出される放射性物質は、使用している原子炉により異なる。
- ・ 今回、報道されている放射性物質は セシウム-137・134、ヨウ素-131、132など。
- ・ 体内蓄積で問題となるのは、内部被曝である甲状腺への集積。
- ・ 甲状腺のホルモン合成系に取り込まれる。
- ・ 成長期以下での影響が大きい。

日本人でのヨウ素131による甲状腺の内部被曝をどう考えるかが問題

都内の放射線量測定値

- ・ 3月15日0時~7時12分までに採取した大気浮遊物 (都産業技術センター)

- ヨウ素131	10.8 Bq/cm3	
- ヨウ素132	8.5 Bq/cm3	核反応生成物測定
- セシウム137	1.8 Bq/cm3	ヨウ素131、132
- セシウム134	1.9 Bq/cm3	セシウム137、134

水、食物の放射線量：基準値との比較

3月23日 金町浄水場 210 Bq/L



- 水 Bq/L (ヨウ素)
 - 大人 300
 - 乳幼児 100
- 野菜 Bq/kg
 - I-131 2000
 - Cs 500
- 甲状腺 50mSv/年
- 放射線量は、飛散、天候(風向き、雨、など)で変化する

品目	場所	放射性ヨウ素	放射性セシウム
ホウレンソウ	田村市	19000	40000
ブロッコリー	飯館村	17000	13900
キャベツ	南相馬市	5200	2600
小松菜	鮫川村	5900	3400
アブラナ	玉川村	8200	8900
蓬立菜	本宮市	15000	82000
信夫冬菜	川俣町	22000	28000
山東菜	西郷村	4900	24000

甲状腺へのヨウ素131の取り込みの問題点

チェルノブイリ 汚染された牛乳
6,000人以上の小児に甲状腺癌
15人死亡(2005年まで)

食品に対する放射線の暫定基準値(Bq/Kg)

放射性ヨウ素	飲料水・牛乳・乳製品	300
	乳児用粉ミルク	100
	野菜類(根菜・芋類を除く)	2000
魚介類・その他		
放射性セシウム	飲料水・牛乳・乳製品	200
	野菜類・穀類	500
	肉・卵・魚・その他	
ウラン	乳幼児用食品、飲料水、牛乳・乳製品	20
	野菜類、穀類、肉・卵・魚その他	100
プルトニウムおよび超ウラン元素のアルファ線核種	乳幼児用食品、飲料水、牛乳・乳製品	1
	野菜類、穀類、肉・卵・魚その他	10

(農水省まとめ)より抜粋

- 400Bq/cm²=100,000cpm=212mSv(皮膚線量) : ヨウ素-131換算²⁶

東京ではどのくらい被曝するの?

- 時間あたり **0.23マイクロベクトル** (自然界の放射線量0.05μSv/hを含む)とする
- 1年で 0.2μSv/h × 8760hr = 1752μSv (**1.752ミリベクトル**)
- 東京で普通のとくに受ける自然界の放射線量は 0.05μSv/h
- 0.05μSv/h × 8760hr = 438μSv/年 (**0.438ミリベクトル**)
- 余分に受けた線量は 1.752 - 0.438 = 1.314ミリベクトル
- 屋内にいた時間(被曝線量が減ると考えると)、屋内の線量は屋外の4割とすると
- 8時間外出として 1.314 × 8/24h + 1.314 × 0.4 × 16/24 = **0.788ミリベクトル**

自然界から	0.438ミリベクトル
余分に受ける	0.788ミリベクトル
屋内で回避	0.5256ミリベクトル

こどもの基準値は?

- 母乳中セシウム: 13Bq/リットル → 飲料水の基準値200Bq/L
- 発がん: 原爆調査では子供は大人の2~3倍、100ミリベクトル以下ではがんの増加は認められていない。リスクはある? (証明されていない)
- 学校(児童・生徒)の被曝線量の基準は?
 - 1~20ミリベクトル/年間
 - 屋外活動制限→3.8マイクロベクトル/時 (1年間毎日8時間校庭に立ち、残りを木造家屋で過ごす)年間20ミリベクトル
 - 年間1ミリベクトルでは0.19マイクロベクトル/時 (+自然界の放射線量0.05マイクロベクトル/時の合計約0.25マイクロベクトル/時と計算)
 - 野田市の基準: 年間1ミリベクトル、毎時0.19マイクロベクトル

環境対策(線量の高い地域での方法)

- できるだけ周囲の放射線量を減らすのが有効→植栽、植え込み、アスファルトの表面を削る

預託実効線量 H(mSv)の計算例(成人)

- 預託実効線量H(mSv) = 1日の摂取量 × 365 × 放射性濃度 × 実効線量係数 × f1 × f2
- 例
 - 1日の摂取量: 1日で飲んだ放射性物質が溶け込んだ水道水の量 [kg/日]
 - 飲料水 1.2リットル
 - 食物水分 0.6リットル
 - 燃焼水 0.2リットル
 - 合計 2.0リットル
 - 1.2リットル × 365 × 211 (放射性濃度) × 実効線量係数 = 1.2 × 365 × 211 × 0.000022 = 2.03 H(mSv)

ヨウ素131	211Bq/kg	実効線量係数	0.00022mSv/Bq
セシウム137		実効線量係数	0.00013mSv/Bq

f1 f2は 1 で計算

実効線量係数 (マイクロベクトル/ベクトル)

	ヨウ素-131	セシウム-137	セシウム-134
乳児	0.180	0.0210	0.026
幼児(1歳)	0.180	0.0120	0.016
子供(2~7歳)	0.100	0.0096	0.013
成人	0.022	0.0130	0.019

(ICRP(1996) Pub72)
(放射線医学総合研究所)

注: ICRP(1996) Pub72、原子力安全委員会、ECRR2010Recommendationsなどの報告により、数値が異なる

乳児における飲水の放射線摂取量（例）

- 乳児における実効線量係数（マイクローベール/ベクレル；μSv/Bq）
 - ヨウ素131 0.18
 - セシウム137 0.021、セシウム134 0.026
- (例) 年間1ミリシーベルト（1000マイクローベール）とすると、
 - 飲水1リットル中にヨウ素131が100Bq/Lを飲み続けるとすると
 - 1mSv=一日摂取量(リットル)×365日×放射性濃度(Bq/kg)×実効線量係数×1x12 (f1、f2は1で計算)
 - 1mSv=一日摂取量(リットル)×365日×100(Bq/kg)×0.18×1x1
 - 一日摂取量(リットル)は0.152リットルに相当
 - 20日間、同じ濃さで飲み続けるとすると、最初の7日間は1日当たり27.7リットル、8-15日は55.4リットル、16-20日は110.8リットル（半減期を8日ごとに半分になるとしてざっくりと計算）
- セシウム137では1年間飲み続けたとすると、1日1.3リットル
 - セシウム137とセシウム134が同量含まれるとすると、0.65リットル
 - セシウム137の半減期は30年、セシウム134の半減期は2年
- 学童以上は大人として計算；上記の約1.6倍の計算値となる
- これらの計算は、1年間同じ量の放射線で汚染され続けているとして算出
- 実際には、汚染されていない・汚染の少ない水で希釈される

区内の放射線量測定値

- 6月25日墨田区内公園
 - 地表100cm 0.09~0.20μSv/h
 - 1日2時間、365日遊ぶとして 65.7~146μSv/年
- 7月1日砂場
 - セシウム134 46~100Bq/kg
 - セシウム137 46~110Bq/kg
 - 2歳から7歳の子供が、上記最大のCs 134 100Bq/kg、Cs137 110Bq/kgの砂を1ヶ月間、毎日1グラム取ったとすると
 - 合計で 0.07068μSv/月 0.848μSv/年
- 屋外活動制限--3.8マイクローベール/時（1年間毎日8時間校庭に立ち、残りを木造家屋で過ごす）と年間20ミリシーベルト
 - 年間1ミリシーベルトでは 0.19マイクローベール/時+自然界の放射線量0.05マイクローベール/時の合計で算定
 - 野田市の基準：年間1ミリシーベルト、毎時0.19マイクローベール

放射線は微量でも健康被害がある？

- 日本人のがん死（2009年） 3,013.6人/人口1万人あたり
 - 10ミリシーベルト被曝で 5.7人増え 3,019.2人/1万人
- 日本人の平均余命（2009年） 全員10ミリシーベルト被曝で平均余命の伸びが2.6日縮まる（2005年に比し、男1.03年、女0.92年の伸び）
 - 喫煙による損失余命は数年から数十年。
 - 喫煙による肺がんで 370日、受動喫煙で120日の短縮
- ヨウ素131を1ベクレル摂取すると乳児（3ヶ月齢）で 1.8x10⁻⁴ミリシーベルト、幼児（5歳）で1.0x10⁻⁴ミリシーベルト、大人（20歳）で2.2x10⁻⁵ミリシーベルト
- 水、牛乳、葉物野菜を基準値の放射線量を摂取すると 533Bq
 - 1週間摂取で3731Bq、被曝は3731x1.8x10⁻⁴=0.67ミリシーベルト
 - 発ガンリスクは 0.67x5.7x10⁻⁵= 3.8x10⁻⁵
 - 損失余命は 3.8x10⁻⁵x110000=4.2時間

岡敏弘（福井県大経済学部）

放射能汚染は除去できる？

- 水中のヨウ素131、セシウム137は
 - 市販のポット型浄水器で放射性ヨウ素は70~98%除去
 - 市販のポット型浄水器で放射性セシウムは84~93%除去
 - 電気ポットによるカルキ抜きではヨウ素の除去はできない
- 野菜に付着した放射性物質は
 - 水洗浄で、ばらつきがあるが、ヨウ素12~50%、セシウム137 32~70%
 - 熱湯、超音波での除染効果を上げるのは難しい
 - 泥水によるシャワー洗浄は除染効果の向上が期待
 - 化学的洗浄（酸、アルカリ、塩、アルコール等）による除染効果の向上なし
 - 食用洗剤：水洗浄と差がなかった
 - 食品中に使用される還元剤は除染効果がある
 - 空気中からの付着
 - 放射能は葉の表面
 - キズ、枯れた部分、汚染土壌での栽培では除染が難しくなる可能性が高い

日本放射線安全管理学会

放射線から身を守る方法とは？

- 通学路の検討・除染
 - 貯まりやすい場所、集まりやすい場所--側溝、雑草の根元などを調べ、通学路から避ける。
 - 線量の高い地点の除染も有効
- 手洗い・洗顔・シャワー・うがい
 - 空間線量が高い地域では、家に帰ったら、外出を終えたら、実施して除染。うがいも有効。
 - 靴の泥や付いた汚れを落として、家に持ち込まない
- ×窓を閉める・子供に長袖を着せる
 - 大気中にはもう、ほとんど飛んでいないので、効果はない

（記事から一部改変）

放射線を浴びた場合と日常生活によるがんのリスク

（国立がん研究センター調べ）

要因	対象	比較対象	がんになるリスクの増え方（倍）
喫煙（男）	現在の喫煙者	非喫煙者	1.6
原爆被曝*	1,000mSv	被曝なし	1.5
大量飲酒（男）	エタノール換算で週300~449g	ときどき飲む	1.4
やせ（男）	BMI 14.0~18.9	BMI23.0~24.9	1.29
肥満（男）	BMI 30.0~39.9	BMI23.0~24.9	1.22
運動不足	1日のMETs時が男25.45、女26.10	1日のMETs時が男42.65、女42.65	1.15~1.19
高塩分食品	干物等で1日43g、たらこ等で4.7g	干物等で1日0.5g、たらこ等で0g	1.11~1.15
野菜不足	1日摂取量が110g	1日摂取量が4210g	1.06
原爆被曝*	100mSv	被曝なし	1.05
受動喫煙	夫が喫煙者	夫が非喫煙者	1.02~1.03

（100mSvでがん死者が0.5%増加するとの値とは割合が異なり、直線比較できない）
原爆被曝*は広島、長崎の被爆者追跡調査からのデータ

エサわらから高濃度セシウム

- 福島原発から60km以上離れた農家の出荷した牛肉から
 - 牛肉 1 kgから放射性セシウム 約3,000Bq検出
 - 100g当たり 約300Bq
- エサわら
 - 22,045Bq/kg(17,000Bq/kg)が検出
- 食物の基準値は、肉 500Bq/kg、乳製品 200Bq/kg、
(ヨウ素なら乳製品300Bq/kg)
- さて、皆さんはどうお考えですか？
- 参考
 - エサわらに基準値は？
 - 環境測定は？
 - 毎日 1 k g 食べる？

37

まとめ

- 放射線は、身近な、体・食べ物・温泉・などから、さまざまところにあるし、使われている。
- 有効利用と欠点（障害）を十分考えることが重要。
- 障害を考えると、＜絶対にそうなる＞というものではなく、被曝量を考えることが重要。
- 放射線のお話は、守備範囲がく広すぎるため、かなりの時間をかけないと、話す方も大変です。
- 福島の方々は、従事している方、関連なく影響を受けてしまった方、など多くの方々が一日でも早く通常の生活に戻れることを願います。