

(大阪・兵庫・和歌山・岡山・京滋)  
蔵前工業会関西5支部第694回午餐会

---

---

# 放射線のものさし

2016年7月5日(火)  
於 中央電気倶楽部  
青森県支部長  
宮川 俊晴  
NPO法人放射線教育フォーラム  
(元日本原燃(株) 安全本部 副本部長)



1

---

---

## 今日のお話 (ものさしを求めて)

1. 身の回りの放射線
2. 放射線の健康影響
3. 放射線の防護の基準
4. 再処理工場から環境に放出される放射物質による環境影響評価



2

# 今日の話 (ものさしを求めて)

---

---

## 1. 身の回りの放射線

- 1) 宇宙の放射線について
- 2) 空気中の放射線について
- 3) 大地からの放射線について
- 4) 食べ物からの放射線について

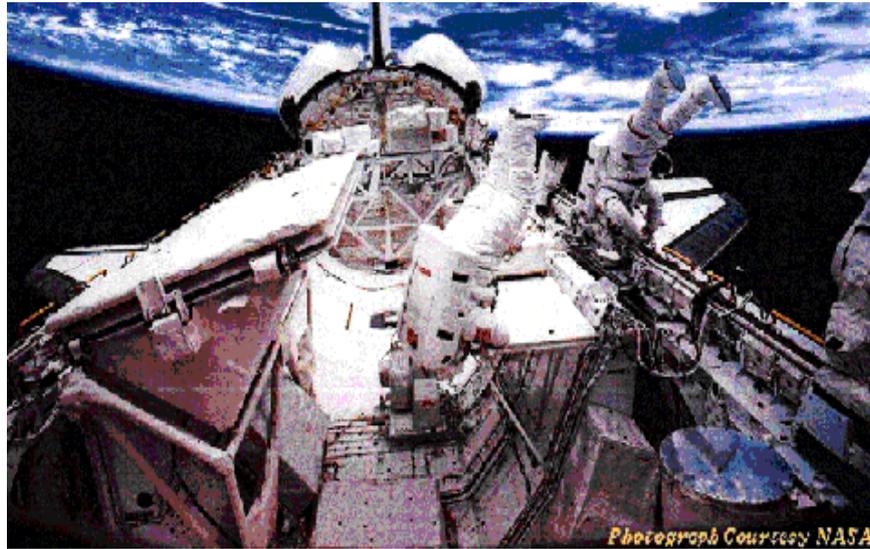
---

---

## 1-1)

# 宇宙の放射線について

# 宇宙での生活ってどんなだろう？



三菱総合研究所 岩井 敏氏講演資料より

## スペースシャトル打上げ



©JAXA ©NASA

# 地上400kmの宇宙まで約7分の旅 (直線距離で青森～福島)



ISS011E11536

©JAXA ©NASA



7

# 日常生活 (歯みがき)



©JAXA ©NASA



8

## 日常生活 (シャンプー)

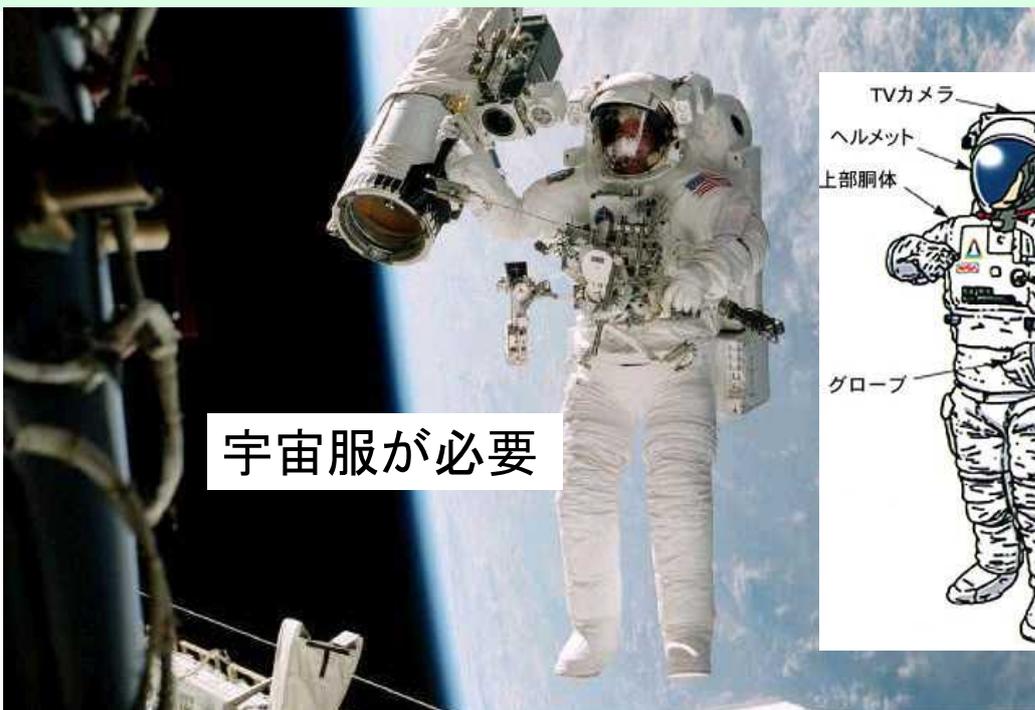


©JAXA ©NASA



9

## 宇宙ステーションの外での作業 (船外活動)



宇宙服が必要



©JAXA ©NASA 10

# 宇宙ステーション長期滞在での 宇宙飛行士の主な健康ストレス

1. 筋・骨格系の減少(無重力)
2. 精神・心理的ストレス(閉鎖空間・非日常性)
3. 栄養摂取(メニューの固定、食材の制限)
4. 宇宙放射線被ばく  
(多量・高エネルギー)



©JAXA ©NASA



11

# 宇宙ステーション長期滞在での 宇宙飛行士の主な健康ストレス

1. 筋・骨格系の減少(無重力)
2. 精神・心理的ストレス(閉鎖空間・非日常性)
3. 栄養摂取(メニューの固定、食材の制限)
4. 宇宙放射線被ばく  
(多量・高エネルギー)

放射線もリスクの1つ

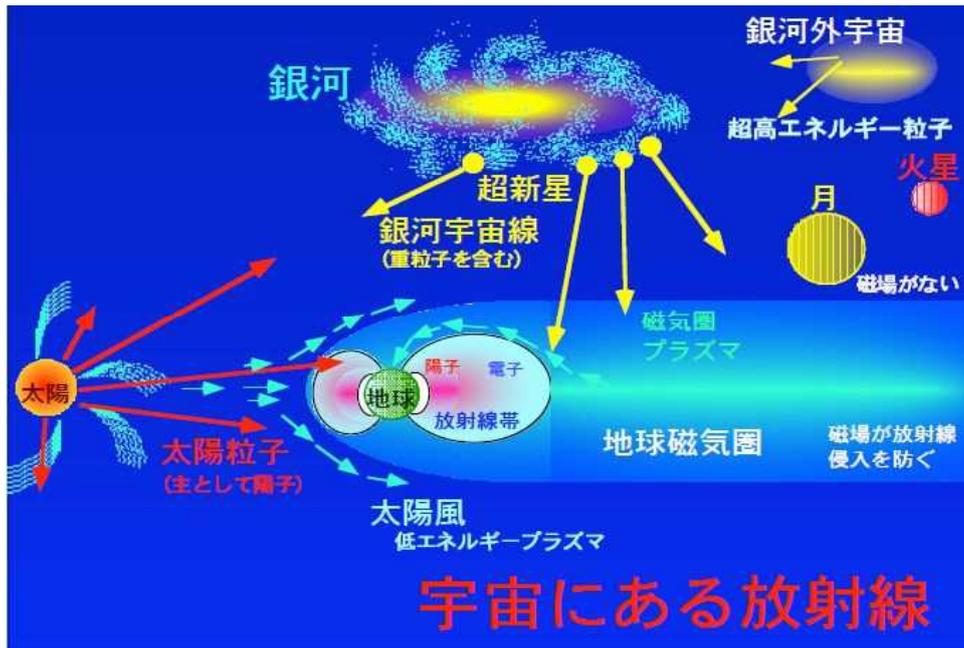


©JAXA ©NASA



12

# 宇宙は放射線が一杯！



出典：藤高和信氏スライド

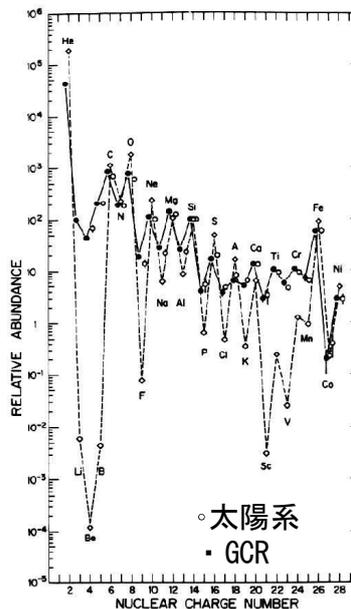
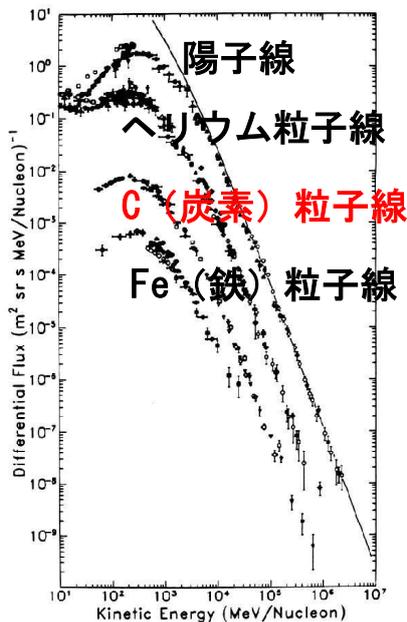


13

## 銀河放射線 (GCR)

—成分とエネルギースペクトル—

太陽系の外で生まれる高エネルギーの放射線



存在比

陽子 85%

He 12%

Heより重い粒子  
1%

電子／陽電子2%

**C (炭素) 粒子線は放射線医学総合研究所の加速器HIMACでがん治療に利用**

出典 NCRP Report 98, 1989

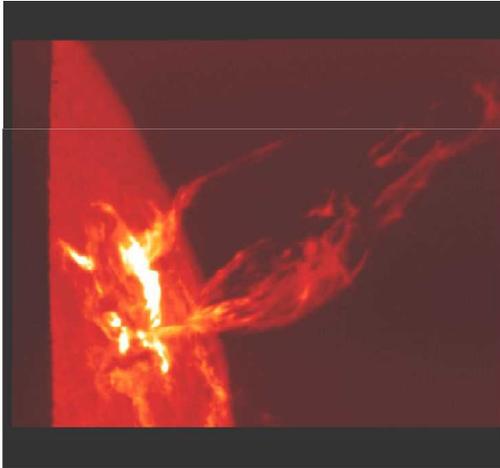


14

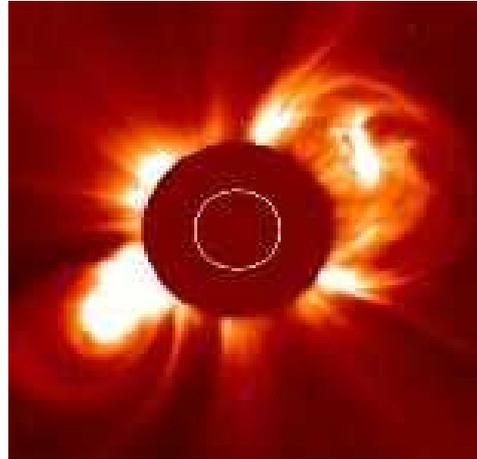
# 太陽粒子線

太陽フレア現象などに伴い、太陽表面から放出される高エネルギーの放射線(主に陽子線)

(地上では、陽子線を加速器で発生させてがん治療に使用)



出典 <http://www.sec.noaa.gov/ImageGallery/>



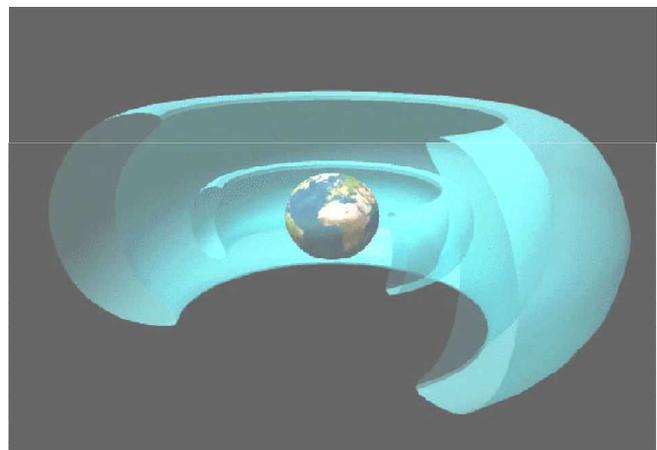
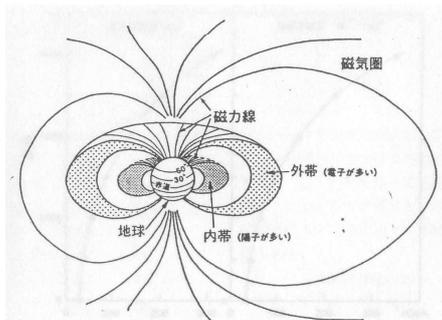
出典 <http://www.sec.noaa.gov/ImageGallery/>



15

# 放射線粒子帯

- 地球磁場に捕捉された陽子線、電子線(捕捉粒子ともいう)
- 別名「ヴァン・アレン帯」
- 南大西洋異常(SAA)



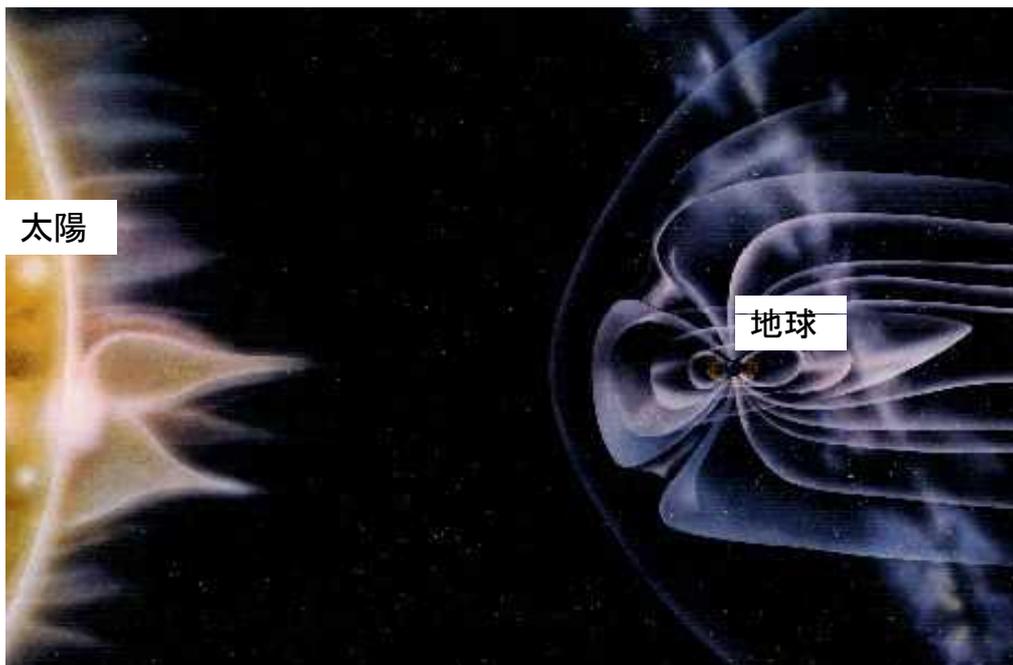
出典 R. A. Hoffman, "Radiation Belt Mappers"講演資料



16

# 地球をとりまく磁場

太陽、銀河からの放射線を防いでいる膜のようなもの



出典 <http://www.sec.noaa.gov/ImageGallery/>



17

## 太陽フレア時の宇宙線強度の上昇

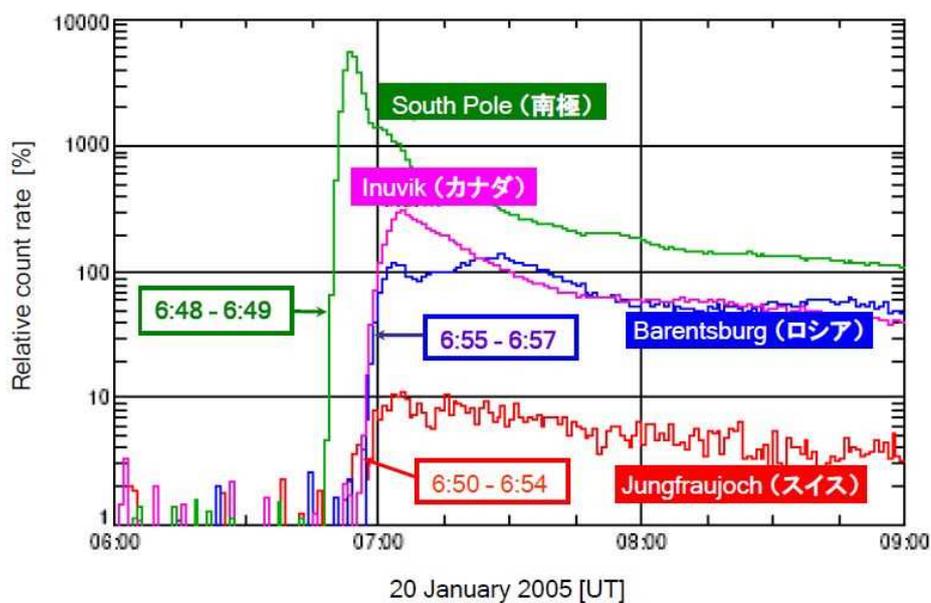


図. 2005年1月20日の太陽フレア発生時における世界各地の中性子モニタの観測データ. 立ち上がり時刻の場所によるずれは数分.

Courtesy of Prof. Erwin Flueckiger



# 宇宙放射線の被ばく

- ・国際宇宙ステーションの飛行士は**1日約1mSv**の宇宙放射線を受ける(船外活動を含む)
  - ・胸部レントゲン集団検診(**0.05mSv**)  
つまり、毎日**20枚**のレントゲン写真撮影に相当
- ・太陽活動が活発になると、さらに被ばくを受ける。  
(通常のときの**10**数倍～数**10**倍)
- ・宇宙に行って、新たに得られるものと、宇宙放射線に被ばくすることのトレードオフ;リスクを取る。



19

# 宇宙飛行士の被ばく管理の課題

**一日約1ミリシーベルト**で、90日搭乗すると**90ミリシーベルト**(途中で帰れない。)

原子力発電所などの放射線作業者の年間線量限度(50ミリシーベルト:5年間では100ミリシーベルト)を上回る。

- ・骨ずい(造血機能障害)、眼(白内障)、皮膚(紅班)、精巣(不妊)は大丈夫か?
- ・発がんのリスクは?



20

# 宇宙飛行士の被ばく管理の課題

一日約1ミリシーベルトで、90日搭乗すると90ミリシーベルト(途中で帰れない。)

原子力発電所などの放射線作業者の年間線量限度(50ミリシーベルト:5年間では100ミリシーベルト)を上回る。

- ・骨ずい(造血機能障害)、眼(白内障)、皮膚(紅班)、精巣(不妊)は大丈夫か？
- ・発がんのリスクは？ ⇒ のちほど



## 被ばく管理の基本的な方針

1. **確定的影響**(しきい線量がある)  
発生を防止(しきい線量よりも低く保つ)  
(眼、皮膚、骨ずい、精巣の病気を発生させない)
2. **確率的影響**(がん、白血病など)  
容認できるレベル以下に発生を減らす。  
(発がんにより死亡する確率を制限)



## 国際宇宙ステーション(ISS)搭乗宇宙飛行士の被曝線量の制限①

### 生涯実効線量制限値(全身)

被曝開始年齢	女 (リスク)	男 (リスク)
27-29	600 (3.2%)	600 (2.9%)
30-34	800 (3.1%)	900 (3.1%)
35-39	900 (3.1%)	1000 (3.1%)
≥40	1100 (3.0%)	1200 (3.1%)

(単位:ミリシーベルト)

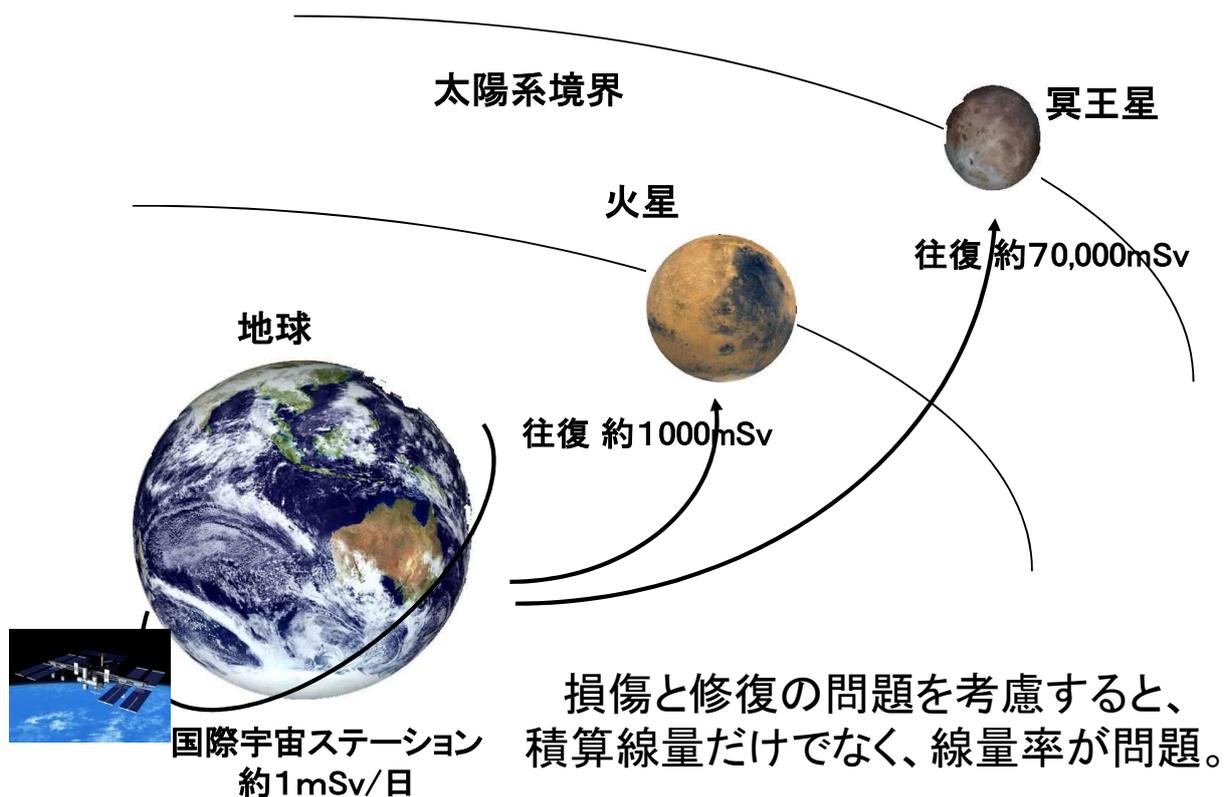
\*リスク:放射線被曝により、がんで死亡する確率

JAXA 矢部氏講演資料より



23

## 長期宇宙滞在による被ばく線量



24

# 宇宙線強度の精緻な予測

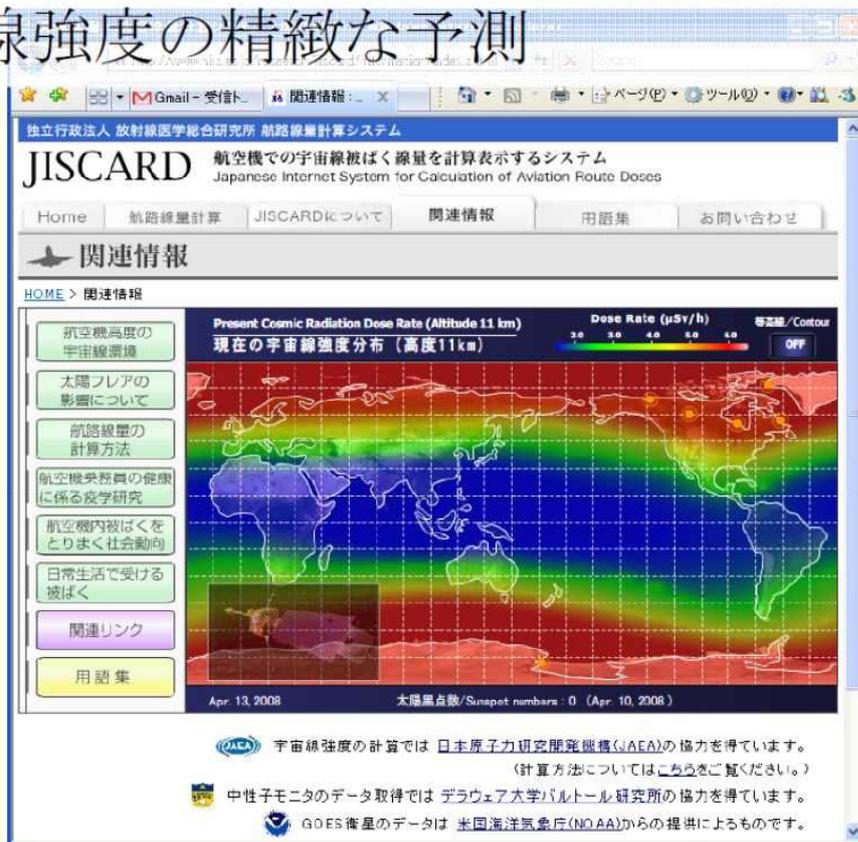


図. 放医研ホームページで公開している航空機高度の宇宙線強度画像.



保田浩志他、日本保健物理学会 第43回研究発表会資料より

## JISCARD(航路線量計算)

### ☆東京⇄ニューヨーク間往復☆

ステップ

出発空港選択

到着空港選択

飛行時期選択

条件の確認

条件の確認

出発空港	到着空港	出発日	帰着日
東京	ニューヨーク	2015/7/1	2015/7/7

リセット      線量を計算する

ニューヨーク

東京

放射線医学総合研究所 航路線量計算システム <http://www.jiscard.jp/index.shtml>

Japanese ▾

ステップ

- 出発空港選択
- 到着空港選択
- 飛行時期選択
- 条件の確認

条件の確認

出発空港	到着空港	出発日	到着日
東京	ニューヨーク	2015/7/1	2015/7/8

リセット 線量を計算する

線量計算結果

線量値 往路線量率グラフ 復路線量率グラフ

出発空港	到着空港	マイル
東京	ニューヨーク	6784

往路 →		復路 ←	
出発日	7/1/2015	帰着日	7/7/2015
飛行時間	12 hr 54 min	飛行時間	14 hr 25 min
航路線量 (36kft)	<b>56.7<math>\mu</math>Sv</b>	航路線量 (36kft)	<b>63.7<math>\mu</math>Sv</b>
航路線量 (28-40kft)	<b>28.1-74.0<math>\mu</math>Sv</b>	航路線量 (28-40kft)	<b>31.6-83.0<math>\mu</math>Sv</b>

閉じる 読込 保存



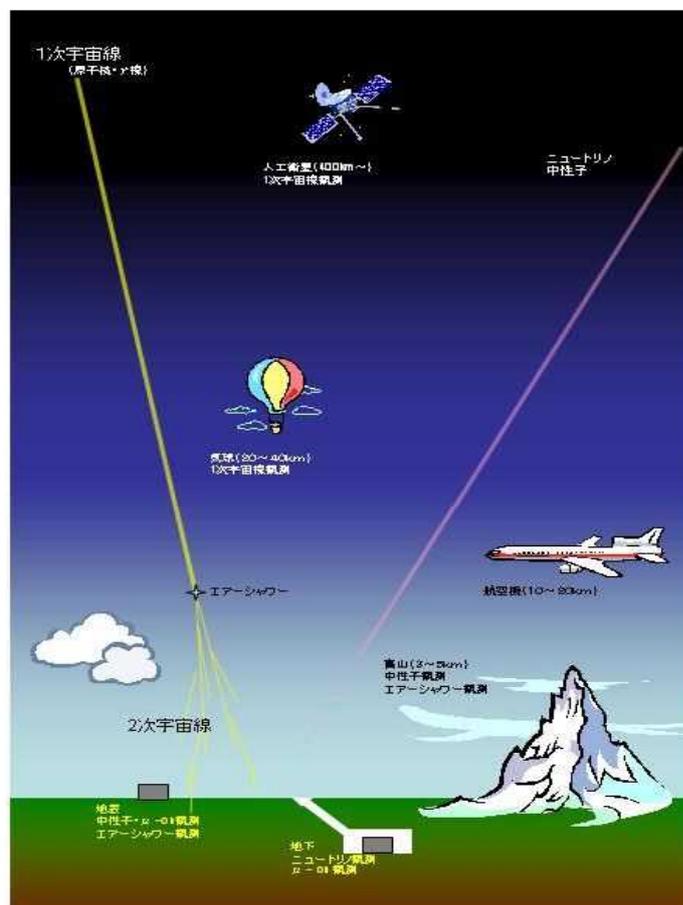
21

放射線医学総合研究所 航路線量計算システム <http://www.jiscard.jp/index.shtml>

宇宙ステーション高度  
での宇宙線

1日1ミリシーベルト  
(1年間: 365ミリシーベルト  
相当)

地上での宇宙線  
年間0.4ミリシーベルト



28

# 富士山測候所におけるモニタリング

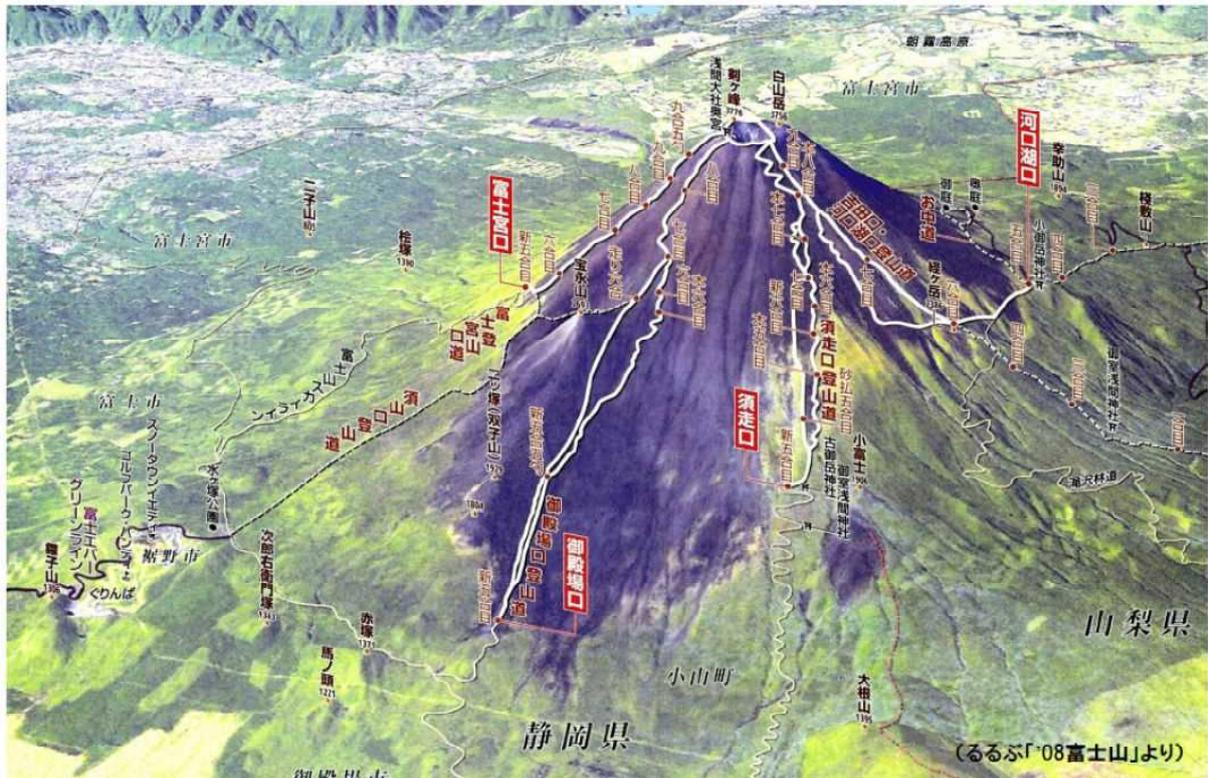


図. 富士山の登山ルート; 徒歩部隊は富士宮口から、ブル部隊は御殿場口から上った。



保田浩志他、日本保健物理学会 第43回研究発表会資料より

29



保田浩志他、日本保健物理学会 第43回研究発表会資料より

30

# 富士山測候所におけるモニタリング



## 測定結果：WENDI-II

モデル計算 (PARMA) による推定値： $0.11\mu\text{Sv h}^{-1}$

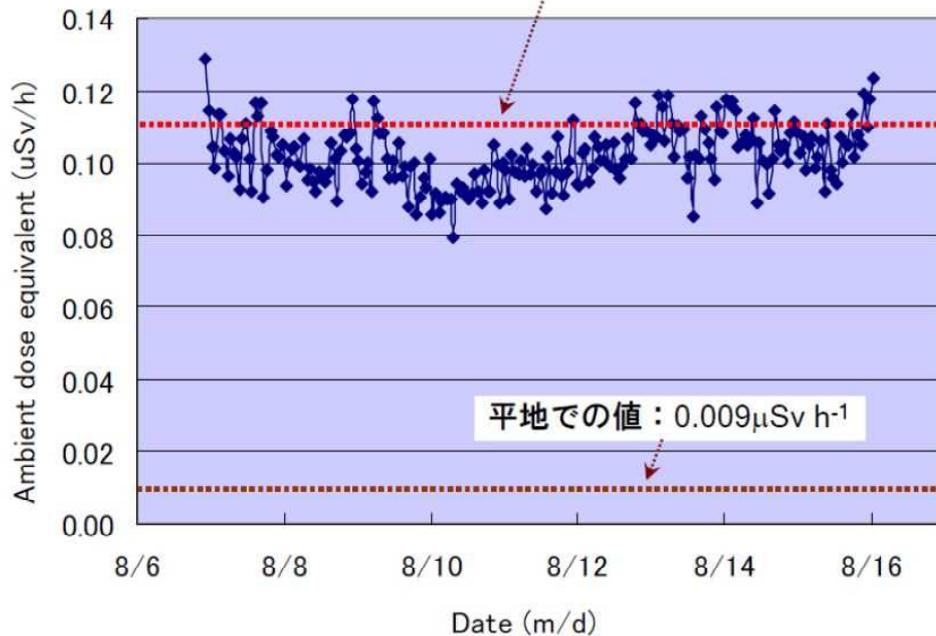
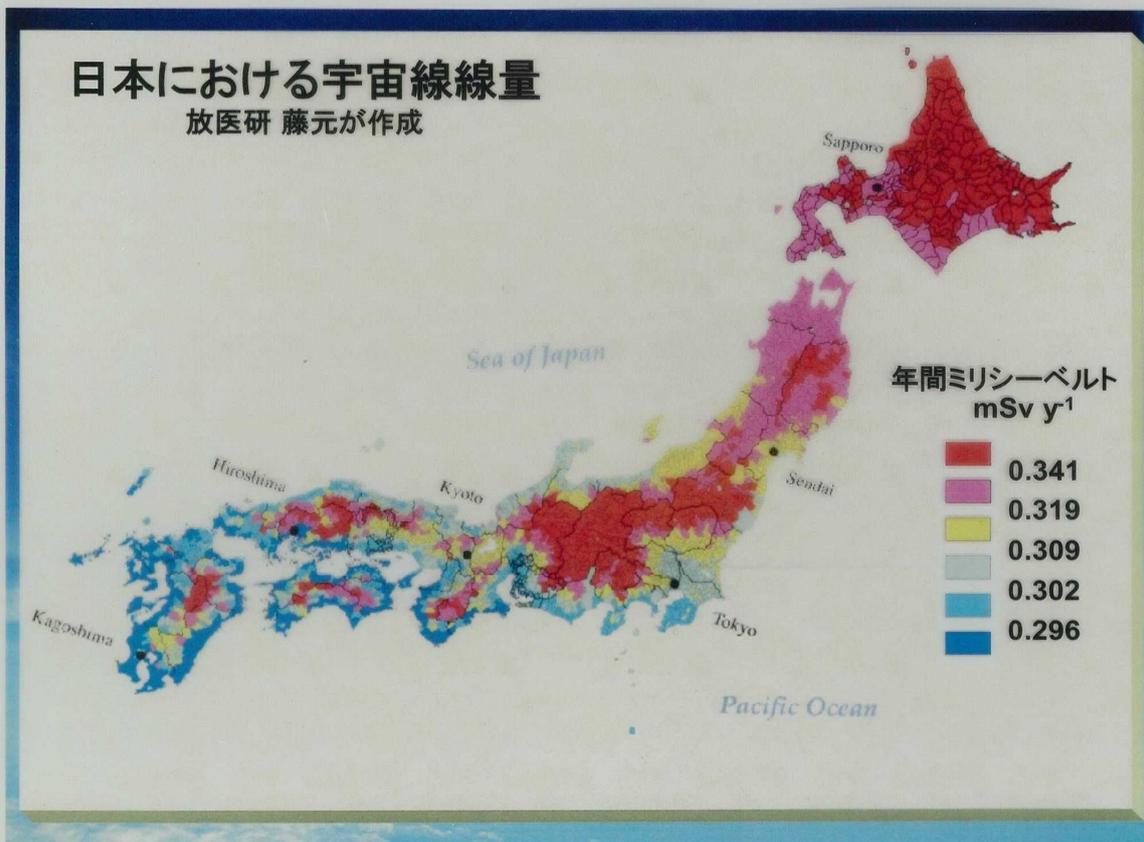


図. 富士山測候所内においてエネルギー拡張型レムカウンタ WENDI-II により得られた測定結果. 予測された中性子線量値と良い一致が観られた.



## 日本における宇宙線線量

放医研 藤元が作成



## 宇宙線の高度による影響の差

- 国際宇宙ステーション (400km): 1000
- 飛行機 (10km): 100
- 富士山 山頂 (4km): 10
- 地上 (0km): 1

次は、空気中の放射線について！！

---

---

1-2)

# 空気中の放射線について



35

---

---

ラドン温泉、知っていますか？

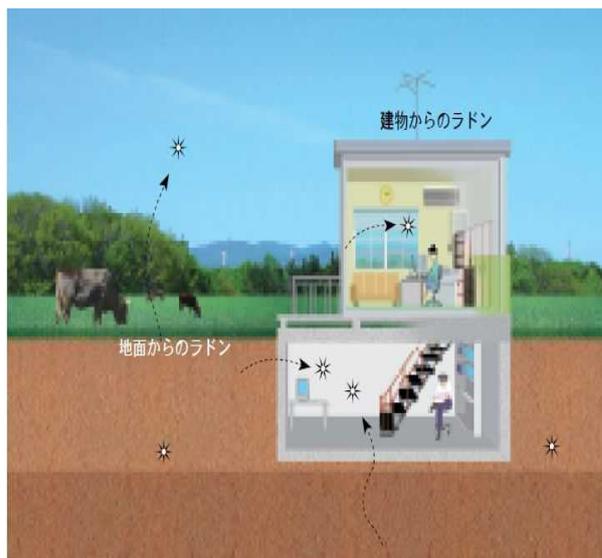
ラドンは土の中から  
自然に地上に出てきます。

六ヶ所村の環境研の皆さんが  
青森県内各地を測りました。



36

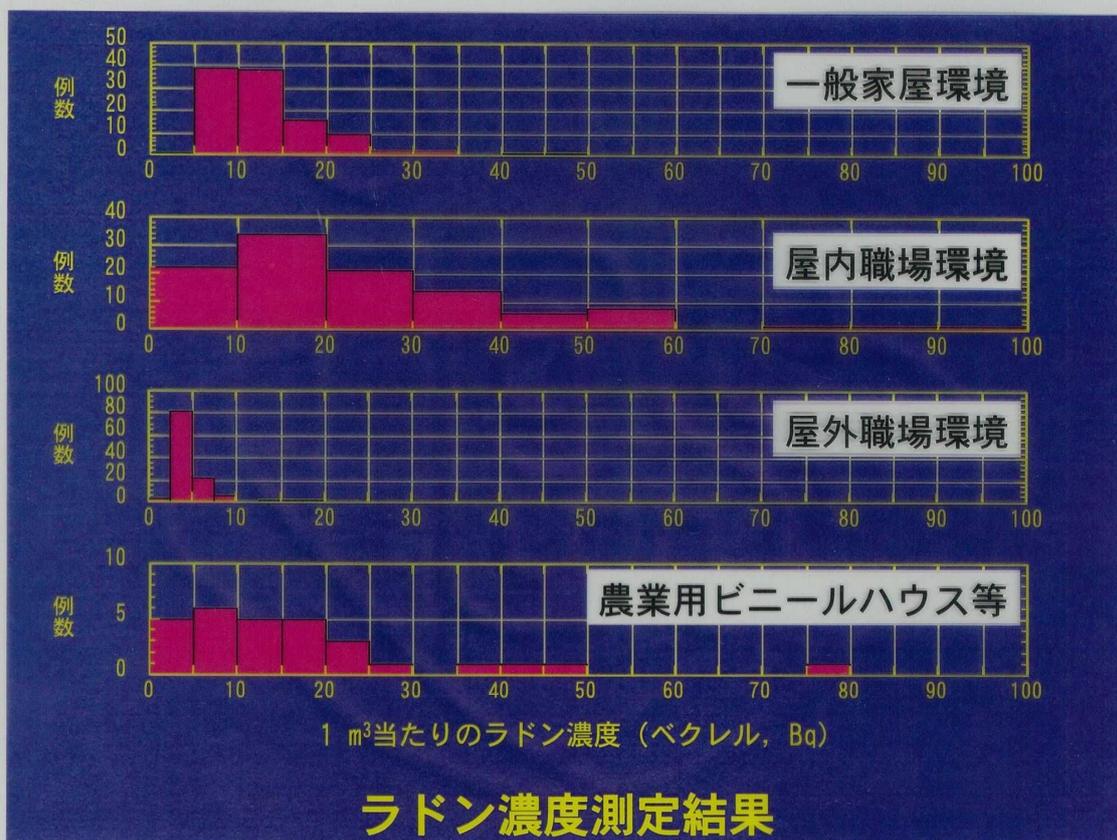
# 身のまわりのラドン



岩石や土にウランが含まれているため、温泉に限らず、あらゆる地面からラドンが出て空气中をただよんでいます。また建物のコンクリートは石などから作られているため、ウランが含まれ、そこからラドンが出ています。



出典:財団法人 環境科学研究所 環境研 サイエンスノートNo.10



出典: (財)環境科学技術研究所 調査資料

## 青森県内のラドンの濃度値は

- ・屋外： 約 5ベクレル/m<sup>3</sup>
  - ・木造の家の中： 約15ベクレル/m<sup>3</sup>
  - ・ビニールハウスの中：約20ベクレル/m<sup>3</sup>
  - ・コンクリート建物の中：約25ベクレル/m<sup>3</sup>
- (それぞれ幅はありますが)



表1.2.1 これまでに実施された我が国の住居内のラドン濃度の全国調査結果

	測定期間	測定した 家屋数	算術平均値 (標準偏差) Bq/m <sup>3</sup>	幾何平均値 (幾何標準偏差) Bq/m <sup>3</sup>	中央値 Bq/m <sup>3</sup>	最高値 Bq/m <sup>3</sup>	引用
1	1985-1991 (昭和60年～ 平成3年)	5,717	20.8	16.9	16.0	313	Fujimoto et al., Japan Health Phys. J. 32,1997 <sup>10)</sup>
2	1994-1996 (平成6年～ 平成8年)	899	15.5 (13.5)		11.7	208	Sanada et al., J. Env. Radioact. 45, 1999 <sup>11)</sup>
3	2007-2010 (平成19年～ 平成22年)	3,461	14.3 (14.7)	10.8 (2.1)			Suzuki et al., J. Radiat., Res., 51, 2010 <sup>12)</sup>
		人口加重 平均	13.7 (12.3)	10.4 (2.0)			



表1.2.2 国民1人当たりのラドン吸入による平均実効線量

存在場所 行動	存在時間 <sup>注)</sup> 時間/年 (時間/日)	平均 ラドン濃度 Bq/m <sup>3</sup>	平衡ファクタ	実効線量 mSv/年
住居内 睡眠、身の回りの用事、食事、家事、 介護・看護、育児、学習・研究 (40%)、 テレビラジオ新聞、休養、趣味・娯 楽 (40%)、その他 (40%)	6,059 (16.6)	11	0.4	0.24
屋外 通勤通学、仕事 (20%)、買い物 (20%)、移動、学習・研究 (20%)、 趣味・娯楽 (20%)、スポーツ (80%)、 ボランティア・社会活動 (20%)、交 際 (20%)、その他 (30%)	913 (2.5)	5.5	0.6	0.027
職場、公共施設の屋内 仕事 (80%)、学業、買い物 (80%)、 学習・研究 (40%)、趣味・娯楽 (20%)、 スポーツ (20%)、ボランティア・社 会活動 (80%)、交際 (80%)、受診・ 療養、その他 (30%)	1,788 (4.9)	15.3	0.4	0.098

注) 存在時間は、総務省統計局「平成18年社会生活基本調査」<sup>7)</sup>で、「第1表 曜日、男女、年齢、行動の種類別総平均時間」より、男女、曜日、年齢を含めた集団での平均値から求めた。

出典：公益財団法人 原子力安全研究協会 <sup>41</sup>  
「新版 生活環境放射線(国民線量の算定)」(平成23年12月)

## ラドンの防護規準への取り組み (日本保健物理学会・専門研究会)

空気中のラドンの濃度は

**数ベクレル～数10ベクレル/m<sup>3</sup>ですが・・・**

それによる被ばく量は？

日本では年間 約0.4ミリシーベルト

世界平均では年間 約1.2ミリシーベルト

とされています。

**これが特に問題ということではないのですが**

## ラドンの濃度の高い場所の扱い

---

○ ラドンは、タバコについて、ガンリスクが高い存在

○ 国際放射線防護委員会(2010年報告)

参考レベル(継続検討中)

**住居:300ベクレル/m<sup>3</sup>**

職場:1000ベクレル/m<sup>3</sup>(10mSv/年程度)

○ 世界保健機構(WHO、2009年HB)

**屋内:100ベクレル/m<sup>3</sup>**

(最大300ベクレル/m<sup>3</sup>)

上記の値を超える場合は、何らかの処置を...

**自然界の放射線と言っても、全てが安全ではない**

---



---

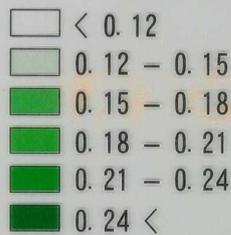
# 1-3)

## 大地からの

## 放射線について



年間被ばく線量  
(ミリシーベルト, mSv)

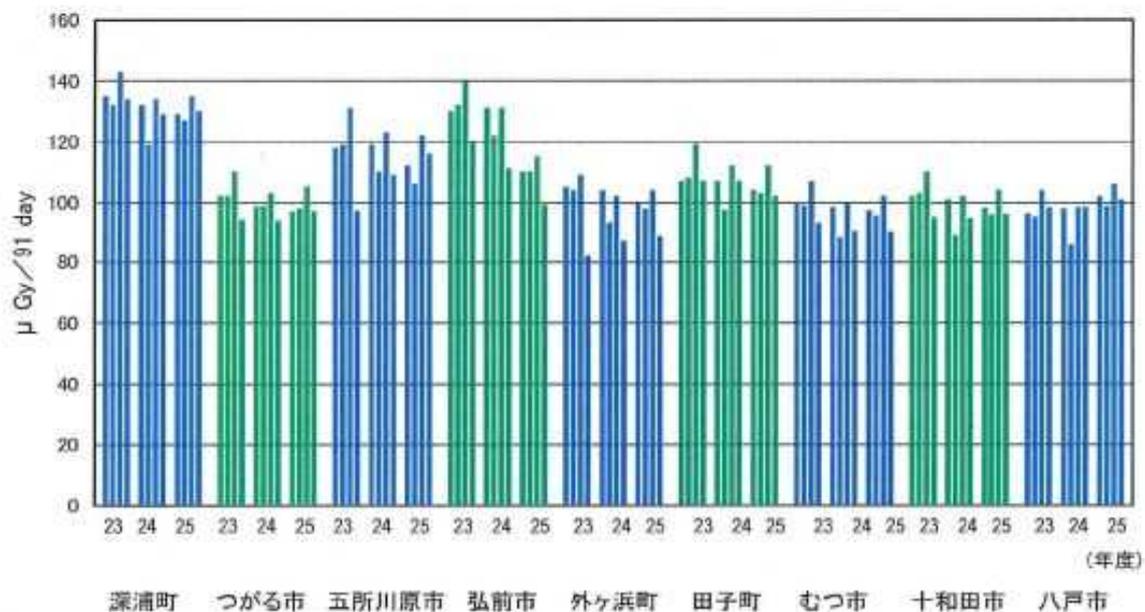


● 測定地点 (184地点)

青森県平均は年間0.17ミリシーベルト

図 大地からのγ線による被ばく線量

## 青森県各地の空間のγ線放射線量 (屋外) 平成23年度~25年度



---

---

1-4)

# 食べ物からの 放射線について



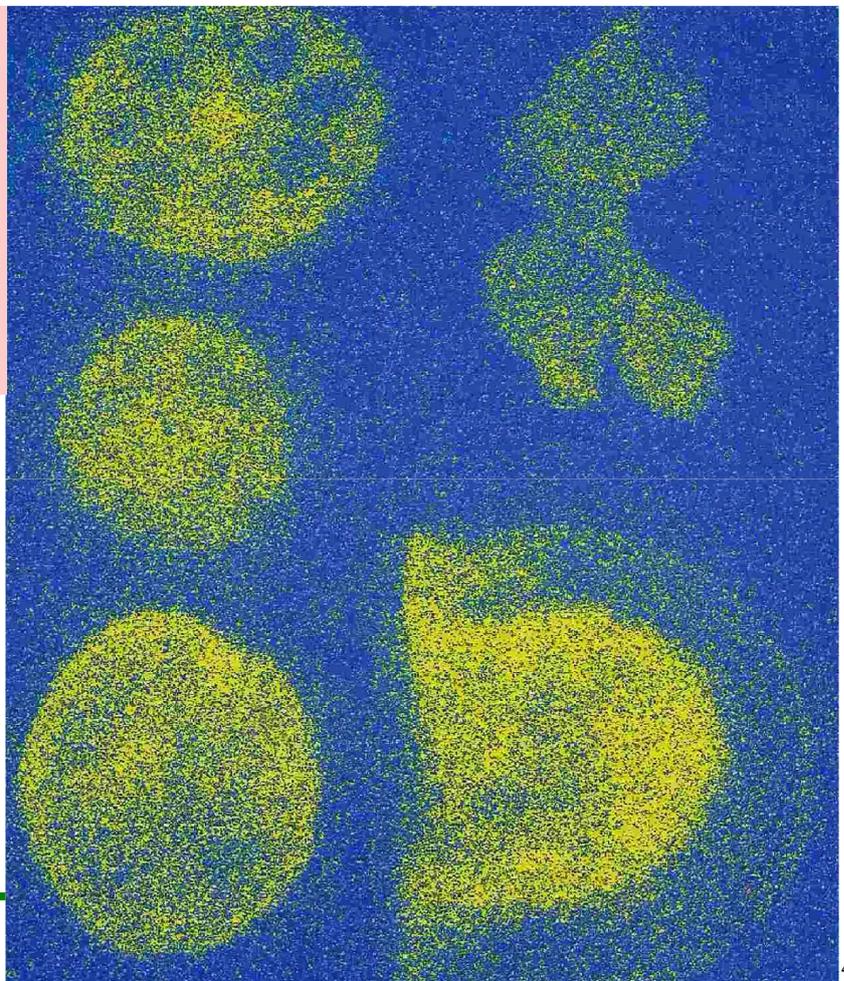
47

野菜から  
放出されている  
自然放射線像

1ヶ月間の露出  
(継続測定)

右のものは野菜で  
す。

さて何でしょうか？

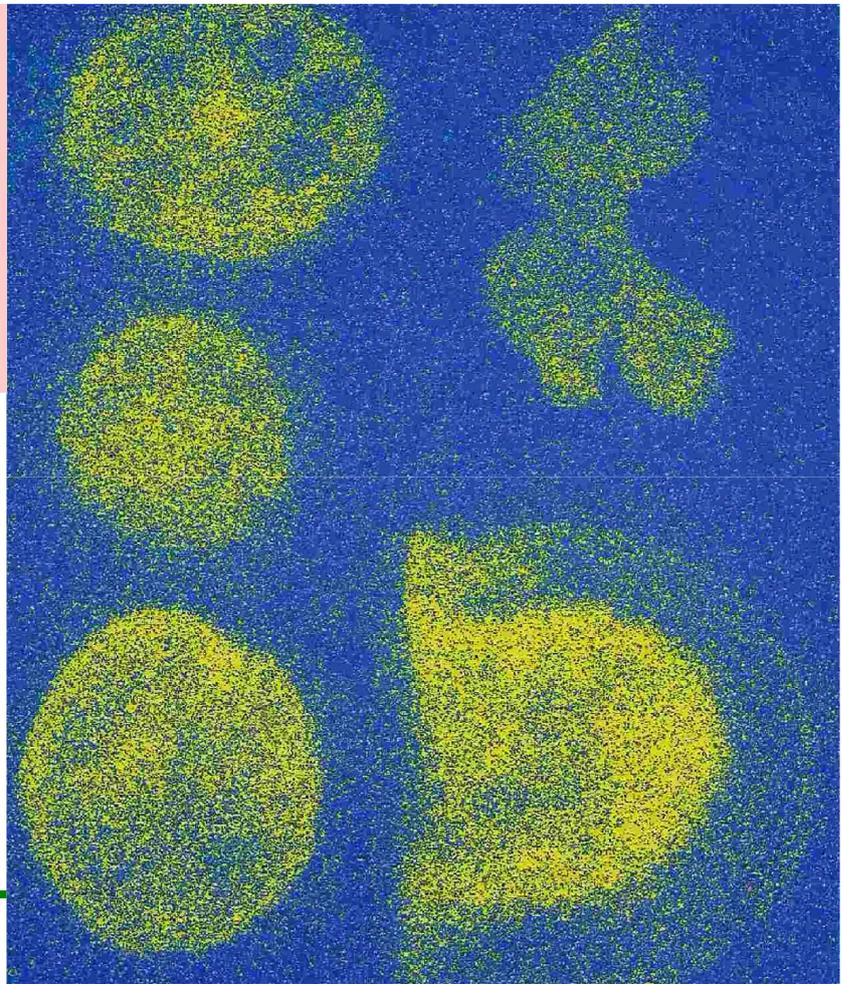


48

# 野菜から 放出されている 自然放射線像

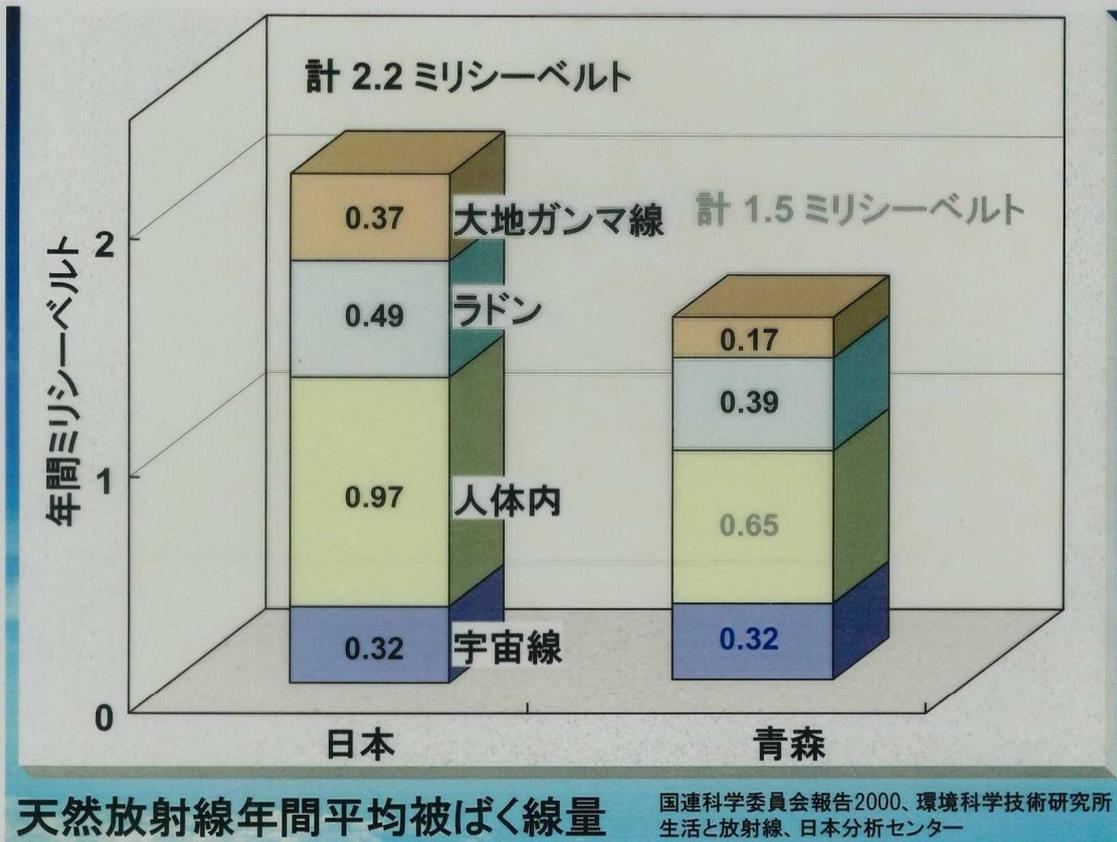
1ヶ月間の露出

レンコン ショウガ  
サツマイモ  
ジャガイモ かぼちゃ



## 食品に含まれる放射能





出典: (財)環境科学技術研究所 研究成果報告会資料

青森県太平洋海域

# マダラ漁再開

## 八戸港、泊漁港に水揚げ

青森県太平洋海域のマダラの出荷制限が31日に解除されたことを受け、同海域でのマダラ漁が1日、再開された。八戸港では主力の中型底引き網船が、この時期としては多めの合計2千隻を超えるマダラを八戸市第2魚市場に水揚げ。六ヶ所村の泊漁協所属のはえ縄漁船が泊漁港に水揚げした。マダラを対象にした放射性物質の簡易検査では、国の基準値を下回るということが確認された。(佐藤周平、藤村大地)

### 放射性物質基準値下回る

中底船は同日、15隻(第1興富丸(70ト) 今後の高値に期待。別では、2日早朝に八戸が八戸沖で操業。午後の坂本博之漁船長(60)の船主は「漁場での選り取りから次々と偏港はマダラは小ぶりだ。択取が広がったのは大し、イカなどと一緒に、これから大きくなき。販売前検査で安マダラを水揚げした。って脂も乗る」とし、全性を確認した魚を消毒。同日朝の販売前に結果を出し、基準を超えた魚が出回るのを防ぐ。



中型底引き網船が八戸港に水揚げしたマダラ  
11日午後4時半ごろ、八戸市第2魚市場

**デーリー東北**

デーリー東北新聞社  
〒031-8501  
八戸市城下一丁目3番9-12  
電話0778(4)5111  
販売口部02360-6-4212  
©デーリー東北新聞社2012

医療法人 柏陵会  
**あらい整形外科**  
リハビリテーションクリニック  
八戸市柏崎五丁目17番00000

民主県  
紙面



泊漁港に水揚げされたマダラ

## 直感テストでリフレッシュ！！

---

---

セシウム137が100Bq/kgある魚を  
毎日1kg食べ続けると  
1年間で受ける放射線の量はどの位？

- A. 約 1mSv
- B. 約10mSv
- C. 約100mSv

答えはのちほど

---

---

ここで、少し、過去を振り返って

---

## 放射線の発見の歴史

---

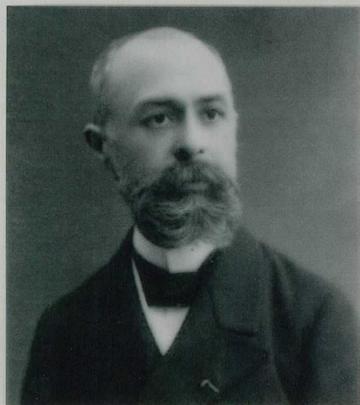
## 放射線発見の歴史

---

- 1895年、ドイツのレントゲン(1845-1923)は、真空にしたガラス管の中の電極に電圧を加えると放電が起こり、光線のような不思議な物が出るのを発見し、「未知の物」であるという意味から、これをエックス線と名付けた。



## 天然放射能の発見



1896. 10. 26. Jaffar Villard, Paringel et P. Villard  
Papier noir. Curi & Curie. Uranium  
Exposé au soleil le 17 et cette même substance  
Villard le 18 novembre.



ベクレル

ウラン化合物が黒い紙を通して  
写真乾板を感光させる(1896年)

謎の放射線はベクレル線と呼ばれた。放射線を出す能力をマリー・キュリーが放射能と名づけた。



出典: (財)環境科学技術研究所 研究成果報告会資料

57

## ベクレル線の正体



ラザフォード

ベクレル線には2種類有る (1899年)

透過力が弱い (後のアルファ線)

透過力が強い (後のベータ線)



ヴィラール (P. Villard)

透過力が更に強く、電磁場で曲がらない  
(後のガンマ線、1900年)



出典: (財)環境科学技術研究所 研究成果報告会資料

58

## 放射線発見の歴史

1895	X線の発見／ウィルヘルム・レントゲン [ドイツ]
1896	X線の電離作用の発見／J. J. トムソン [イギリス]
	ウランの放射能の発見／アンリ・ベクレル [フランス]
1898	ポロニウムとラジウムの発見／ピエール&マリー・キュリー夫妻 [フランス]
	$\alpha$ 線と $\beta$ 線の発見／アーネスト・ラザフォード [イギリス]
1900	$\gamma$ 線の発見／P. V. ヴィラルール [フランス]
	※ラザフォードが1903年に命名
1908	$\alpha$ 線の構造を発見／ラザフォード [イギリス]
1919	原子核の人工変換に成功／ラザフォード [イギリス]
1932	中性子の発見／ジェームズ・チャドウィック [イギリス]
1934	人工放射能を作り出すことに成功／ジョリオ&イレーヌ・キュリー夫妻 [フランス]
1938	ウランの核分裂反応の発見／オットー・ハーン&リーゼ・マイトナー [ドイツ]



## 今日のお話 (ものさしを求めて)

1. 身に回りの放射線
2. 放射線の健康影響
3. 放射線の防護の基準
4. 再処理工場から環境に放出される放射性物質による環境影響評価



## 2. 放射線の健康影響

### 2-1) 症例研究

### 2-2) 放射線影響のメカニズム

---

---

## 2-1)

# 症例研究



写真 8.1 ラジウム・ダイアルペインターの作業風景



出典:松岡著 放射性物質の人体摂取障害の記録 日刊工業新聞社 63

## 質問 2

### ダイアルペインター

昔、アメリカで、沢山の女子作業員が  
**ラジウム**と言う放射性物質で**時計の  
文字盤**に文字を書きました。

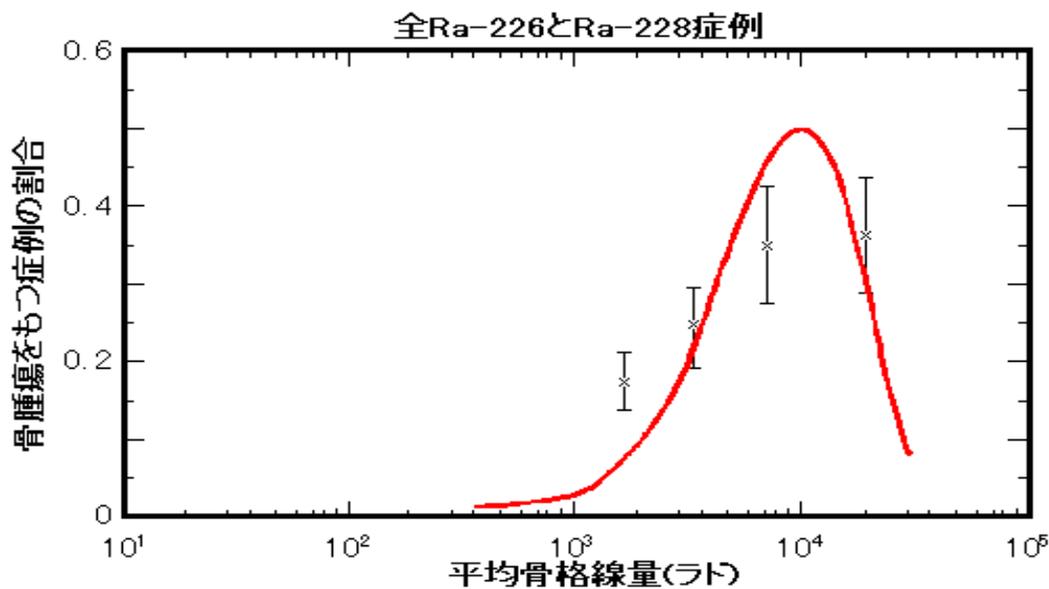
その後、女性作業員にどういう**病気**が  
起きたのか？



表1 米国のダイアルペインターに観察された骨肉腫

範囲 (kBq)	摂取量		数		
	範囲 ( $\mu$ Ci)	荷重平均 (kBq)	人数	人・年	骨髄腫数
>50000	>1351	73310	21	235	6
25000-49999	675.7-1350	37850	21	411	16
10000-24999	270.3-675.6	15100	51	2005	22
5000.-9999.	135.1-270.2	7651	45	2237	1
2500.-4999.	67.57-135.0	3798	53	3133	1
1000.-2499.	27.03-67.56	1637	76	4166	0
500.0-999.9	13.51-27.02	702.2	76	4200	0
250.0-499.9	6.757-13.50	364.9	93	4861	0
100.0-249.9	2.703-6.756	153.3	168	8574	0
50.00-99.99	1.351-2.702	71.69	139	6459	0
25.00-49.99	0.676-1.350	36.40	167	7505	0
10.00-24.99	0.270-0.675	17.18	153	6589	0
<10.00	<0.270		467	21826	0
			1530	72101	46

R. E. Rowland, Dose-Response Relationships for Female Radium Dial Workers: A New Look (in: Health effects of Internally Deposited radionuclides: Emphasis on Radium and Thorium), World Scientific (1995)



(注) 100ラド(rad) = 1グレイ(Gy)

図2 米国のRa-226ダイアルペインターの被ばく線量と発がん

[出典]松岡 理:放射性物質の人体摂取障害の記録、日刊工業新聞社、(1995)p.63

## 初期に発生した放射線による障害

- X線管球製作者の手の皮膚炎(1900年頃～)
- 米国夜光塗料工場におけるダイヤルペインターの骨肉腫(ラジウム;1920年代～)
- トロトラスト晩発障害(二酸化トリウム・エックス線造影剤投与者の肝悪性腫瘍、1940年代～)
- ウラン鉱山の鉱夫の肺疾患(ラドンとその子孫核種;1950年代～)
- キュリー夫人 白内障、再生不良性貧血(1867-1934年)



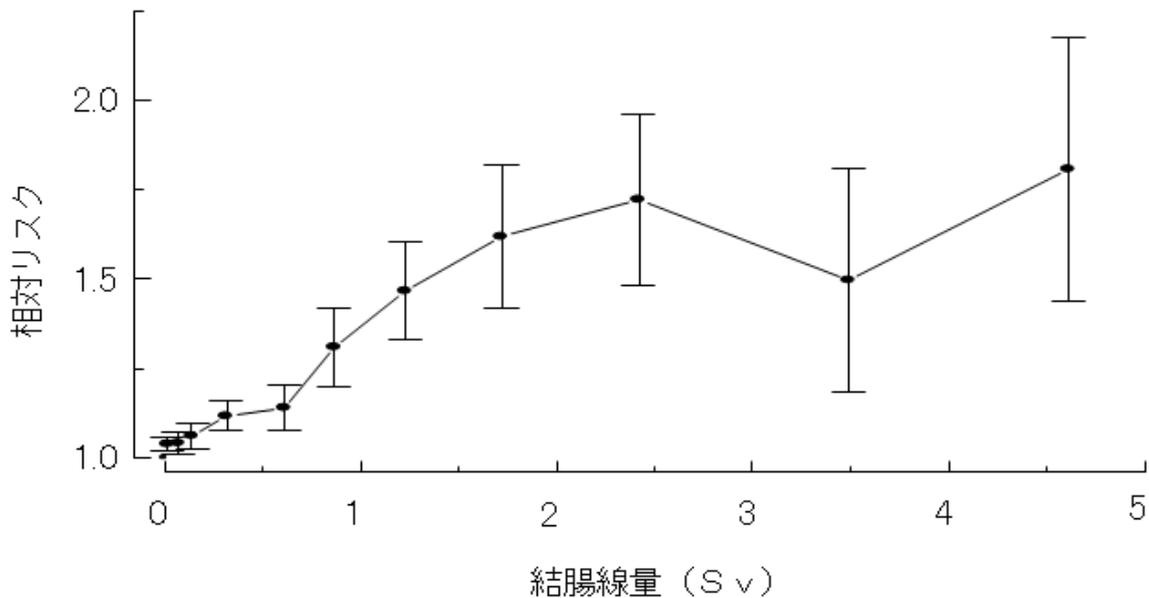
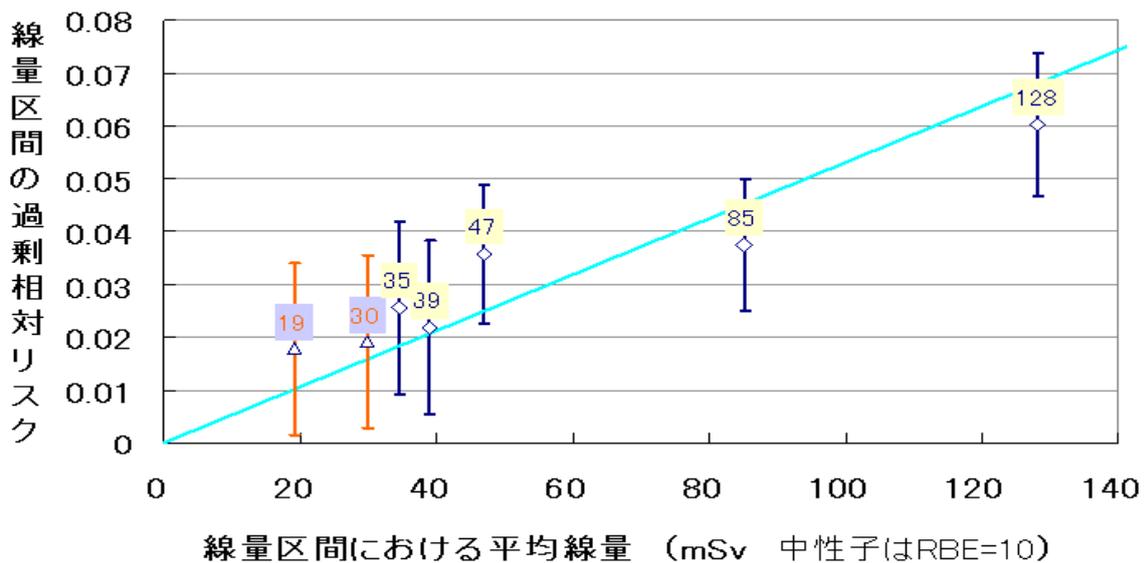


図6 固形がんの線量反応

[出典] Preston DL, Pierce DA, Shimizu Y, Cullings HM, Fujita S, Funamoto S, Kodama K: Effect of recent changes in atomic bomb survivor dosimetry on cancer mortality risk estimates. Radiation Research, 162, 377-389, 2004.



注: 図中の数字は5-50, 5-100, 5-125, 5-150, 5-200, 5-500及び5-1,000mSv区間における平均線量(mSv)。◇: 統計的に有意(p<0.05)、△: 有意でない(p>0.05)。直線は図1と同じリスク係数0.53/Sv。下記の出典の数値をもとに作成した。(平均線量は混成対数正規分布により推定)

図3 低線量域における原爆被爆者の固形がんERRにおける直線性 (1950-1997年調査)

[出典] D. L. Preston, 清水由紀子ら: 放射研報告書No.24-02、原爆被爆者の死亡率調査 第13報 固形がんおよびがん以外の疾患による死亡率:1950-1997年、p.15

---

---

## 2-2)

# 放射線影響の メカニズム

## 細胞に何が起きるのか？



---

---

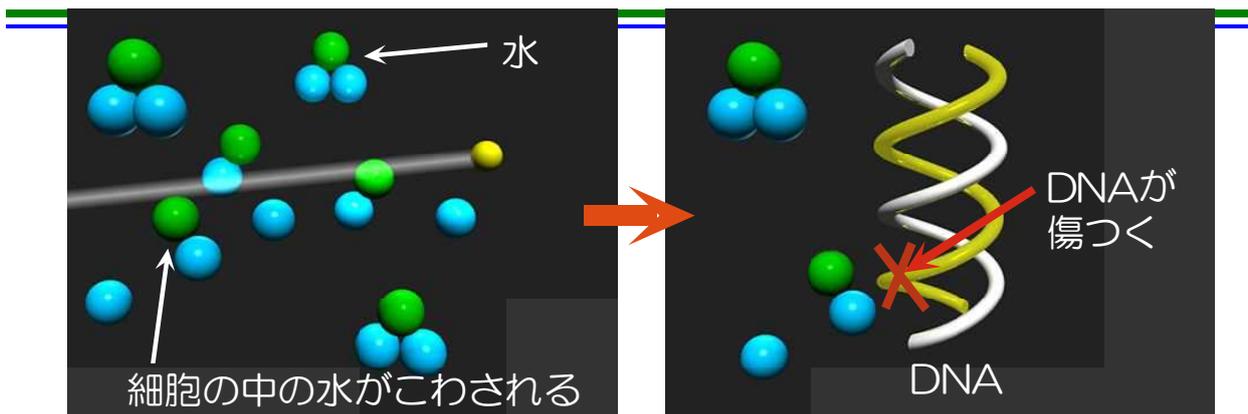
### さて、放射線が体に当たるとどうなるか？

- 私たちの体の中には、約60兆個の細胞と沢山の水があります。
- 放射線は水を電離する力があります。  
水+放射線 ⇒ 水素、酸素  
その途中に、過酸化水素やスーパーオキシドラジカルが出来ます。
- 電離した水から出来た過酸化水素やスーパーオキシドラジカルは細胞中の染色体のDNAを傷つけます。



## 弱い放射線の破壊力（ $\gamma$ 線などの間接作用）

LET：放射線が生物体内などを通過する際に生体などに与えるエネルギー



放射線が体の中を通り抜けると、

- 人体の細胞中の水が放射線でこわされます  
(電離：スーパーオキシドラジカルの生成)。
- このラジカル（活性酸素）が、遺伝情報を持つDNAを傷つけます。

このような影響の大部分は、すぐに直って人の健康に影響を及ぼすことはありませんが、傷が大きい場合にはガンなどの病気を起こす原因になることもあります。



(独) 日本原子力研究開発機構 核燃料サイクル工学研究所 放射線管理部資料より



JAPAN NUCLEAR FUEL LIMITED

73

## さて、放射線が体に当たるとどうなるか？

一部の強い放射線は分子を直接電離する力があります。

**DNAの鎖 ⇒ 鎖の切断**

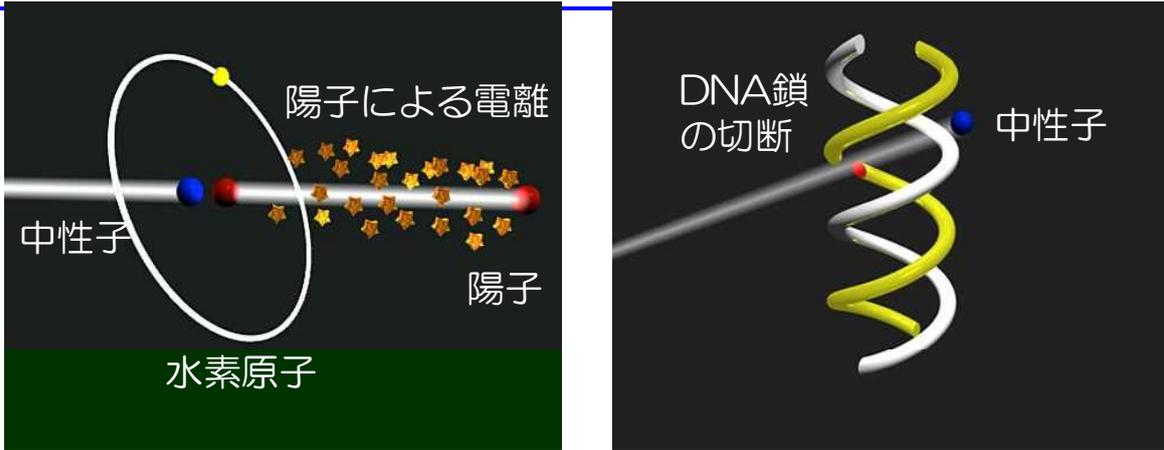
**DNAの損傷が起きます。**



74

## 強い放射線の破壊力（中性子線などの直接作用）

LET：放射線が生物体内などを通過する際に生体などに与えるエネルギー



- 中性子と水素の原子核である陽子とは、質量が同じであるため、中性子で弾き飛ばされ、この陽子が電離作用を生じて、生体に影響を与えます。
- 中性子が直接DNAに作用して、鎖を切断する可能性もあります。

このような中性子の人体への影響は、同じ量の放射線エネルギーを受けた場合には、 $\beta$ 線や $\gamma$ 線の5～20倍大きくなります。



(独) 日本原子力研究開発機構 核燃料サイクル工学研究所 放射線管理部資料より



75

## さて、放射線が体に当たるとどうなるか？

そして、  
DNAが傷つくと・・・？



76

### 質問3 放射線が体に当たるとどうなるか？

---

---

そして、  
DNAが傷つくと・・・？

A：直る？

B：直らない？

どちらだと思われますか？



77

さて、放射線が体に当たるとどうなるか？

---

---

そして、  
DNAが傷つくと・・・？

A：直る！

体内の修復酵素が動員され  
DNAは直ります。



78

さて、放射線が体に当たるとどうなるか？

---

---

そして、  
DNAが傷つくと・・・？  
しかし、B：直らない！  
一度に沢山傷つくと、修復酵素の  
動員が間に合わなくなり、  
直らないDNAが出てきます。



79

さて、放射線が体に当たるとどうなるか？

---

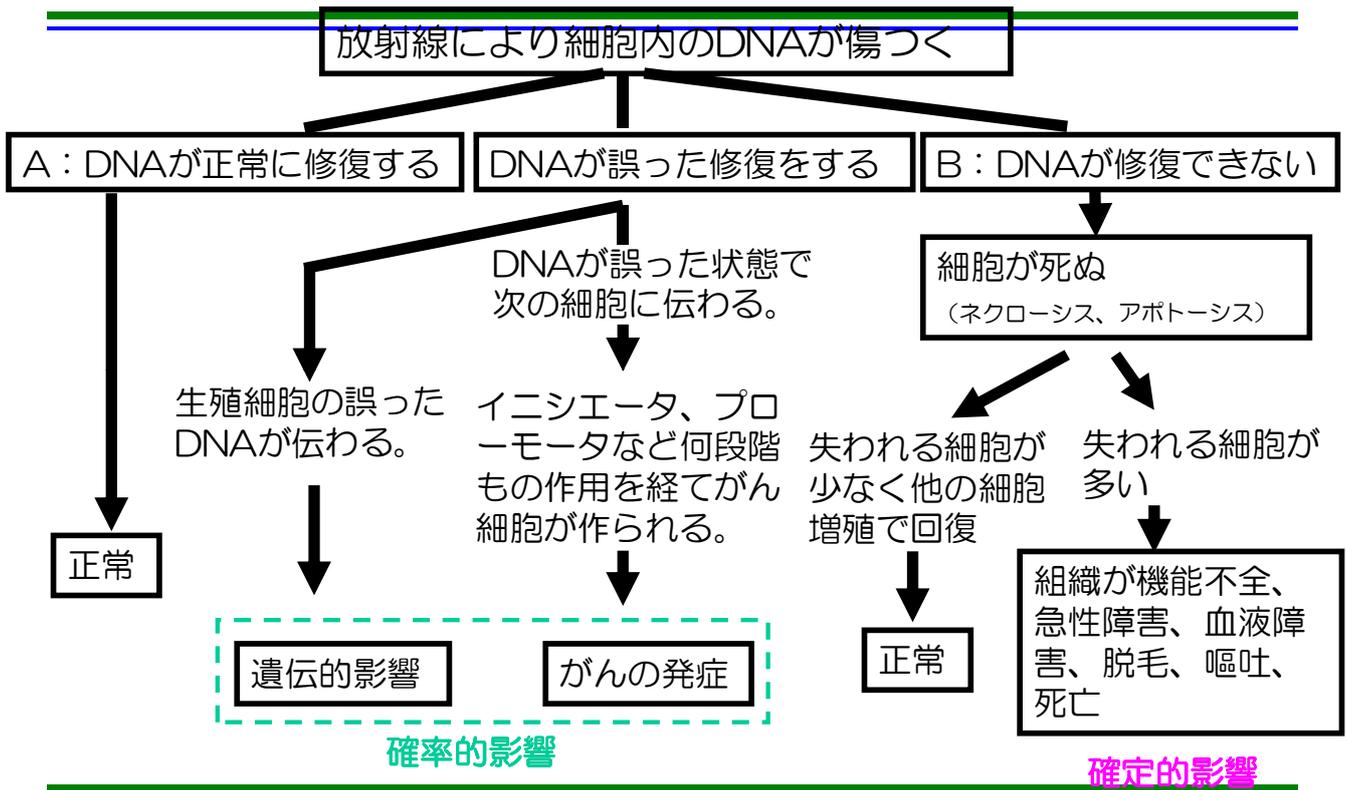
---

そして、  
DNAが傷つくと・・・？  
時には誤った修復をする！  
修復時につなぎ間違いが起きます。  
変なDNAが生まれます。  
3番目のケースがあります。



80

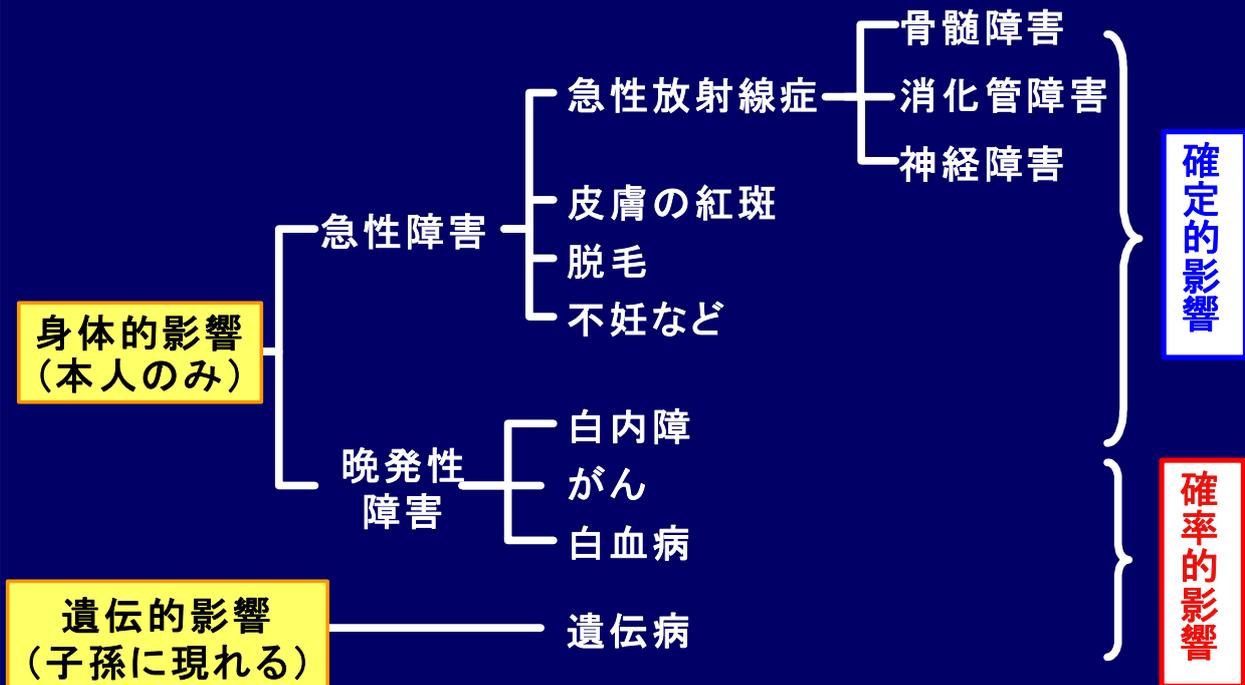
# 細胞がピンチ（放射線の人体への影響）



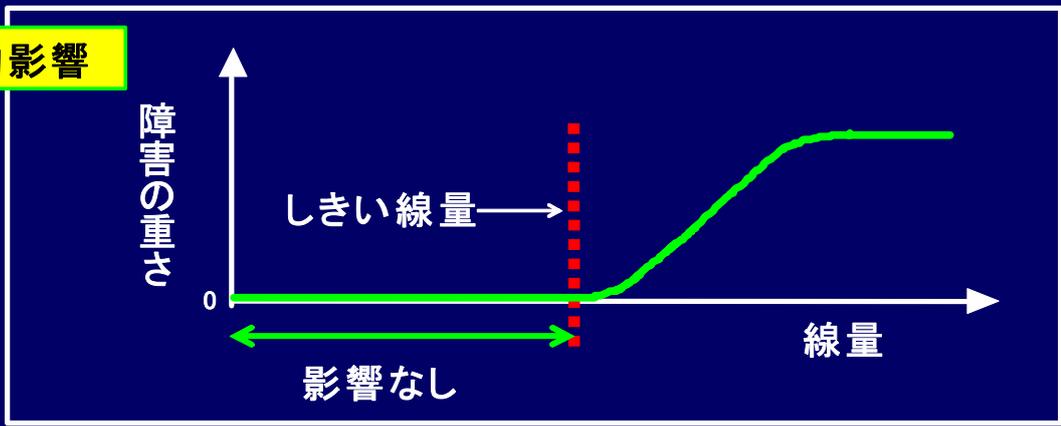
(独) 日本原子力研究開発機構 核燃料サイクル工学研究所 放射線管理部資料より



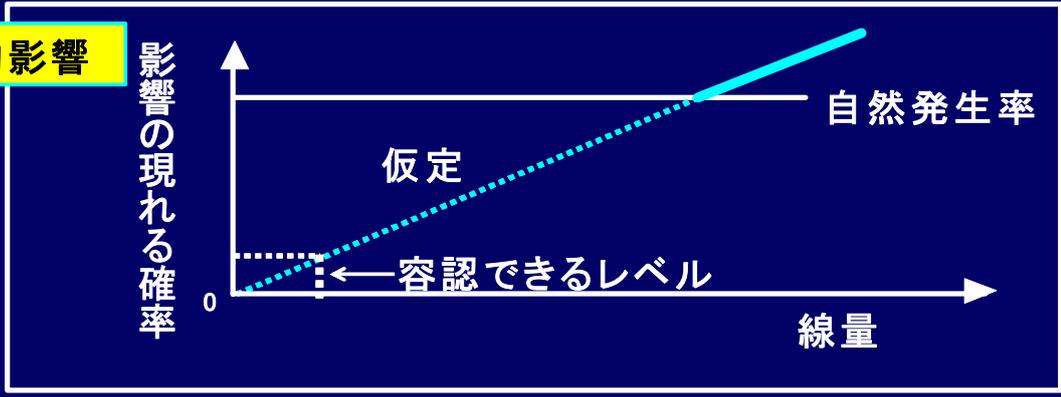
# 放射線の人体への影響



### 確定的影響



### 確率的影響



出典: 明石真言氏スライド

## 放射線による急性障害のしきい値



## とても優れた免疫力



---

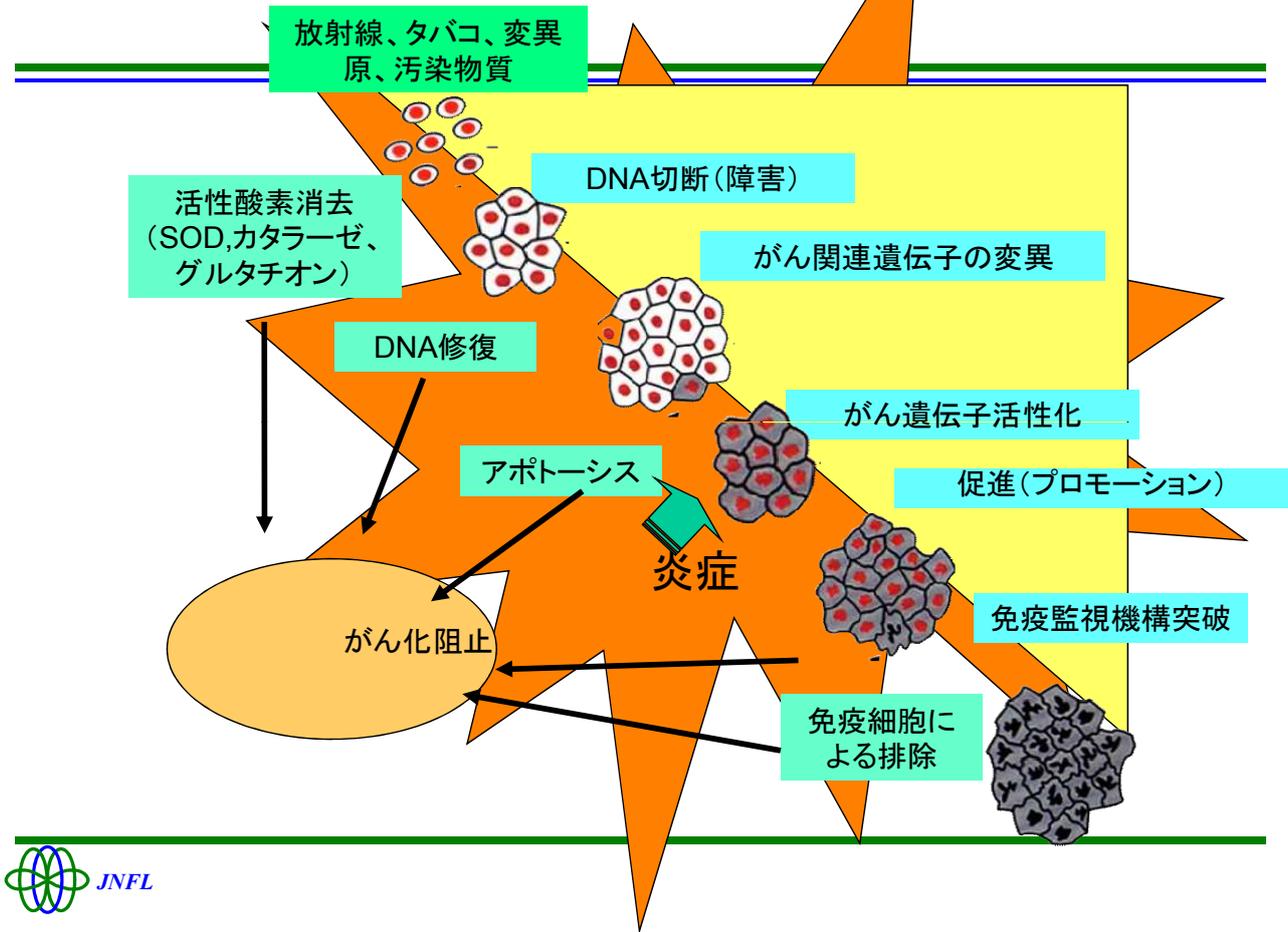
変異した細胞が即がん化するわけ  
ではない！がん化には長いプロセ  
スがある。



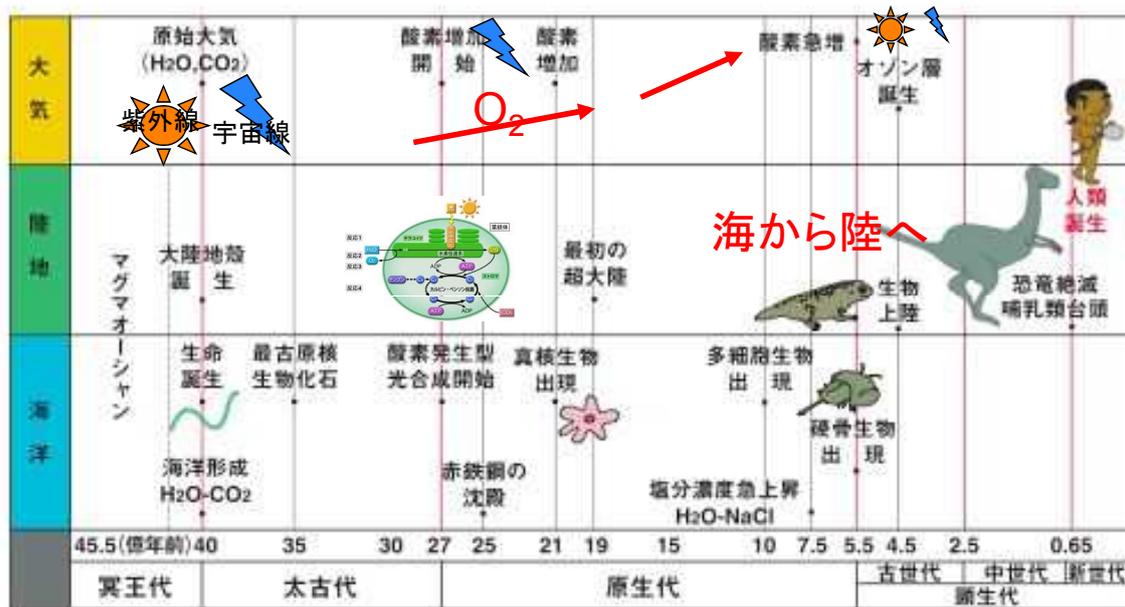
炎症はがん化を促進する。



# がん化のプロセスと多段階の抑制機構



紫外線、宇宙線、酸素による障害からの修復機構を獲得した生物が、地球上で繁栄してきた！



<<図1-1>>大気の変化と生命の変化 (出所: 「全地球史解説」(飯沢ほか, 東京大学出版会)より制作。)

# DNAの傷の修復を高めるために

生活の中で体を守るために

**免疫力**を高める

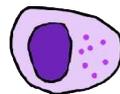
バランスのよい**食事**

十分な**睡眠・休養**

適度な**運動**



日々出現する変異細胞(がん)の除去に働く、ナチュラルキラー(NK)細胞



代表的免疫細胞

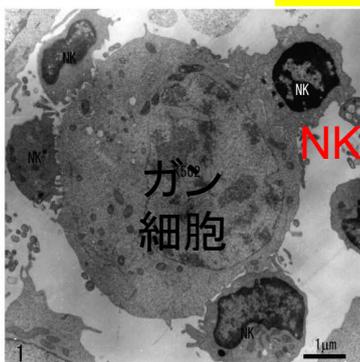
NK活性化要因: 生き甲斐

笑い、生き甲斐、サポート

抗酸化能の高い食事

NK低下要因: ストレス

恐怖 絶望



## 質問 4

---

今、癌で亡くなる人は、  
どの位、いますか？

(答え)

C. 1000人で ???人です。

## 質問 4(続)

---

今、癌で亡くなる人は、  
どの位、いますか？

(答え)

C. 1000人で 300人です。

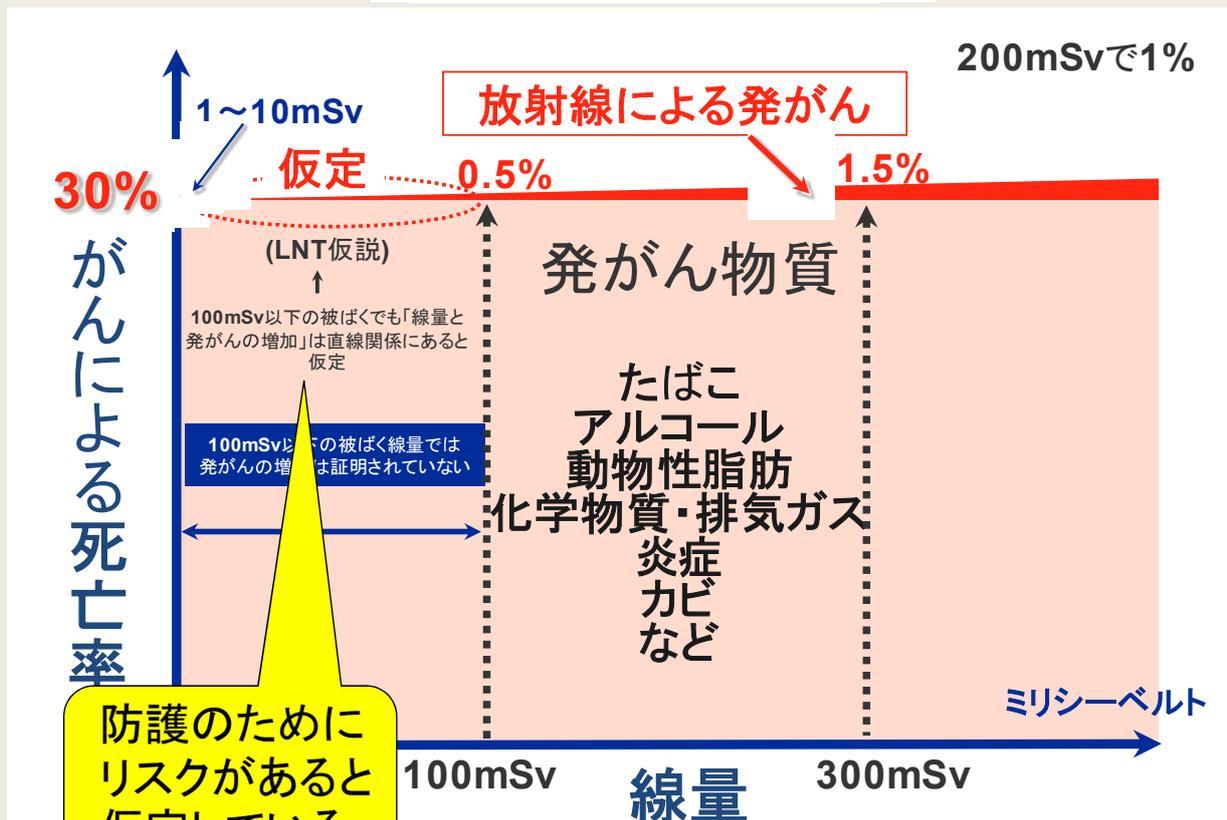
# 質問 4(続)

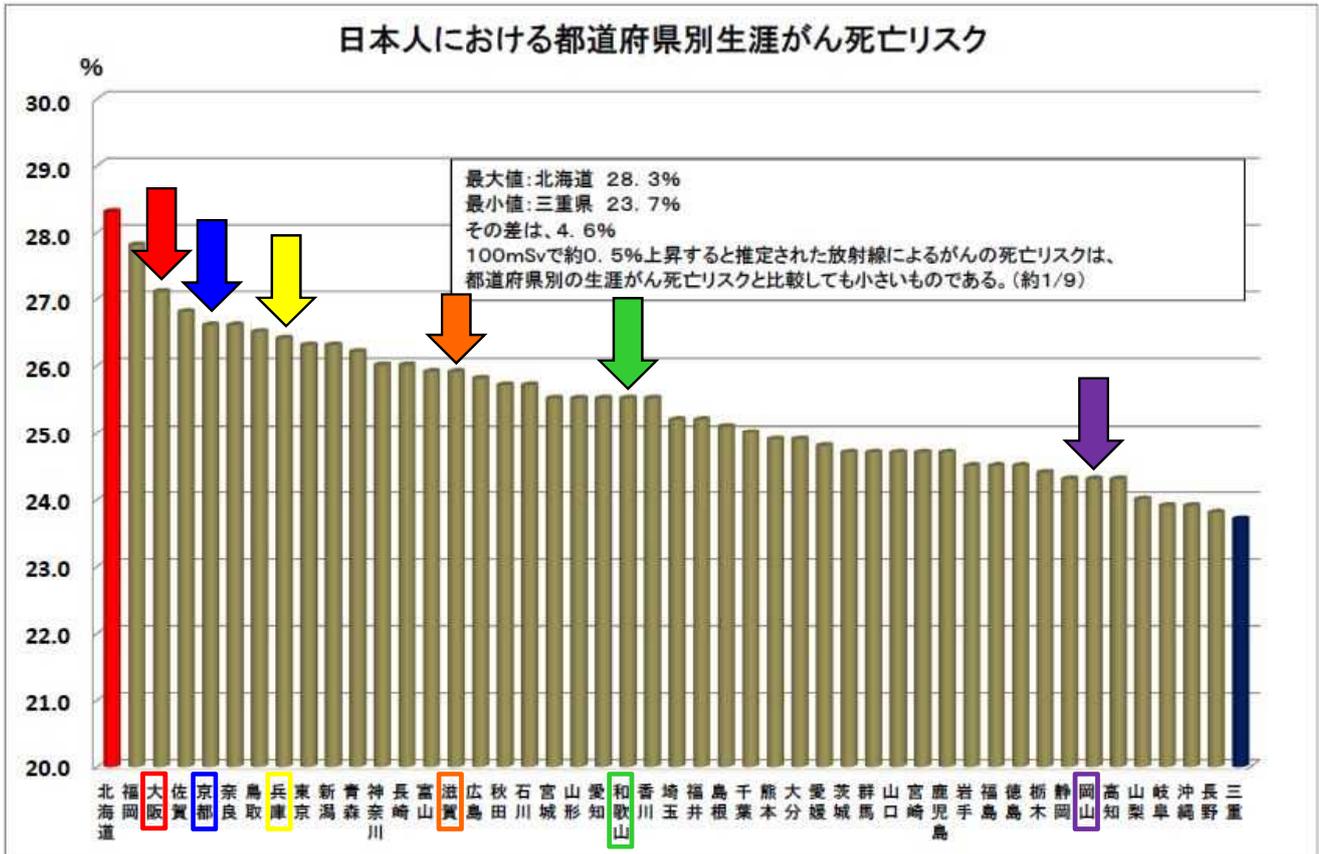
100ミリシーベルトの放射線を浴びると癌で亡くなる人は、どの位になりますか？

C.1000人で 300人⇒305人と仮定されています。



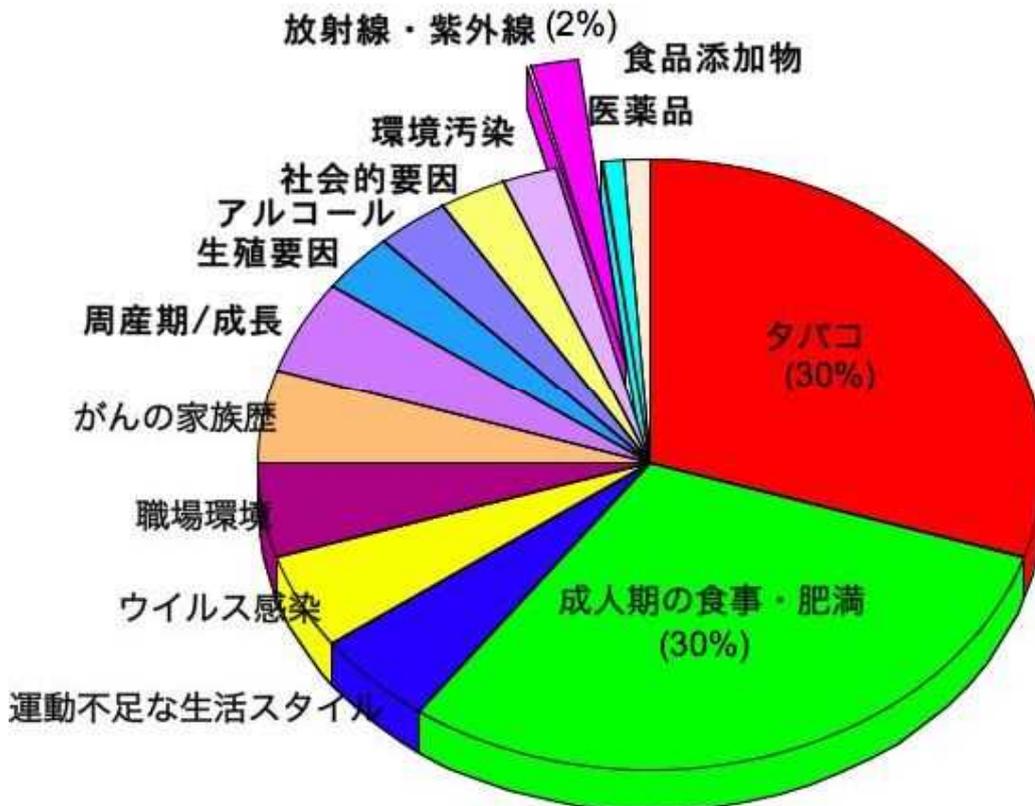
## 発がんのリスク





出典: H. Ogino and T. Hattori, Calculation of Background Lifetime Risk of Cancer Mortality in Japan, Jpn. J. HealthPhys., 49 (4), in press, (2014).

### がん要因別リスク



Cancer Causes Control, 1996, No.7, p.S55-S58

発がんリスクは食物、喫煙の影響が大きい

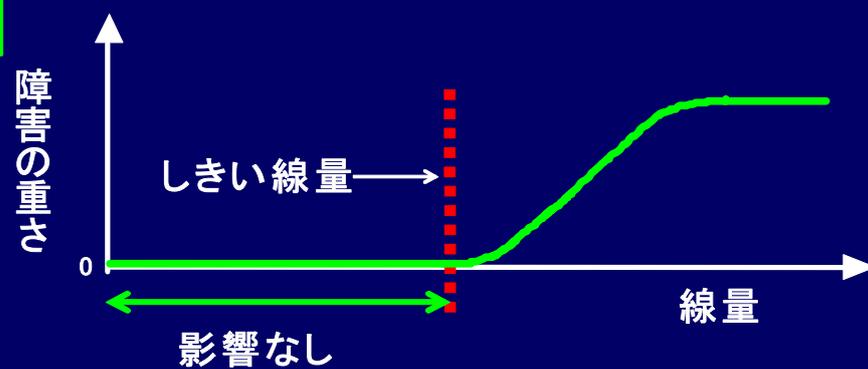
## 免疫力とNK細胞の重要性

- 免疫力はガン化を抑制する
- 不安な気持ちは、免疫力を低下する
- NK細胞を活用しましょう
- 明るく、楽しく、元気良く、前向きに暮らす

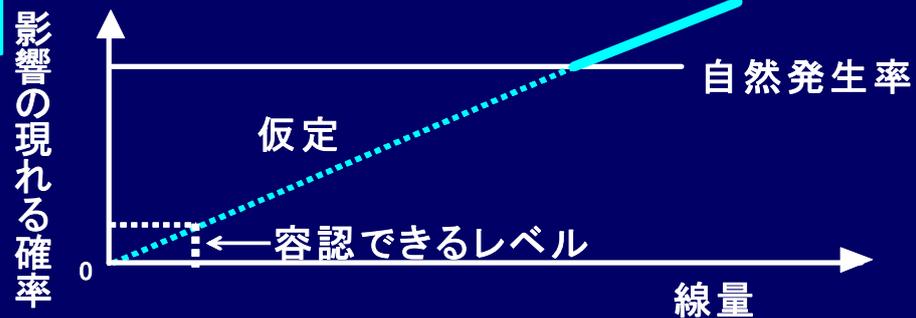
## 今日のお話 (ものさしを求めて)

1. 身の回りの放射線
2. 放射線の健康影響
3. **放射線の防護の基準**
4. 再処理工場から環境に放出される放射物質による環境影響評価

## 確定的影響



## 確率的影響



## 被ばく管理の基本的な方針

1. **確定的影響** (しきい線量がある)  
発生を防止 (しきい線量よりも低く保つ)  
(眼、皮膚、骨髄、精巣の病気を発生させない)
2. **確率的影響** (がん、白血病など)  
容認できるレベル以下に発生を減らす。  
(発がんにより死亡する確率を制限)

## 初期に発生した放射線による障害

- X線管球製作者の手の皮膚炎(1900年頃～)
- 米国夜光塗料工場におけるダイヤルペインターの骨肉腫(ラジウム;1920年代～)
- トロトラスト晩発障害(二酸化トリウム・エックス線造影剤投与者の肝悪性腫瘍、1940年代～)
- ウラン鉱山の鉱夫の肺疾患(ラドンとその子孫核種;1950年代～)
- キュリー夫人 白内障、再生不良性貧血(1867-1934年)



## 国際放射線防護委員会のはじまり

International Commission on Radiological Protection(ICRP)

1. X線の発見 1895年  
放射能の発見 1896年  
ラジウムの発見 1897年  
放射線医学のはじまり
2. クレアランス・ダリ  
夜光塗料工員  
放射線障害の認知
3. 国際放射線医学会 創設 1924年  
International Congress of Radiology(ICR)
4. 国際X線及びラジウム防護委員会 1928年  
↓  
ICRP 1950年



## 作業者の線量限度の推移

- ・ 1928年 X線取扱者の作業条件を提示
- ・ 1934年 耐容線量 0.2r／日
- ・ 1950年 最大許容線量 0.3R／週
- ・ 1954年 最大許容線量 0.3rem／週
- ・ 1958年 最大許容集積線量  $D=5(N-18)$   
最大許容線量 3rem／3ヶ月
- ・ 1965年 最大許容線量 5rem／年
- ・ 1977年 実効線量当量限度 50mSv／年

## ICRPの防護の3つの原則

- ・ **行為の正当化**（無駄な被ばくいけない）  
放射線被ばくを伴う行為は、正味の便益がある場合以外は導入してはならない。
- ・ **防護の最適化**（合理的に低くしなさい）  
社会的、経済的な要因を考慮して合理的に達成できるかぎり低く被ばくを抑える。  
ALARA : As Low As Reasonably Achievable
- ・ **線量限度**（限度は守りなさい）  
最適化が行われていても超えることができない線量の上限值。

# 1990年勧告の線量限度

## ◎ 職業被ばく

- ・ 実効線量  
5年間の合計で100mSv、かつ単年度で 50mSv／年
- ・ 等価線量  
眼の水晶体 150mSv /年  
皮膚、手先、足先 500mSv /年

## ◎ 公衆被ばく

- ・ 実効線量 1 mSv /年
- ・ 等価線量 眼の水晶体 15mSv /年  
皮膚 50mSv /年



## 放射線に係る規制の仕組み

世界

### 【国際放射線防護委員会(ICRP)】

- ・ 専門家の立場から放射線防護に関する勧告を行う国際的な組織
- ・ 周辺住民の安全確保を目的として、公衆の線量限度(1ミリシーベルト/年)などを文書で勧告し、世界各国の法令に採用されている。

日本

- 国内法令への取り入れを検討・審議: 文部科学省(放射線審議会)
- ・ 原子炉等規制法、放射線障害防止法などで、作業員や一般公衆の線量限度などを規定。

原子力事業者

設計段階(安全審査)

- ・ 国による事業の許可
- ・ 設計と工事の認可
- ・ 保安規定の認可 など



作業段階

- ・ 作業員の被ばく管理
- ・ 施設内の放射線(能)管理
- ・ 廃棄物の管理
- ・ 環境モニタリング など

工場で働く人、  
一般の方々の安全  
を確保



# わが国の線量限度

---

## ◎ 職業被ばく

- 実効線量  
5年間の平均が20mSv／年かつ 50mSv／年
- 等価線量  
眼の水晶体 150mSv /年  
皮膚、手先、足先 500mSv /年

## ◎ 公衆被ばく

- 実効線量 1 mSv /年
- 等価線量 眼の水晶体 15mSv /年  
皮膚 50mSv /年



## 今日のお話 (ものさしを求めて)

---

1. 身の回りの放射線
2. 放射線の健康影響
3. 放射線の防護の基準
4. **再処理工場から環境に放出される放射物質による環境影響評価**



## 5. 再処理工場から環境に放出される放射線影響評価

### 5-1) 基本計画

### 5-2) アクティブ試験の結果

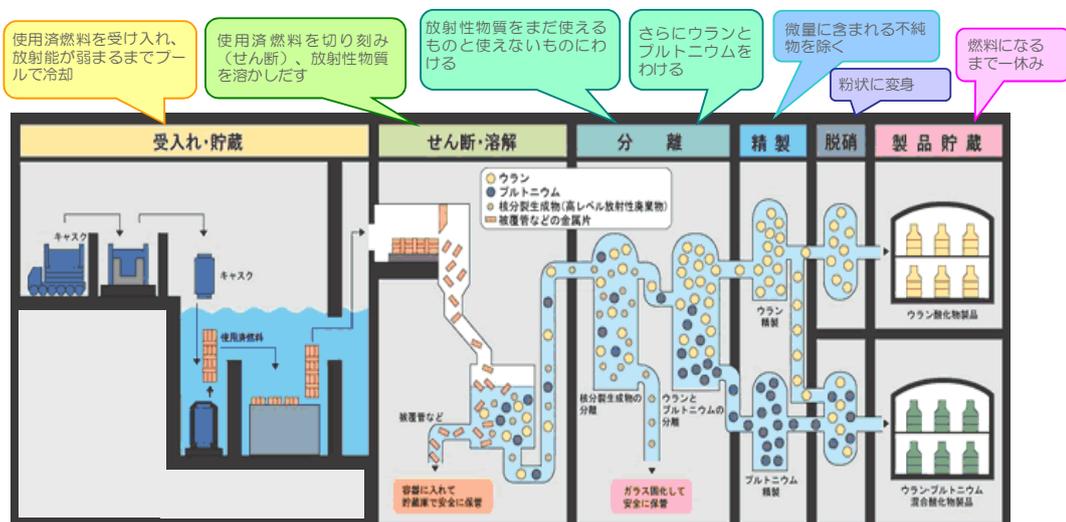
- ・クリプトン85
- ・トリチウム
- ・炭素14



## 再処理工場の概要

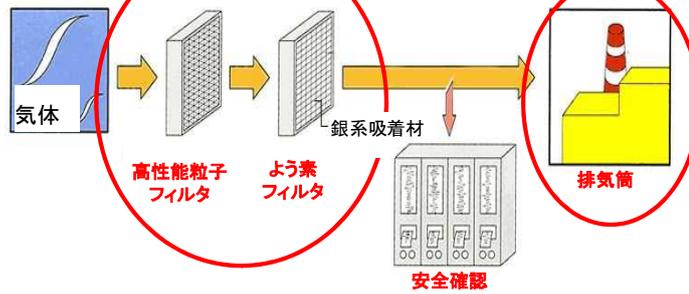
再処理工場では、原子力発電所で使い終わった燃料（使用済燃料）からまだ使うことができるウランやプルトニウムを取り出します。

（使用済みの燃料を再び使えるように処理を行う工場であることから、「再処理工場」といいます）

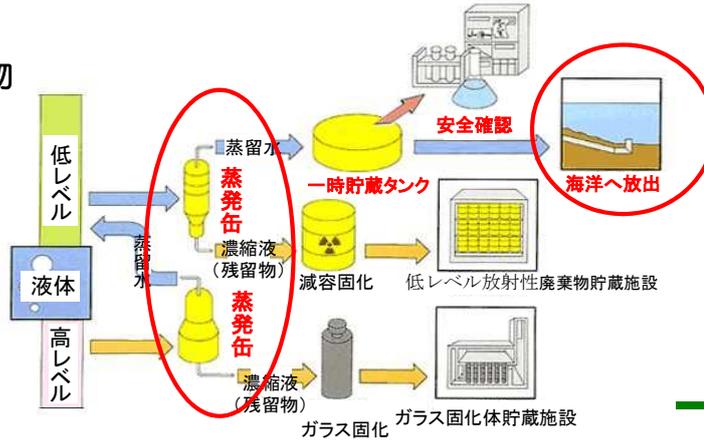


# 放射性廃棄物の処理方法

## ・放射性気体廃棄物



## ・放射性液体廃棄物



# 放射性廃棄物の放出量(800t再処理時)

## 六ヶ所再処理工場の年間放出管理目標値

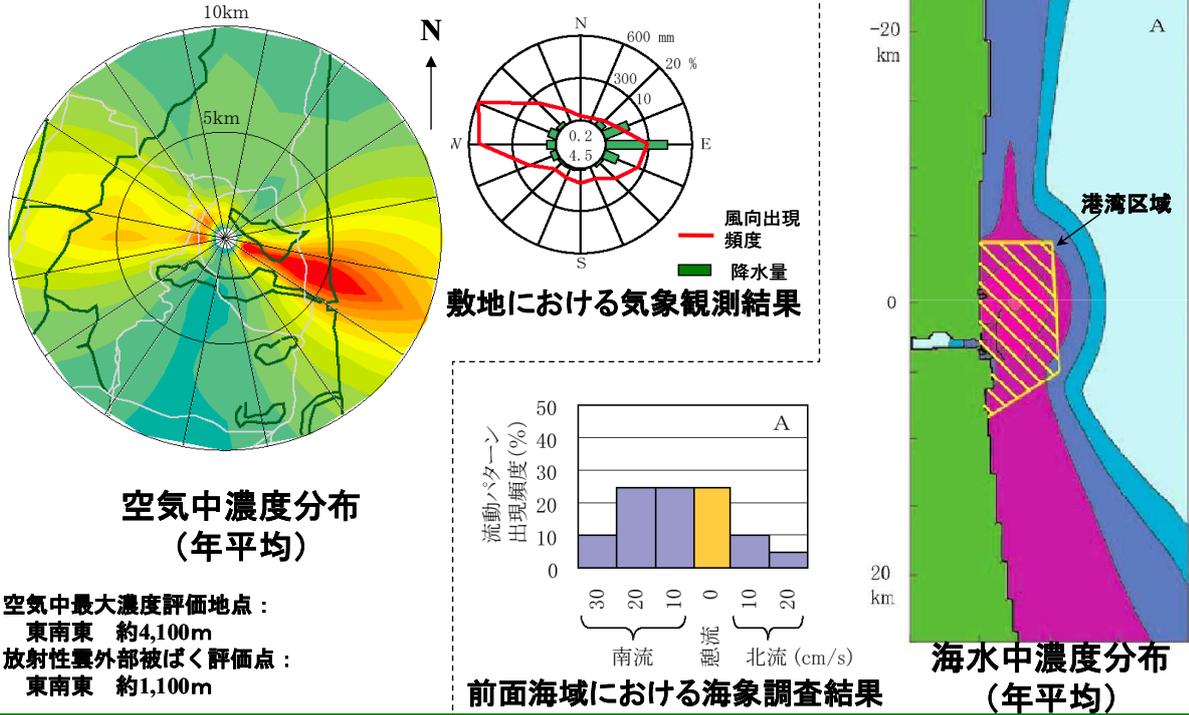
気 体	
放射性物資の種類	放出量(TBq)
クリプトン-85	330,000
トリチウム	1,900
炭素-14	52
よう素-129	0.011
よう素-131	0.017
その他α線を放出する核種	0.00033
その他α線を放出しない核種	0.094

液 体	
放射性物資の種類	放出量(TBq)
トリチウム	18,000
よう素-129	0.043
よう素-131	0.17
その他α線を放出する核種	0.0038
その他α線を放出しない核種	0.21

1TBq(テラベクレル)は  
 $1 \times 10^{12}$ (1兆ベクレル)

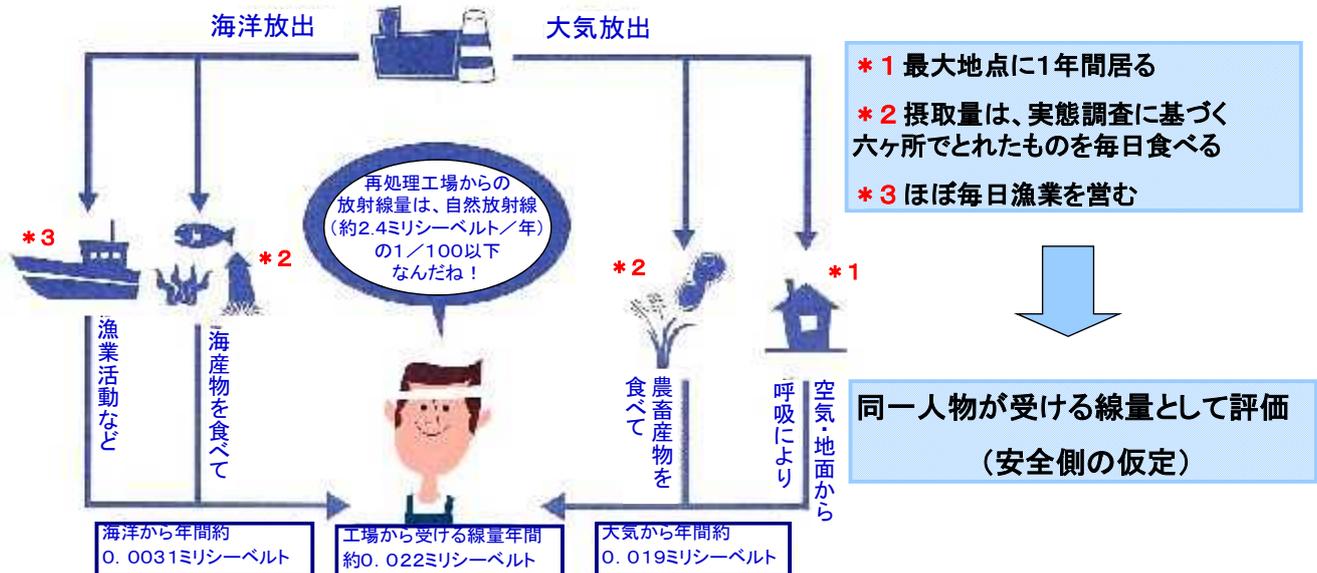
# 六ヶ所村における気象・海象条件と拡散評価

## 放出放射性物質の大気及び海洋の拡散



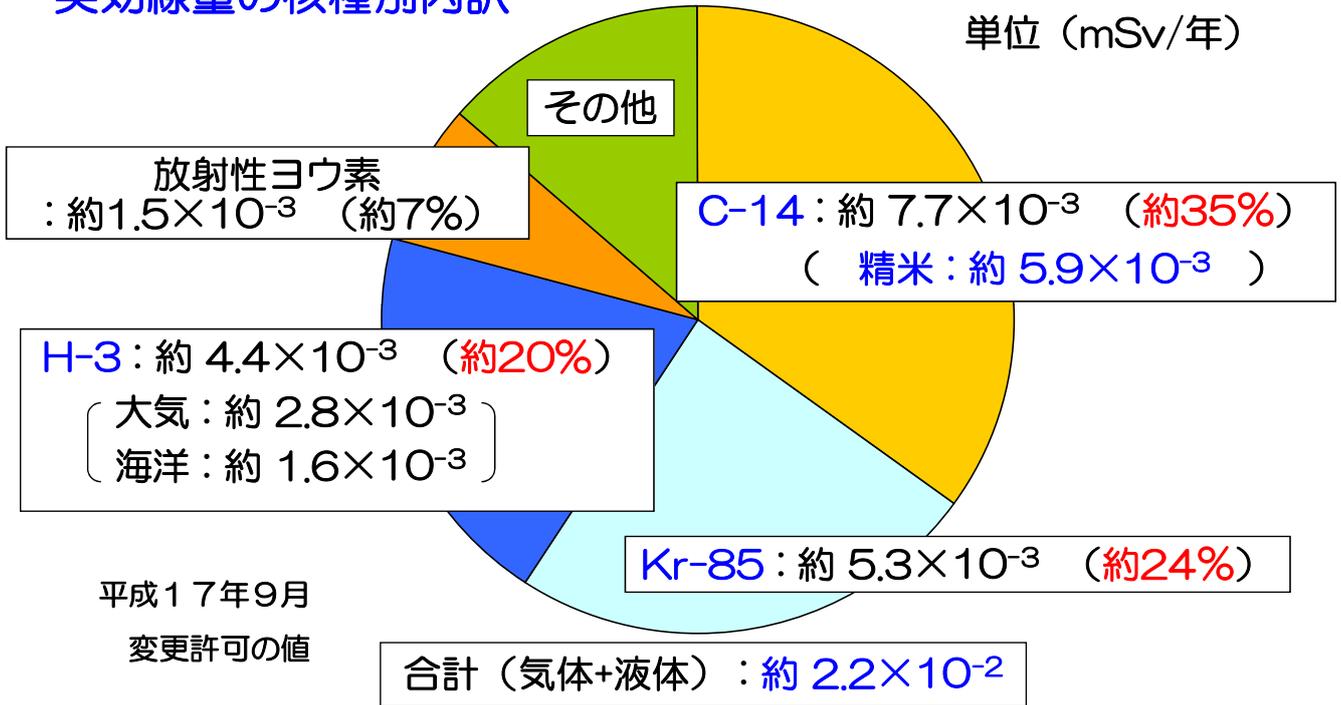
# 六ヶ所再処理工場からの放出放射能による線量評価

操業時に液体・気体廃棄物の放出によって施設周辺で受ける放射線の量は、最大に見積もっても、1年間に約0.022ミリシーベルトです。



# 計画段階の環境影響評価

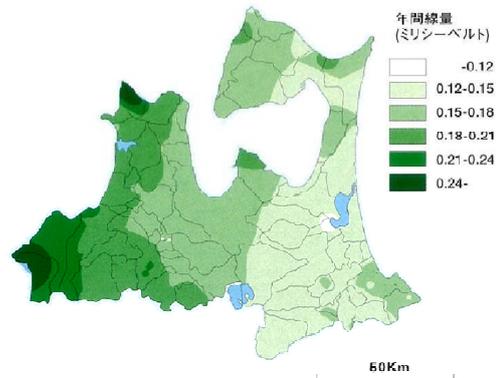
## 実効線量の核種別内訳



## 0.022mSv とは、どの程度か



●青森県における大地からのγ線放射線量(屋外)

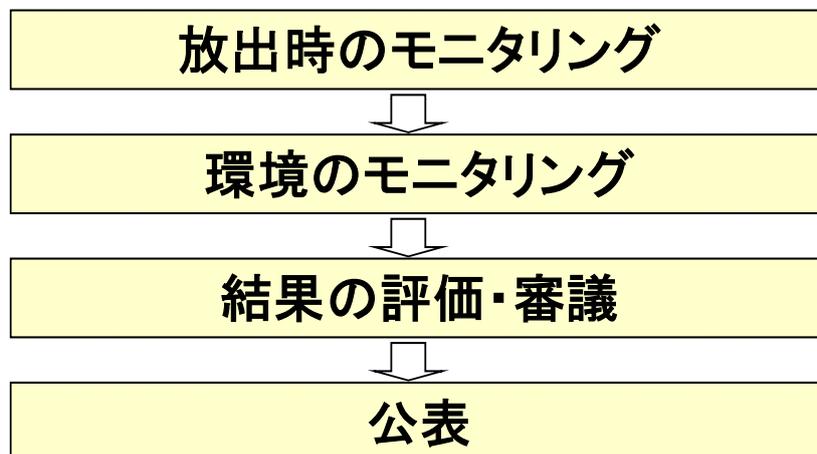


自然放射線による影響や地域差に比べてとても小さく、健康への影響を心配する必要はありません



# 放射性物質の放出と管理、監視

- 原子力施設からの排気・排水は、施設から放出される時の監視・測定、周辺地域での放射線の連続監視、環境試料中の放射能濃度の定期的な測定が行われます。



## モニタリングステーションでの測定



# 環境モニタリング結果の評価・審議・公表

モニタリング結果については、専門家や学識経験者などにより影響がないか評価・審議いただき、その結果は公開されます。



試料の種類	採取時期	記号	測定結果					単位	
			0.0001	0.001	0.01	1	10		100
大気(浮遊じん)	4, 7, 10, 1月	☁️	全アルファ放射能	[Bar chart]					ミリベクレル/立方メートル
			セシウム-137	[Bar chart]					
			ストロンチウム-90	[Bar chart]					
			プルトニウム	[Bar chart]					
大気(水蒸気状)	毎月	☀️	トリチウム	[Bar chart]					ミリベクレル/立方メートル
			フッ素	[Bar chart]					マイクログラム/立方メートル
大気(気体状)	連続	☀️	ベータ放射能	[Bar chart]					ミリベクレル/立方メートル
			フッ素	[Bar chart]					ピーピーピー
降下物	毎月	☔️	セシウム-137	[Bar chart]					ベクレル/平方メートル
			ストロンチウム-90	[Bar chart]					
雨水	7, 10月(深川線)	🌿	トリチウム	[Bar chart]					ベクレル/リットル
			セシウム-137	[Bar chart]					
降下物	4, 7, 10, 12月(湖沼水)	🌿	ストロンチウム-90	[Bar chart]					ミリベクレル/リットル
			プルトニウム	[Bar chart]					
			ウラン	[Bar chart]					
			トリチウム	[Bar chart]					ベクレル/リットル
湖水	4, 7, 10, 1月(湖沼水, 井戸水)	🌿	フッ素	[Bar chart]					ミリベクレル/リットル
			セシウム-137	[Bar chart]					
湖水	4, 7, 10, 1月	🌿	ストロンチウム-90	[Bar chart]					ミリベクレル/リットル
			プルトニウム	[Bar chart]					
六ヶ所	7, 10月(河川上)	🌿	トリチウム	[Bar chart]					ベクレル/リットル
			セシウム-137	[Bar chart]					
			ストロンチウム-90	[Bar chart]					
			プルトニウム	[Bar chart]					
陸	10月(湖沼土)	🌿	ウラン	[Bar chart]					ベクレル/キログラム乾
			ヨウ素-129	[Bar chart]					



## 六ヶ所再処理工場のアクティブ試験

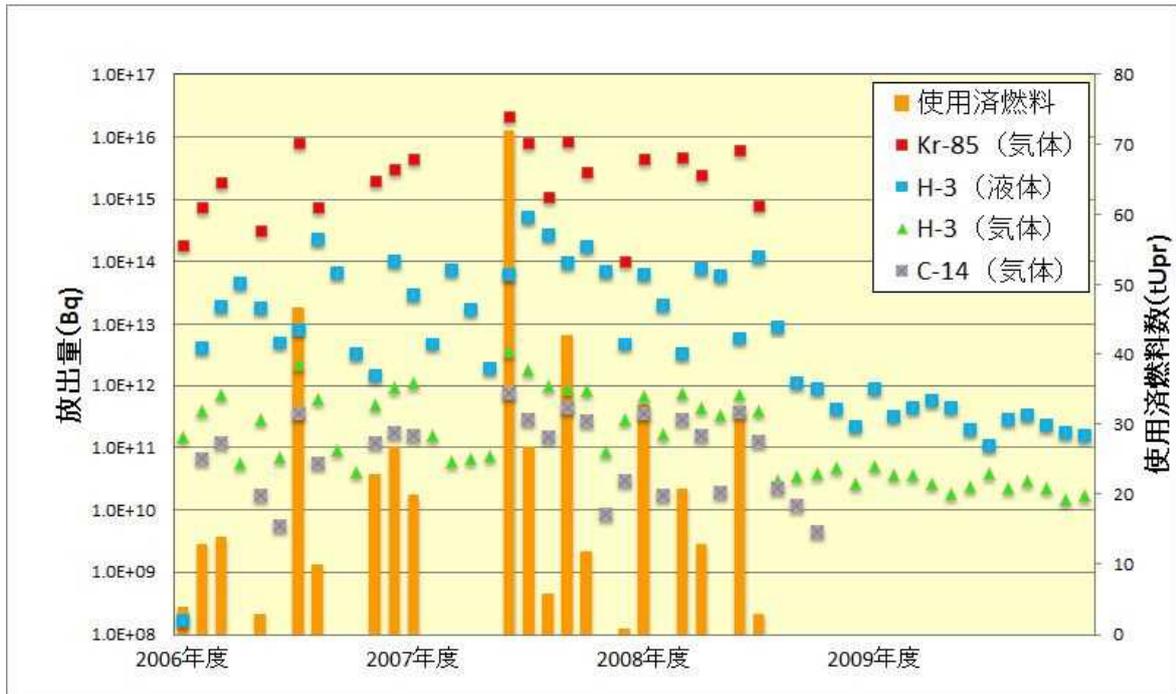
2006年3月31日に開始し、3年間、せん断・溶解を実施 (3年間で合計425t・U処理)

表 各年度における処理量

年度	年間処理量 (t・U)	年間定格800t・U処理に対する割合(%)
2006	140	18
2007	182	23
2008	103	13



# 六ヶ所再処理工場からの月間放出量実績(2006～2009年度)



六ヶ所再処理工場からの放出実績



## クリプトン85の環境モニタリングと線量評価の概要

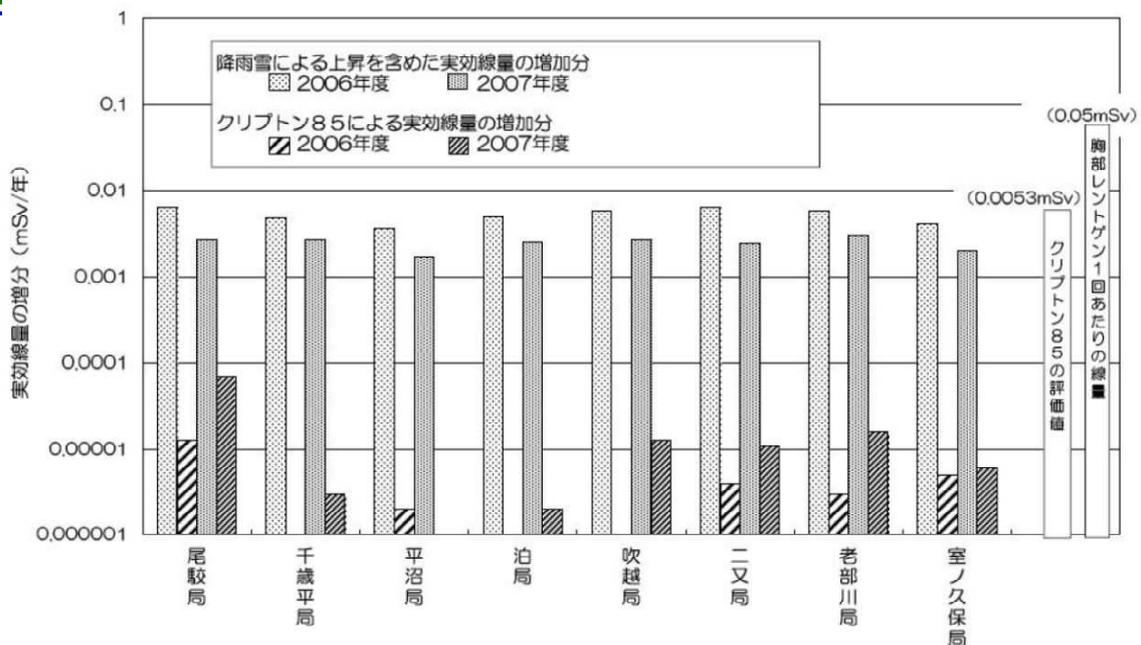
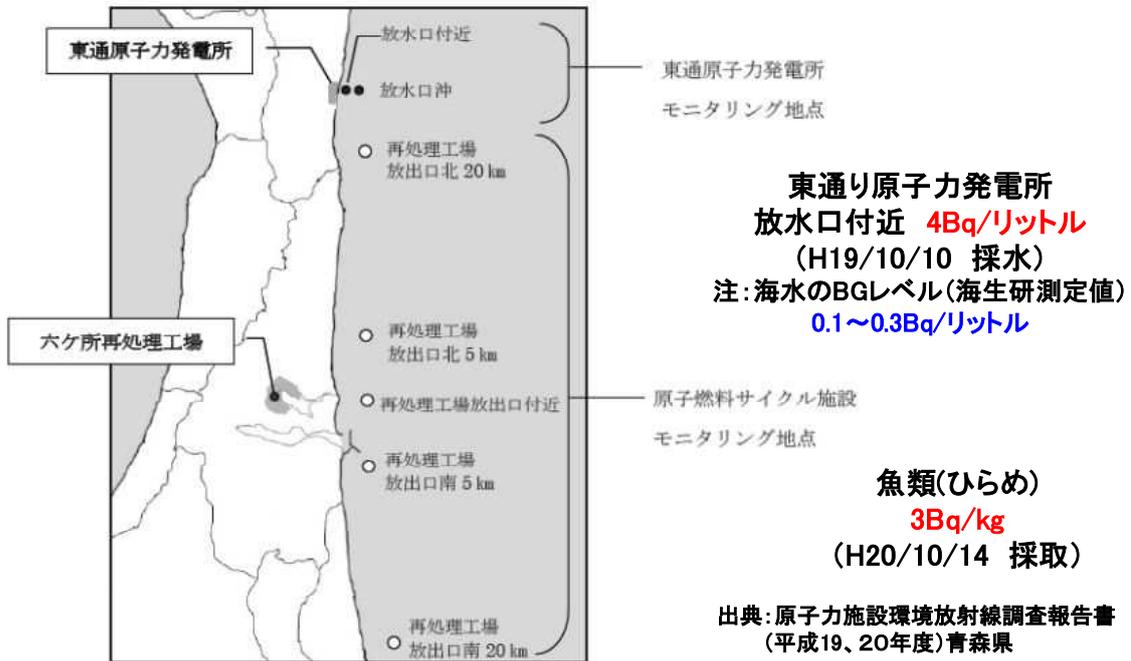


図5 空間放射線量率による実効線量の増加分 (2006年度、2007年度)  
 図 空間放射線量率による実効線量の増加分 (2006年度、2007年度)



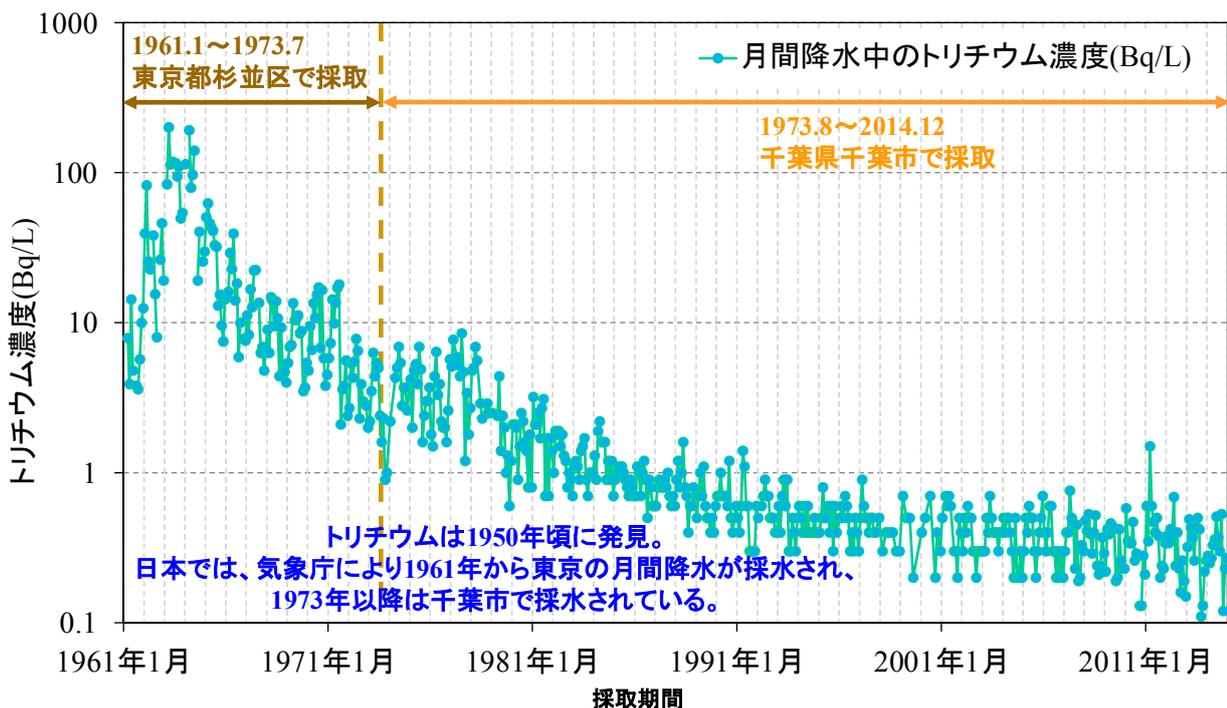
# 海水・魚の中のトリチウムの測定結果



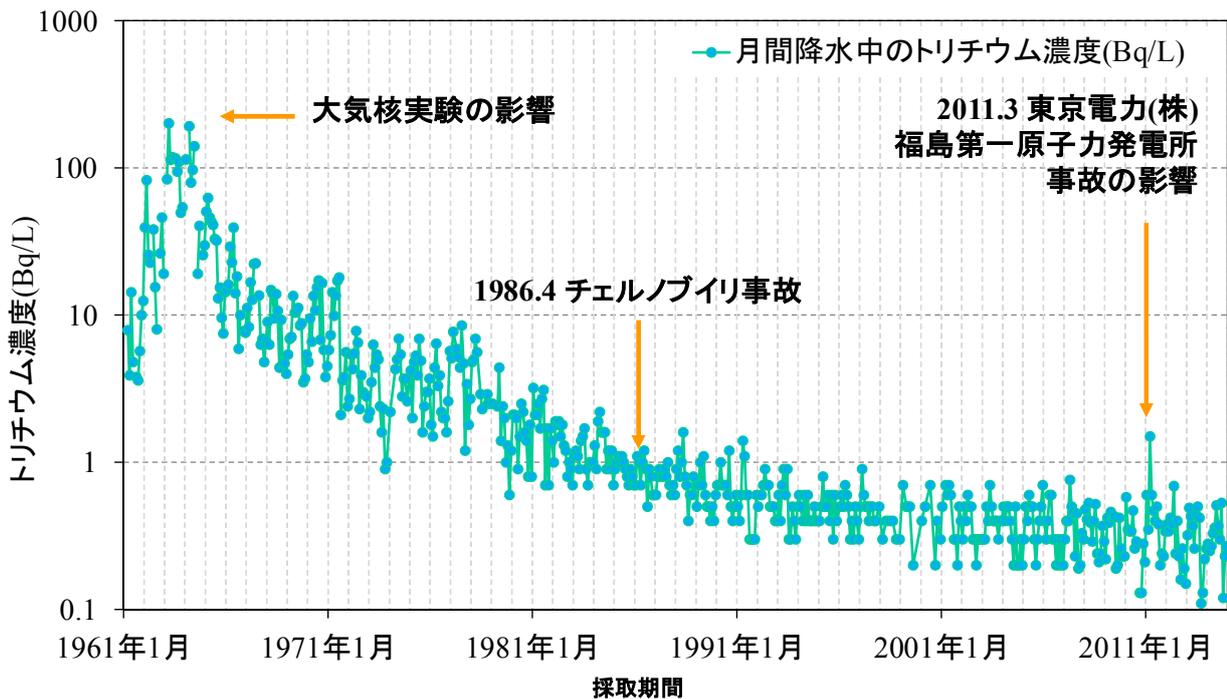
海洋試料の採取地点



# 東京・千葉の月間降水中トリチウム濃度の変化



# 東京・千葉の月間降水中トリチウム濃度の変化



放射線医学総合研究所、「放射線安全研究成果情報データベース、環境中のトリチウム測定調査データベース」125  
<http://www.nirs.go.jp:8080/anzendb/NetsDB.html>  
原子力規制庁、「環境放射線データベース」<http://search.kankyo-hoshano.go.jp/ser/vlet/search.top>  
(参照 2015/06/23)

## 六ヶ所再処理工場のアクティブ試験

- ・海洋に放出されたトリチウムの影響を見ると・  
(最大値が検出された2008年度の場合)
- ・放出量： $3.6 \times 10^{14}$ Bq→約360兆Bq
- ・放出水の濃度： $4 \times 10^5 \sim 3.3 \times 10^7$ Bq/ℓ
- ・海水の中の濃度(最大)：4 Bq/ℓ
- ・ヒラメの中の濃度(最大)：3 Bq/kg
- ・食べることの影響(年間)  
毎日200gの魚を食べて：0.000004mSv



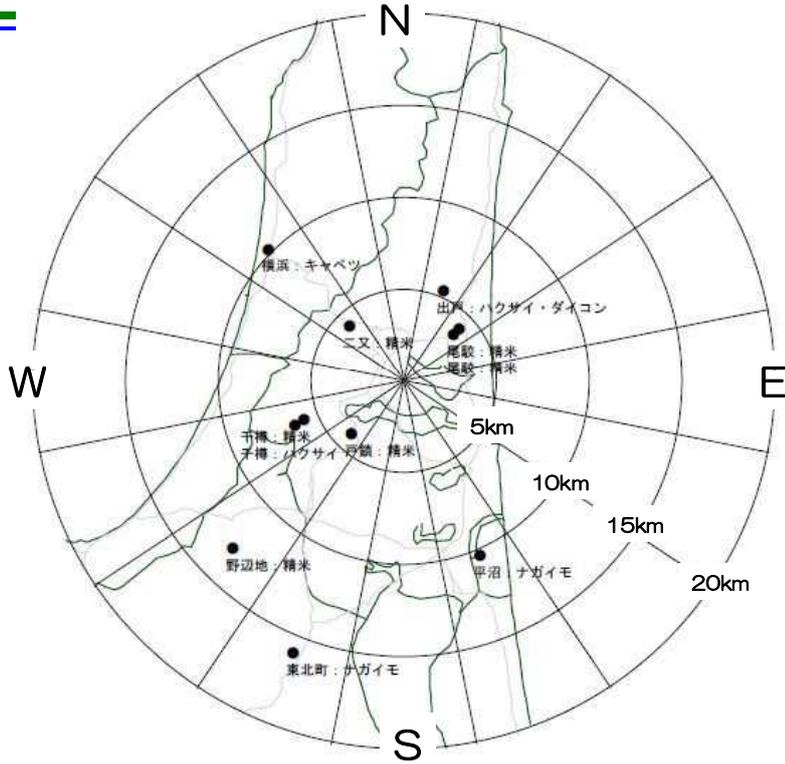
# 環境モニタリングの結果と線量評価について (炭素14 1/2)

炭素14を測定する野菜類

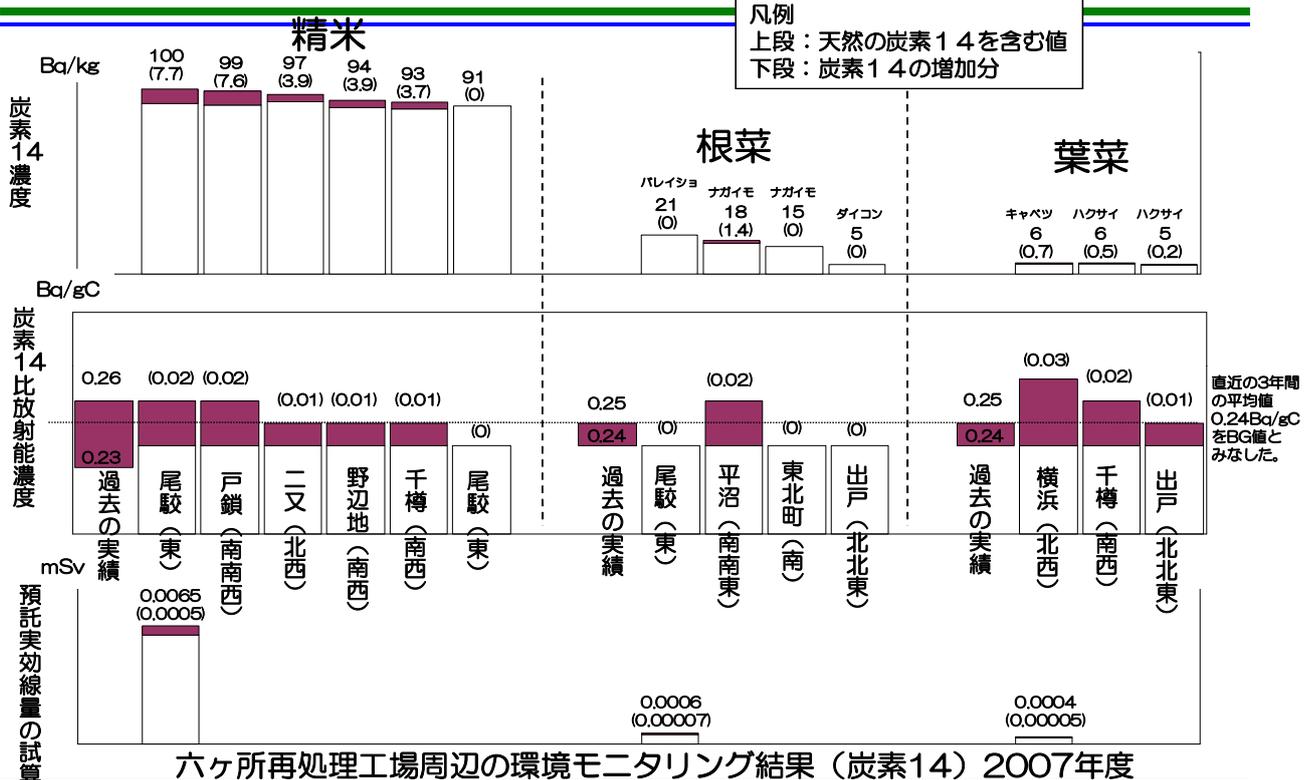
精米

バレイショ  
ナガイモ  
ダイコン

キャベツ  
ハクサイ



# 環境モニタリングの結果と線量評価について (炭素14 2/2)



## 六ヶ所再処理工場のアクティブ試験

- ・大気に放出された炭素14の影響を見ると・・・  
（最大放出実績の2007年度の場合）
- ・放出量： $9.8 \times 10^{12}$ Bq→約10兆Bq
- ・精米の中の濃度： 91～100 Bq/kg  
再処理による変化分は 8 Bq/kg
- ・食べることの影響（年間）  
毎日320gのお米を食べて0.0005mSv  
自然界の炭素14を含める0.0065mSv



## 工場周辺に暮らす皆さんの評価線量の推移

	2006年度 (H18)	2007年度 (H19)	2008年度 (H20)	2009年度 (H21)	2010～2013年度 (H22～H25)
青森県 『原子力施設環境放射線等監視評価会議』における環境モニタリング評価結果	概ね これまでと同じ水準であった	概ね これまでと同じ水準であった	概ね これまでと同じ水準であった	これまでと同じ水準であった	概ねこれまでと同じ水準であった (再処理工場からの影響はなし)
環境モニタリング結果に基づいた評価 (青森県)	0.001 ミリシーベルト未満	0.001 ミリシーベルト未満	0.001 ミリシーベルト未満	施設寄与が認められなかったため、省略	施設寄与が認められなかったため、省略
再処理工場から放出された放射性物質の放出実績に基づく評価 (日本原燃)	0.001 ミリシーベルト未満	約0.0013 ミリシーベルト	0.001 ミリシーベルト未満	0.001 ミリシーベルト未満	0.001 ミリシーベルト未満

法律に定める線量限度 1mSvに対して十分に小さい



# 県の環境委員会※(2006/4~6の結果)

※青森県放射線等監視評価会議評価委員会:2006年10月17日開催

## 六ヶ所再処理工場周辺の放射線

### 10/18 「これまでと同水準」

青森県は昨日、青森市と「おおむね」として「これまでと同水準」と評価した。青森県放射線等監視評価委員会、使用済み燃料の再処理施設周辺の放射線濃度を測定した。今年度第1、四半期(4月～6月)中の原子力施設周辺の放射線濃度を測定した。測定結果は、おおむね「これまでと同水準」と評価された。測定結果は、おおむね「これまでと同水準」と評価された。測定結果は、おおむね「これまでと同水準」と評価された。

2006.10.18 電気新聞 2面

## 放射線わずかに上昇

### 再処理試験運転 住民に影響なし

再処理試験運転は、使用済み燃料の再処理施設周辺の放射線濃度を測定した。測定結果は、おおむね「これまでと同水準」と評価された。測定結果は、おおむね「これまでと同水準」と評価された。測定結果は、おおむね「これまでと同水準」と評価された。

クリプトン85濃度上昇

2006.10.18 東奥日報 1面

## 放射線調査で

### 測定値が変動

放射線濃度の測定結果は、おおむね「これまでと同水準」と評価された。測定結果は、おおむね「これまでと同水準」と評価された。測定結果は、おおむね「これまでと同水準」と評価された。

上2006.10.18 陸奥新報 1面

放射線濃度の測定結果は、おおむね「これまでと同水準」と評価された。測定結果は、おおむね「これまでと同水準」と評価された。測定結果は、おおむね「これまでと同水準」と評価された。

右 2006.10.18 デーリー東北 1面



# 県の環境委員会※(2008/10~12の結果)

※青森県放射線等監視評価会議合同会議:2009年5月13日開催

2009.5.14 東奥日報 2面

## 六ヶ所の放射線

### これまでの水準

放射線濃度の測定結果は、おおむね「これまでと同水準」と評価された。測定結果は、おおむね「これまでと同水準」と評価された。測定結果は、おおむね「これまでと同水準」と評価された。

トリチウム  
 魚類 3Bq/kg (六ヶ所村前面)  
 海水 4Bq/L (東通原発沖)  
 魚を食べた人が受ける影響は法令限度に比べ、極めて低い値

場アクティブ試験(試験)の影響と推定。その上で、魚を食べた人が受ける影響は「法令に定める限度に比べ、極めて低い値」とした。会議では、任期満了に伴い委員約八十人を委嘱した。委員の任期は二年。

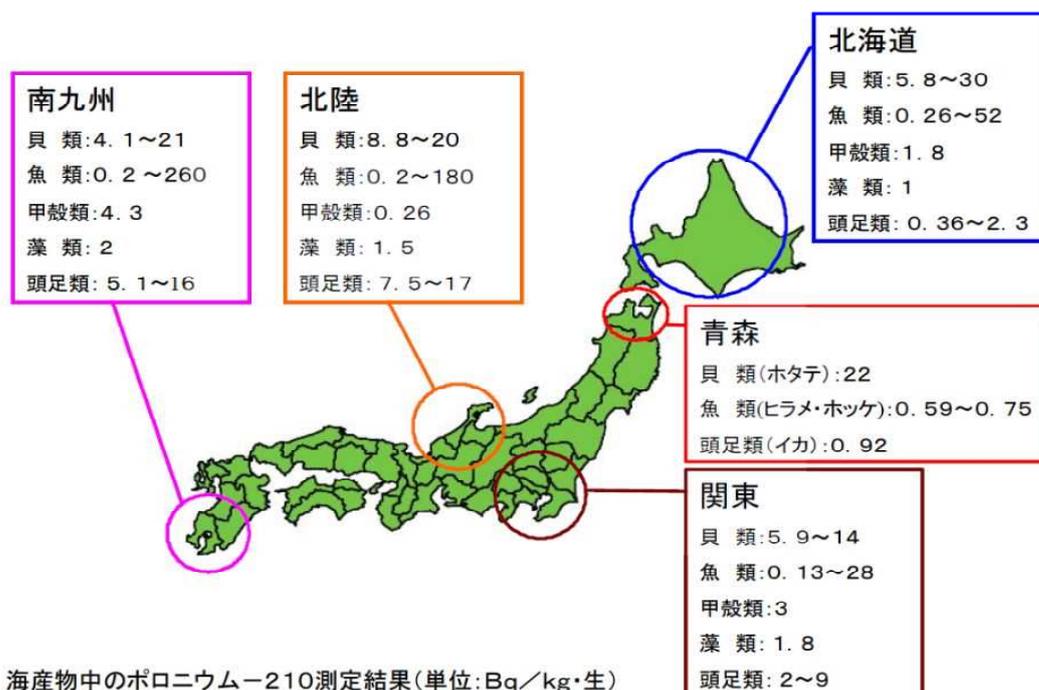


# 食品中のポロニウム210の例

## ポロニウム210:Po210 キュリー夫人が発見 母国ポーランドにちなんで命名 アルファ線を放出



### 参考：海産物中のポロニウム210(1/2)



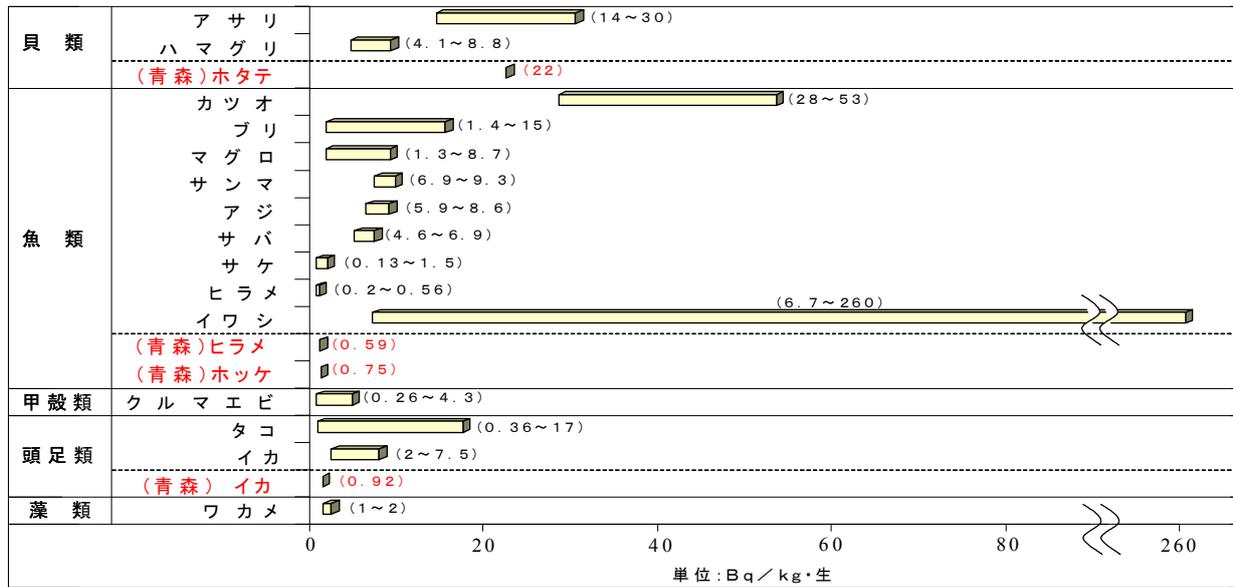
海産物中のポロニウム-210測定結果(単位: Bq/kg・生)

出典: 文部科学省 環境放射線データベース (<http://search.kankyo-hoshano.go.jp/search.top>) (集計年: 1996~1998)



# 参考：海産物中のポロニウム210(2/2)

海産物中のポロニウム-210(種類別)



出典(青森以外のデータ)

文部科学省 環境放射線データベース (<http://search.kankyo-hoshano.go.jp/search.top>) (集計年: 1996~1998)



# 参考：放射性物質による影響の違い

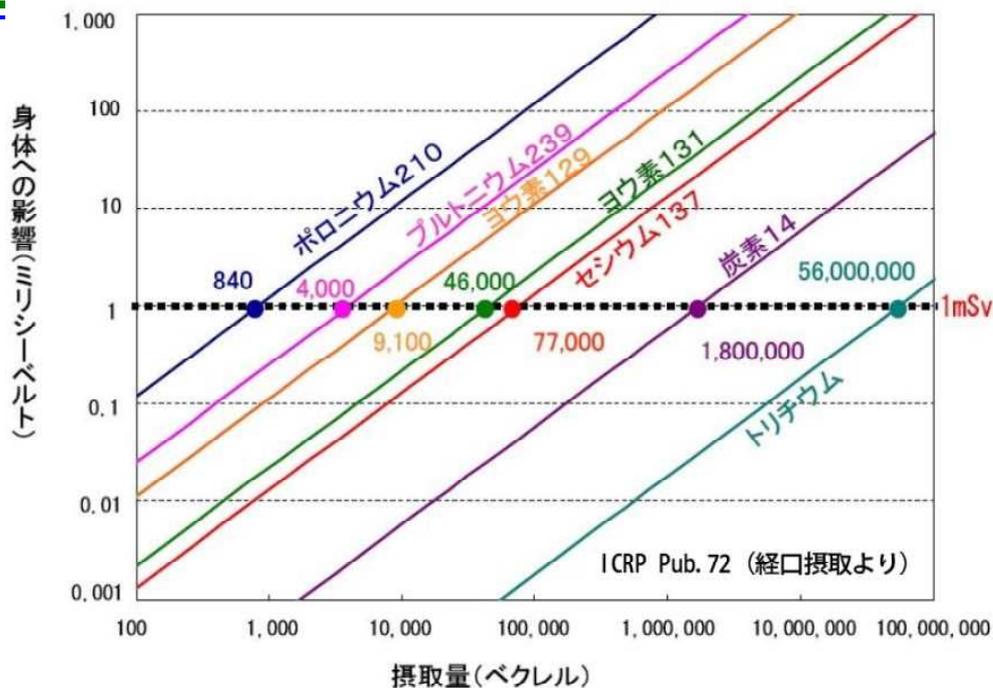


図7 放射性物質の体内取り込み量と線量影響の関係  
経口摂取による身体への影響



# ポロニウム210

食べ物から体の中に入った場合の影響は

○ セシウム137

$$1\text{Bq} \Rightarrow 0.000013\text{mSv}$$

$$(100\text{Bq} \Rightarrow 0.0013\text{mSv})$$

○ ポロニウム210 (Po210: 自然界の放射性物質)

$$1\text{Bq} \Rightarrow 0.0012\text{mSv} \quad (\text{約}900\text{倍})$$

○ かつおのさしみ一皿(80g)を、

毎週1回、1年間食べ続ける

0.2mSv/年



## 青森県太平洋海域

# マダラ漁再開

## 八戸港、泊漁港に水揚げ

青森県太平洋海域のマダラの出荷制限が31日に解除されたことを受け、同海域でのマダラ漁が1日、再開された。八戸港では主力の中型底引き網船が、この時期としては多めの合計2千隻を超えるマダラを八戸市第2魚市場に水揚げ。六ヶ所村の泊漁協所属のはえ縄漁船が泊漁港に水揚げした。マダラを対象にした放射性物質の簡易検査では、国の基準値を下回るということが確認された。(佐藤周平、藤村大地)

## 放射性物質基準値下回る

中底船は同日、15隻(第8興富丸(70ト) 今後の高値に期待。別では、2日早朝に八戸が八戸沖で操業。午後の坂本博之漁船長(60)の船主は「漁場での選4時から次々と偏港はマダラは小ぶりだ。択取が広がったのは大し、イカなどと一緒だが、これから大きくなき。販売前検査で安マダラを水揚げした。って脂も乗る」とし、全性を確認した魚を消



中型底引き網船が八戸港に水揚げしたマダラ。11日午後4時半ごろ、八戸市第2魚市場

費者に食べてほしい」と話した。マダラの一部について、2日早朝に八戸市の県産業技術センター食品総合研究所(倉総研)が、放射性物質の簡易検査を行う予定。同日朝の販売前に結果を出し、基準を超えた魚が出回るのを防ぐ。泊漁協所属のはえ縄漁船は2隻が出漁。このうち第33千代丸(14ト)はマダラ約300kgを上場した。松下誠四郎船長(68)は「やっと漁を再開できた」と胸をなで下ろしながらも、「15トもの半分ほどの量にとどめた。どれくらいか付くか分からないから」と風評被害を気に



泊漁港に水揚げされたマダラ。



デーリー東北新聞社  
〒031-8501  
八戸市城下一丁目9-12  
電話0778(44)5111  
販売口部02360-6-4212  
©デーリー東北新聞社2012

医療法人 柏陵会  
あらい整形外科  
リハビリテーションクリニック  
八戸市柏崎五丁目17番地00000

民主県  
紙面

## 直感テストでリフレッシュ！！

セシウム137が100Bq/kgある魚を  
毎日1kg食べ続けると  
1年間で受ける放射線の量はどの位？

- A. 1mSv
- B. 10mSv
- C. 100mSv



## 答え

セシウム137が100Bq/kgある魚を  
毎日1kg食べ続けると  
1年間で受ける放射線の量はどの位？

- A. 約 1mSv

$$100\text{Bq/kg} * 1\text{kg/日} * 365\text{日} * 0.000013\text{mSv/Bq} \\ = 0.48\text{mSv/年} \Rightarrow \text{約 } 1\text{mSv/年}$$



## 参考図書

### (放射線と付き合って暮らす為に)

1. 放射線医が語る「被ばくと発がんの真実」  
(中川恵一著;KKベストセラーズ)
2. 放射線医が語る「福島で起きている本当のこと」  
(中川恵一著;KKベストセラーズ)
3. 低線量放射線を超えて(福島・日本再生への提言)  
(宇野賀津子著;小学館)

