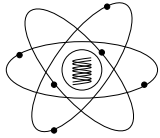


放射線生物学研究者からみた
東日本大震災
～本当に怖い放射線と
本当は怖くない放射線



東京工業大学
原子炉工学研究所

松本 義久

平成23年4月21日 筑波大学

「放射線」という言葉のイメージ

(日本原子力文化振興財団の調査結果から)

- 危険
- 目に見えない
- 体に悪い
- 怖い



「忍び寄る恐怖」

どうしてそんなイメージが？

広島・長崎
チェルノブイリ
JCO
福島第一原発

今、私達は2つの放射線と向き合っている。
それは、「本当にこわい放射線」と
「本当はこわくない放射線」である。

(中略)

「本当はこわくない放射線」を怖れるあまり、
大きなものを失っていることを
今回目の当たりにしてきた。

(平成23年3月23日放映 テレビ朝日「学べるニュース」)

放射能と放射線に関する単位

1. 放射能 ベクレル(Bq)

• 単位時間あたりの放射性同位元素の壊変数

• $1 \text{ Bq} = 1 \text{ s}^{-1}$ (毎秒1崩壊)

つまり、放射性物質が1秒間に何個の放射線を出すか
エネルギーは考慮しない

* キュリー(Ci)・・・旧単位

• 単体ラジウム1gの放射能

• $1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$ ($1 \text{ mCi} = 37 \text{ MBq}$)

2. 吸収線量 グレイ(Gy)

・単位質量あたりに与えられるエネルギー

・1 Gy = 1 [J/kg]

つまり、物質や人体がどれだけのエネルギーを吸収するか

3. 等価線量:シーベルト(Sv)

・放射線防護の分野で用いられる。放射線の種類による「生物効果の大きさのちがいを」考慮

・等価線量=吸収線量×放射線荷重係数

*次元はGyと同じ

*純粋な物理量ではない

つまり、その放射線を浴びるとどれだけの影響が現れるかを空間的な場所や体の部位(臓器・組織)に対して表す

吸収線量(Gy)と等価線量(Sv)

・ 1ドル = 85円

・ 1ユーロ = 120円

・ 1元 = 13円

放射線荷重係数は放射線の「為替レート」

吸収線量(Gy)と等価線量(Sv)

X線・ガンマ線 1Gy 1Sv

中性子線 1Gy 5-20Sv

アルファ線 1Gy 20Sv

4. 実効線量 シーベルト(Sv)

・放射線防護の分野で用いられる。組織ごとの「影響の受けやすさ」を考慮

・実効線量=Σ組織等価線量×組織荷重係数
Σは全組織についての和

つまり、個人のリスクはどれくらいと見積もられるか

実効線量は、「全財産」

組織加重係数(ICRP Pub.103, 2007)

組織	組織加重係数	組織	組織加重係数
骨髄(赤色)	0.12	肝臓	0.04
結腸	0.12	甲状腺	0.04
肺	0.12	骨表面	0.01
胃	0.12	脳	0.01
乳房	0.12	唾液腺	0.01
生殖腺	0.08	皮膚	0.01
膀胱	0.04	残りの組織	0.12
食道	0.04	合計	1.00

放射線の人体に対する影響

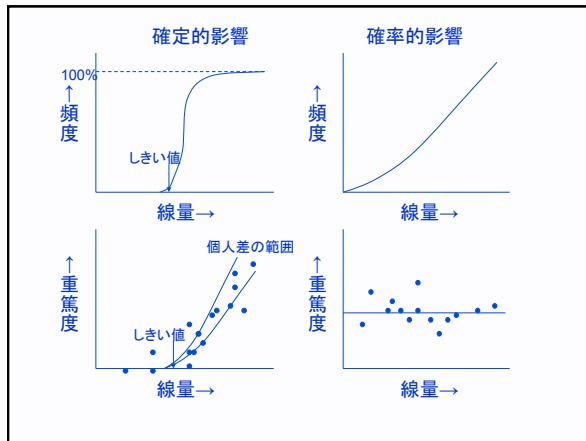
確定的影響と確率的影響

確定的影響

一定量以上の線量を被ばくしたときのみ現れる影響(しきい値線量がある影響)。
発がんと**遺伝的影響**以外の全て。

確率的影響 → 発がん、遺伝的影響

どんなに少ない線量でも起こり得る、また、被ばく線量に応じて発生頻度が増加すると考えられている影響(しきい値がないと仮定されている影響)。



放射線全身被ばくによる急性影響

線量	症状
0.25Gy	臨床的症状なし
0.5Gy	リンパ球の減少
1.5Gy	放射線宿酔
4Gy	1~2ヶ月以内に死亡*(骨髄死)(ヒトの半数致死線量)
7Gy	ヒトの100%致死線量*
15Gy程度	2週間以内に100%死亡(腸死)
50Gy以上	1~2日で100%死亡(中枢神経死)

*骨髄移植、無菌治療などを行わない場合

さまざまな放射線影響のしきい値

1) 不妊

男性: 一時不妊 0.15Gy、永久不妊 3.5~6Gy
 女性: 一時不妊 0.65~1.5Gy、永久不妊 2.5~6Gy

2) 胎児への影響

着床前(受精後8日まで): 胚死亡 0.1Gy
 器官形成期(受精後8日~8週): 奇形 0.1Gy
 胎児期(受精後8週~出生): 発育遅延 0.5~1Gy
 精神遅滞 0.2Gy

3) 皮膚: 脱毛、紅斑 3Gy

4) 水晶体: 白内障 2Gy

組織・臓器によって放射線感受性は異なる

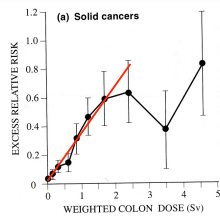
高感受性	骨髄, リンパ組織 (脾臓、胸腺、リンパ節) 生殖腺 (精巣、卵巣) 消化管
↑	
↓	皮膚, 毛のう, 水晶体 実質臓器, 腺組織 (肺, 肝臓, 腎臓, 膵臓, 甲状腺)
低感受性	筋肉, 骨, 結合組織, 脂肪組織 神経

概して、細胞の増殖が盛んな組織は放射線感受性 (Bergonie-Tribondeauの法則)

放射線被ばく線量と発がんの関係

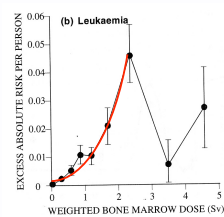
原爆被爆者の調査結果

(1) 固形腫瘍



・100mSvから有意な増加

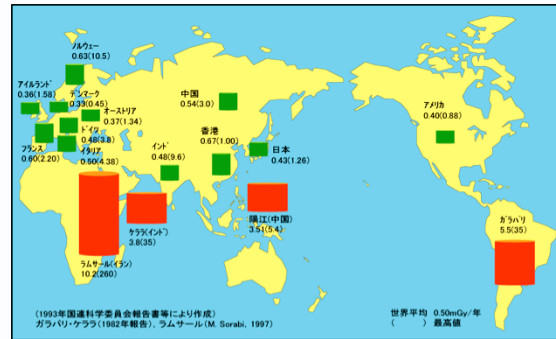
(2) 白血病



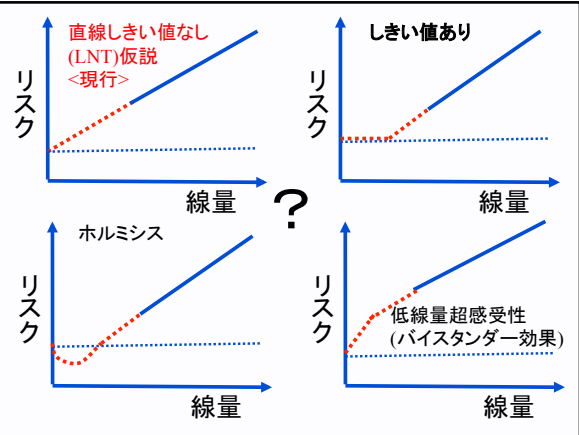
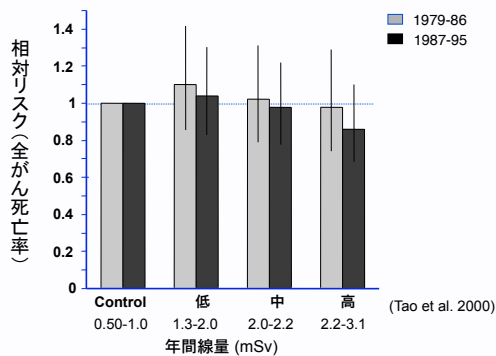
・200mSvから有意な増加

UNSCEAR 2000より

世界の各地の大地から受ける年間自然放射線量



中国高自然放射線地域におけるがん死亡リスク



放射線被ばく線量と発がんの関係

・原爆被爆者のデータから100mSv以上では線量とともにがんが増加することは確か

・それ以下の線量では、統計的に有意な増加が確認できない

・一方で、ある一定線量以下では、がんが増加しないというコンセンサスも得られていない
あったとしても、現時点では決定できない

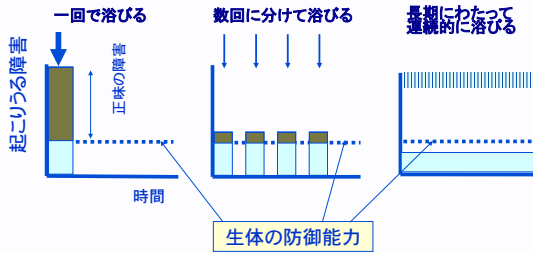
↓
防護上は、「厳しい」直線しきい値なし仮説を採用

同じ線量でも浴び方によって影響は異なる

一気に被ばくすると影響が大きい

分割した場合、長期にわたって少しずつ連続的に浴びた場合は、影響が小さい

なぜ？ 一生体防御能力



野球の試合で10本のヒット(いずれもシングルヒット)を打たれたら、何点取られる？

ケース1：1イニングで10本打たれる。
→7点取られる。

ケース2：2イニングで5本ずつ打たれる。
→4点取られる。

ケース3：1回から8回まで1本ずつ、
9回は2本打たれる。
→1点も取られない！

(3/26 産経新聞に掲載)

放射線の生物効果とエネルギー

ヒトの半数致死線量→4Gy

[Gy]=[J/kg]なので、
体重60kgのヒトであれば240J

熱エネルギーとしては
 $240 \times 0.24 \div 60000 \approx 0.001(^{\circ}\text{C})$
の体温上昇

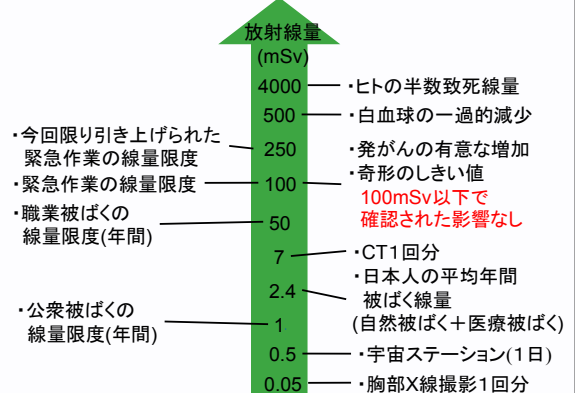
知っておいて損はない放射線の量(1)

法令で定められた線量限度

- ・職業被ばく: 100mSv/5年、年間50mSv
緊急作業の場合: 100mSv
今回の緊急事態に限り250mSvに引き上げ
- ・公衆被ばく: 年間 1mSv
- ・医療被ばく: 限度なし なぜでしょう？

知っておいて損はない放射線の量(2)

- ・日本人の平均被ばく線量: 2.4mSv/年
(自然放射線1.4mSv+医療被ばく1mSv)
- ・飛行機搭乗時の被ばく: 0.19mSv
(東京-ニューヨーク1往復)
- ・宇宙飛行士の被ばく: 0.5mSv/日
宇宙ステーションに1年滞在したら180mSv
一時不妊やがんにならないの？
cf.)男性一時不妊のしきい値線量は150mSv



福島第一原発と放射線

1. 3/15に東京都で最高0.8μSv/hを観測

通常は0.03~0.05μSv/h、10倍以上に増加
健康への影響は？

この線量率が1年続いたとすると、
年間被ばく線量は、

$0.8 \times 24 \times 365 = 7,000(\mu\text{Sv})$ 、すなわち7mSv

これでも100mSvには遠く及ばない。
しかも一時的なものであり、影響は心配ない。

2. 緊急作業の線量限度引き上げ

職業被ばくの線量限度

5年間で100mSv、年間最大50mSv

緊急作業に当たる場合の線量限度：100mSv



今回の緊急事態に限り、250mSvに

男性の一時的不妊のしきい値：150mSv

→回復可能、生体防御機構アポトーシス

奇形のしきい値：100mSv(受精後8日~8週)

→妊娠可能女性に従事させなければ防げる
がん：1.25%増加(仮定) →挽回、逆転可能

3. 食物、水から暫定規制値を超える放射能

「暫定規制値」とは？

従来の食品衛生法には放射能を含む食品に
対する規制なし。今回、以前からあった原子力
安全委員会の指針を取り入れた。

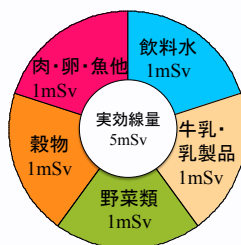
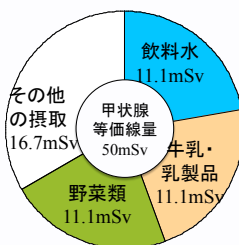
基準：

1年間その放射能を含む食物(あるいは水)を
摂取したとき、被ばくする放射線量が5mSv以下
ただし、ヨウ素の場合、甲状腺における等価線
量が50mSv以下

暫定規制値の決め方

ヨウ素の場合

セシウム・ウランの場合



各品目について、国民の一般的な摂取量に基づき、上記の値以下となる放射能濃度を算出

暫定規制値(単位: Bq/kg)

カテゴリー	ヨウ素	セシウム	ウラン
飲料水	300	200	20
牛乳・乳製品	300	200	20
野菜類	2000 ^a	500	100
穀類	-	500	100
肉・卵・魚他	- ^b	500	100

^a 根菜・芋類を除く

^b 4/5に魚に対して2000Bq/kgと制定

4. 3/23に東京・金町浄水場で放射能検出

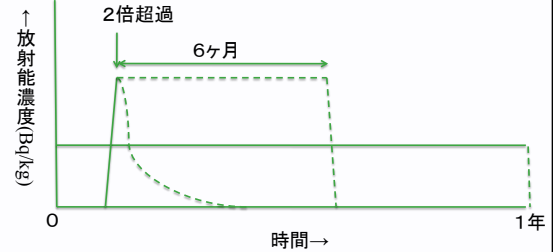
210Bq/kg: 乳児の飲用に関する暫定的な指標値100Bq/kgを2倍上回る

↓
東京都
「乳児の摂取控えて。
ただし、他になければ飲んでもよい」

↓
・水パニック
・乳幼児の脱水症状 などの恐れ

暫定規制値に対する正しい対応とは？

「今は高いが、一時的なもの。経過は見守るが、当面は必要な水分を取らせること」



被ばく線量は「面積」!

5. 「ほうれん草300年分」の真実

1kgあたり15,020Bqのほうれん草を摂取した場合の被ばく線量

$$15020 \times 2.2 \times 10^{-5} = 0.33\text{mSv}$$

($2.2 \times 10^{-5}\text{mSv/Bq}$ を実効線量係数という)

年間摂取量 平均 6.6kg
我が家は野菜が好きだと言う思いを込めて10kg
洗えば1/10に落ちるとして、年間

$$0.33 \times 10 \times (1/10) = 0.33\text{mSv}$$

100mSvに到達するのは
 $100 / 0.33 = 300(\text{年})$

本当の答え



理由：一瞬にして被ばくするわけではない
・食物摂取による内部被ばくは「ゆっくりと」起こる
・一気に10kg食べるわけではない
→線量率効果が現れる

実際に、1年間に日本人より3.3mSv多く浴びても健康に生活している人が世界にはたくさんいる

今後の課題

- ・高汚染・高被ばく地域住民の健康管理と精神面でのケア
- ・福島第一原発での緊急作業従事者の健康管理
→確率的影響は挽回、逆転可能範囲
- ・冷温停止後の避難、屋内退避解除
- ・土壌、河川、海洋の放射能分布状態の把握と農林水産業の立て直し

放射線の生物影響の 細胞・分子生物学的基礎

放射線の生物効果の特徴

- 1) わずかなエネルギーで大きな影響を与える
- 2) 増殖が盛んな組織・細胞ほど、
また、将来予定される分裂回数が多い
組織・細胞ほど放射線感受性が高い



極めて特異なエネルギーの使い方により、
細胞の増殖能力に著しい影響を与える

放射線の生物影響の標的

DNA

?

DNAが放射線の特別な標的となる理由 (1)生命の「設計図」

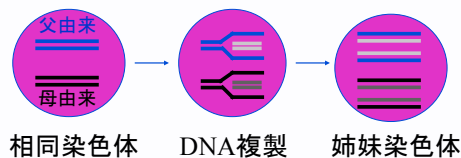
DNAは細胞の構造や機能を司るタンパク質やRNAの構造(アミノ酸、ヌクレオチドの配列)を指定する。



タンパク質やRNAは壊れても、設計図から新しく
作ることができる
しかし、設計図が失われては、タンパク質やRNA
を作ることができなくなる

DNAが放射線の特別な標的となる理由 (2)「ただ一つ」の存在

放射線はDNA以外の分子(RNA、タンパク質、
脂質、水etc.)でも化学結合の切断が起こるが、
DNAは1つの細胞あたり同じものは1本、
姉妹染色体を考えたもせいぜい2本



DNAが放射線の特別な標的となる理由 (3)「長い」こと

ヒトゲノム(2倍体) :

6×10⁹(60億)塩基対、染色体46本

長さ: 1塩基対あたり3Åなので、
総延長約2m、1本平均4cm
cf.) 核の直径: 約10μm

どこかで切れてしまう危険性は高い
どこも切らずに保持することは至難の業

DNAが「長い」ことは情報量からの必然であるが、
それが「アキレス腱」である。

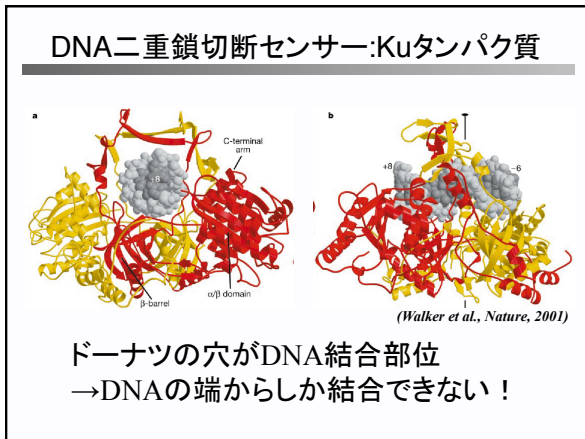
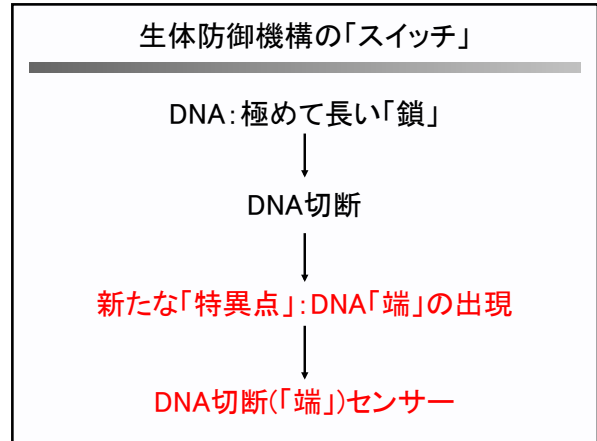
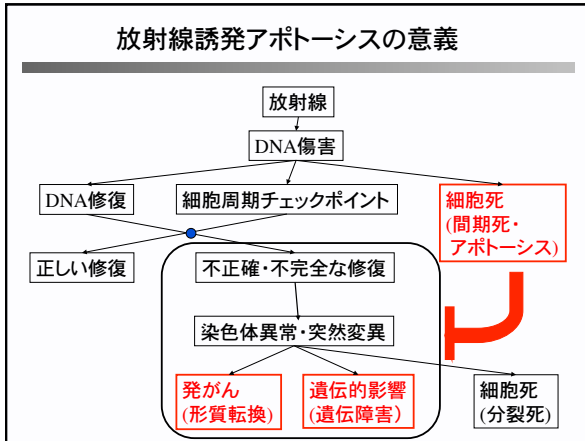
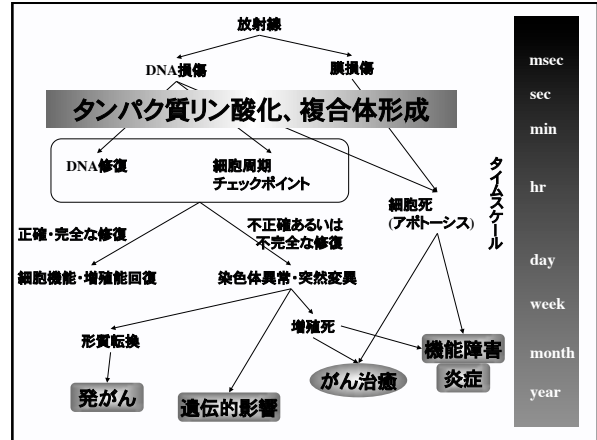
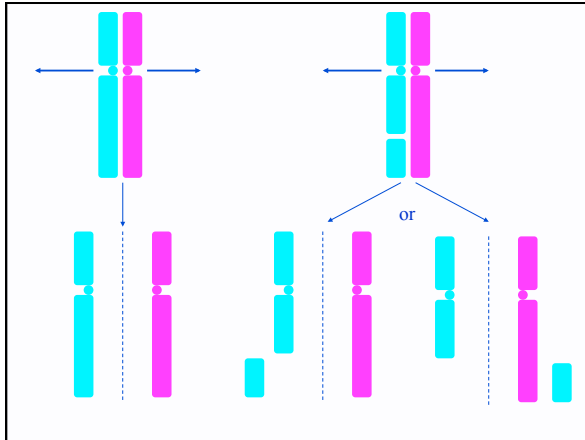
DNAが放射線の特別な標的となる理由 (4)「切れる」ことの影響

ヒトのゲノムで「設計図」になっているのはごく一部
→「設計図」が直接壊される確率は高くない

しかし、DNAは細胞増殖の際、
正確に複製されなければならない
正確に分配されなければならない



傷ついたり、切れたりすると、
正確な複製、分配が著しく妨げられる



私達は放射線から守ってくれる「お守り」を生まれながら、肌身離さず持っている。それは、「遺伝子DNA」である。

遺伝子DNAは「想定外」という言葉がない究極の危機管理マニュアルである。生物が30億年の歴史の中で遭遇したあらゆる危機を乗り越える方法が詳しく書かれている。

(平成23年3月23日放映 テレビ朝日「学べるニュース」)

また、遺伝子DNAは親から子へと
受け継がれる。
原発で作業に当たっておられる方々の
無事と作業の成功を祈っている
お父様、お母様やお子様、
そして、スタジオの私達、
日本中、世界中の人々と必ずどこかで
つながっている物質的な証である。

(平成23年3月23日放映 テレビ朝日「学べるニュース」)

このお守りを胸に、
「本当にこわい放射線」と
「本当はこわくない放射線」に
力強く立ち向かっていこうと思う。

(平成23年3月23日放映 テレビ朝日「学べるニュース」)