

2011.3.30
2011.4.1
2011.4.4
2011.4.8
2011.5.2
2011.5.13

福島原子力発電所事故の 放射能と放射線

大学内での対処について

東海大学 原子力工学科

お伝えする内容

事故による放射線の放出

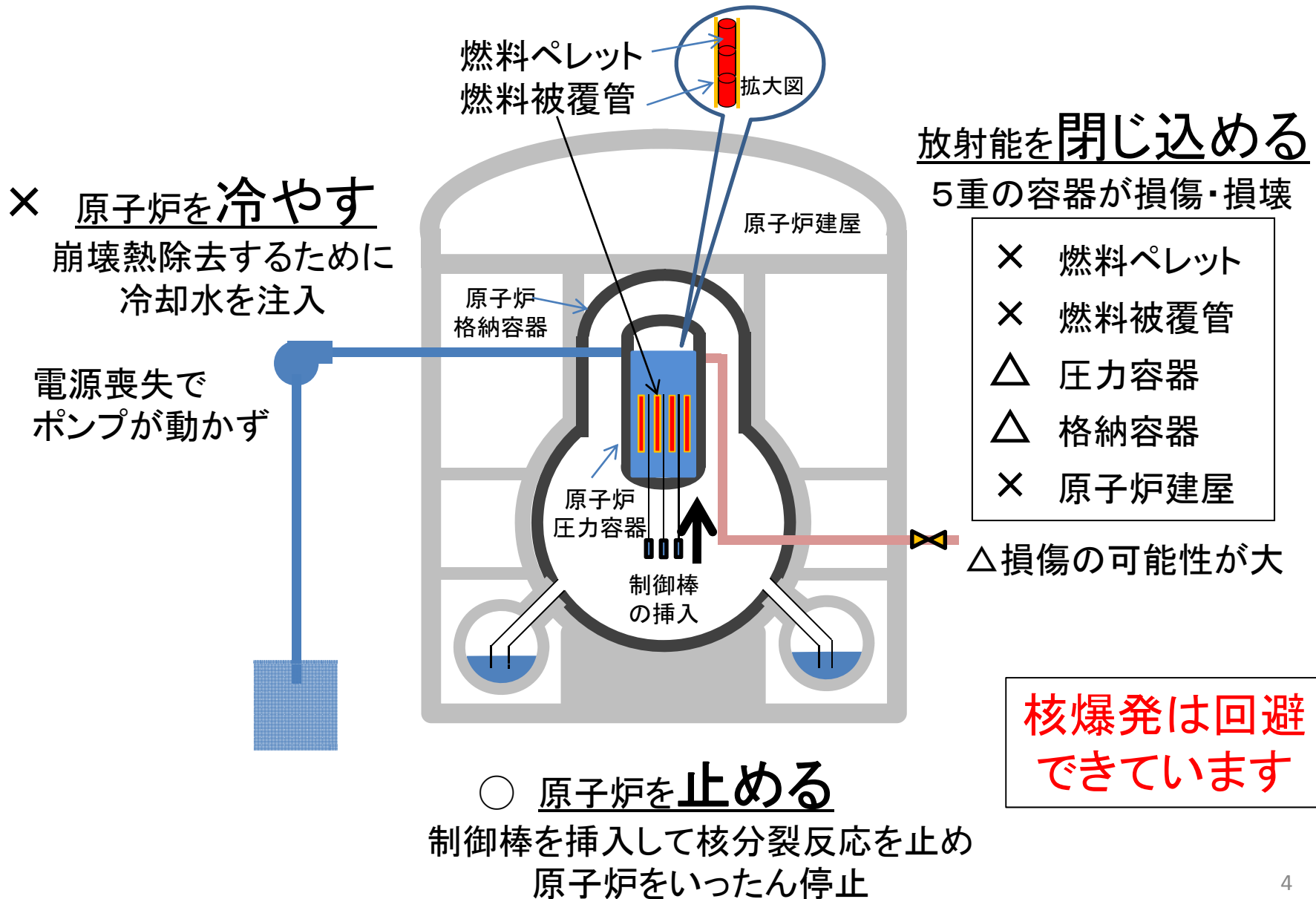
放射能・放射線

食物摂取制限について

説明は 判りやすさを優先します。厳密さが失われるのは止むを得ません。
また、限られた情報のため、分析上の間違いがあり得ますので、逐次訂正していきます。

事故による放射線の放出

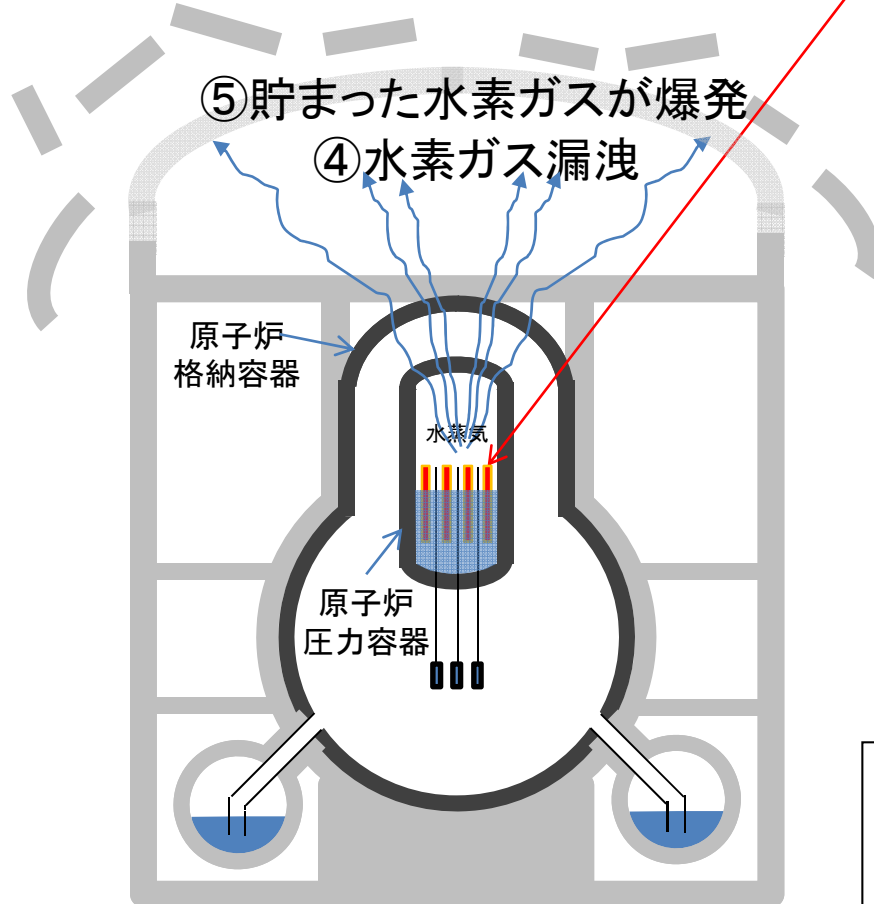
安全確保の3原則が崩れている



なぜ放射線が出ているのか

核爆発ではありません

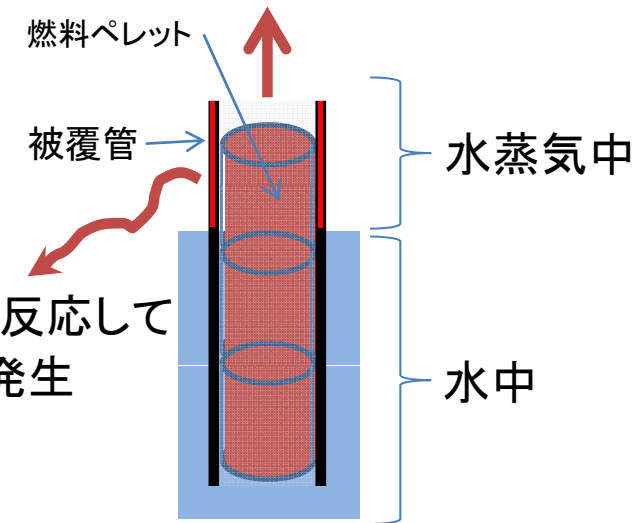
原子炉建屋損壊(1, 3号機)



①冷却機能が失われ 冷却水が水蒸気化

②燃料棒の上部が水蒸気中に暴露

⑥高温のため核燃料が損傷して
内部にある放射性物質が放出



③水蒸気と反応して
水素ガス発生

⑦放射性物質が外部へ漏えいしている

大部分の放射能は
原子炉格納容器の中の圧力容器内
にあるとみています。

燃料貯蔵プール(4号機)

定期点検中で動いていませんでした。

プールの中には2種類の燃料がありました。

交換用の新しい燃料 (核分裂していない)
使用済み燃料 (核分裂が終わっている)

やはり、燃料貯蔵プールの冷却も出来ず

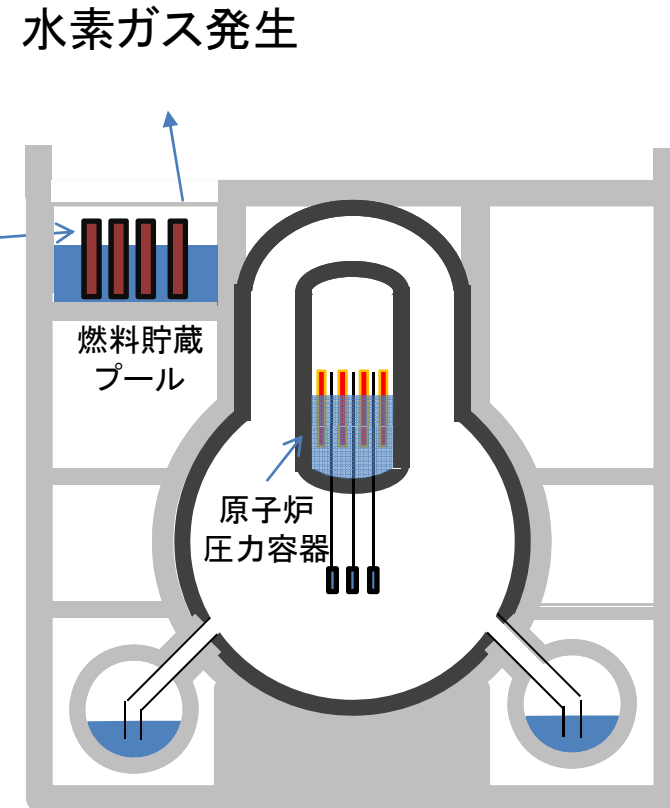
燃料棒の上部が
水蒸気中に暴露

燃料被覆管 と 水蒸気が反応して

水素ガスが発生

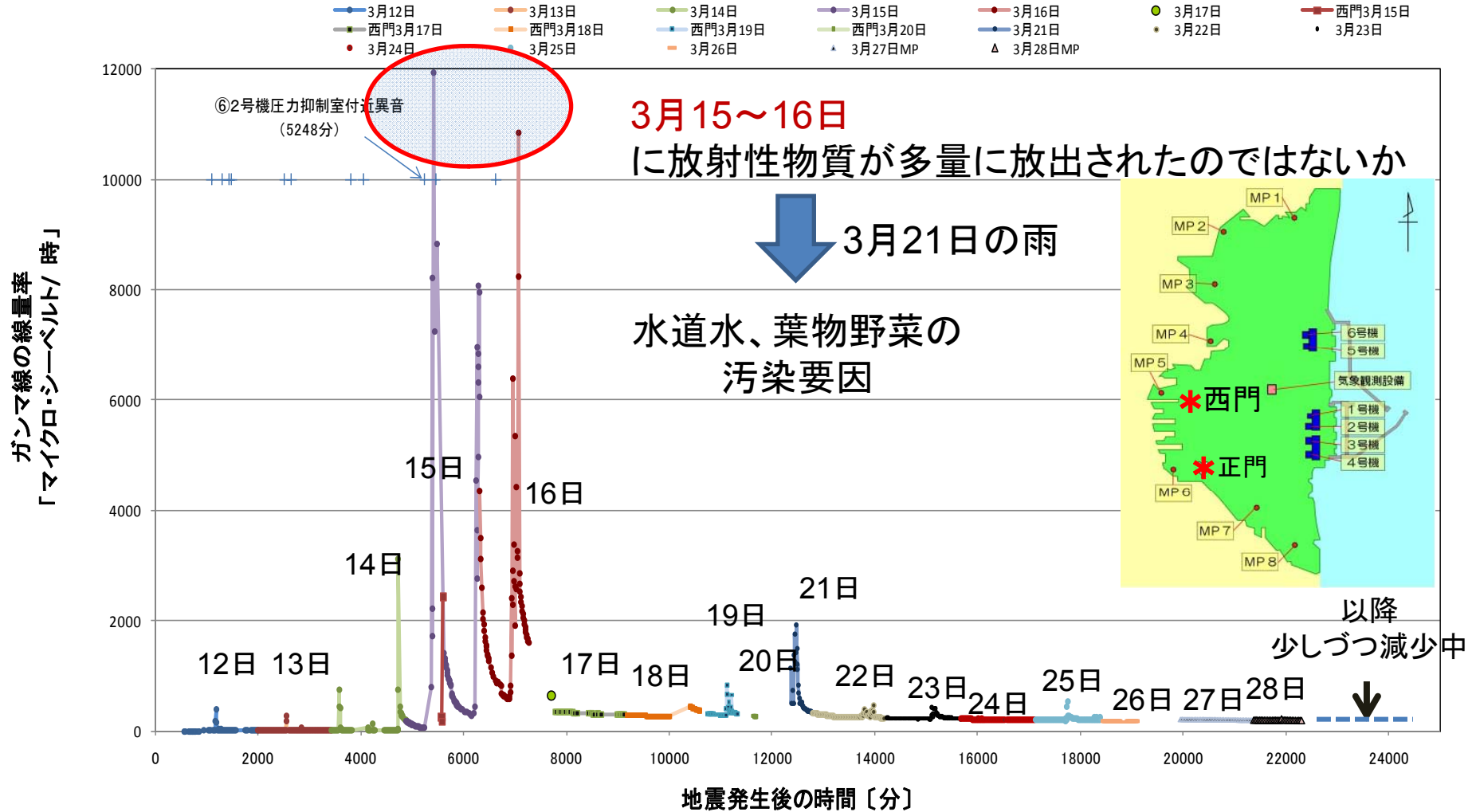
(燃料被覆管の外側を) 多重の容器で
封じ込めていないことが問題

外部から水を注入して 冷却中です。



発電所正門(西門)の放射線量率の変化

原子力安全・保安院ホームページ公表資料に基づき作成



測定点での数値で、直接被ばくする数値ではありません。

放射能・放射線の影響

放射線は放射性物質から

放射性物質

^{ヨウ素}
 ^{131}I , ^{セシウム}
 ^{137}Cs などは

放射能

をもった物質
という意味です

放射能の強さ

放射性物質の量 とも言えます。

単位:ベクレル Bq

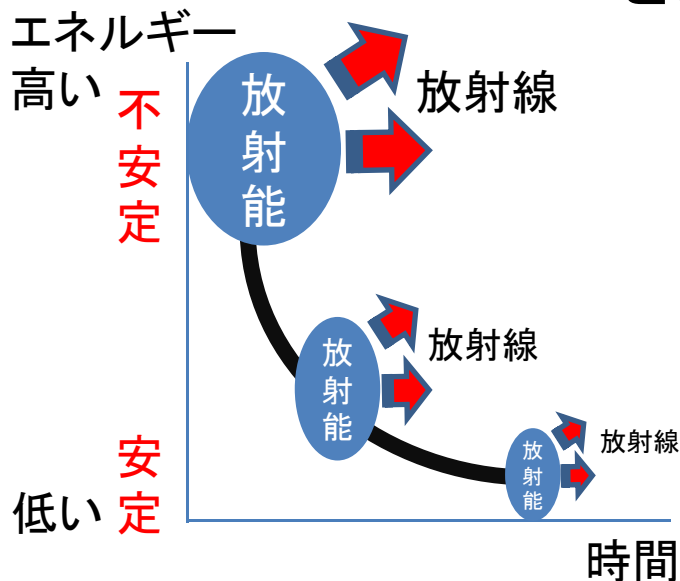
放射能とは

放射線

を出す能力
という意味です

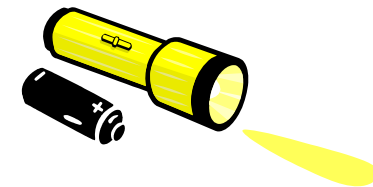
放射線の強さ

単位:シーベルト Sv



放射性物質は不安定なので、エネルギーを放出して安定になろうとします。

その時放出されるのが**放射線**です。
放射線を放出しながら放射能の強さは徐々に小さくなってゆきます。

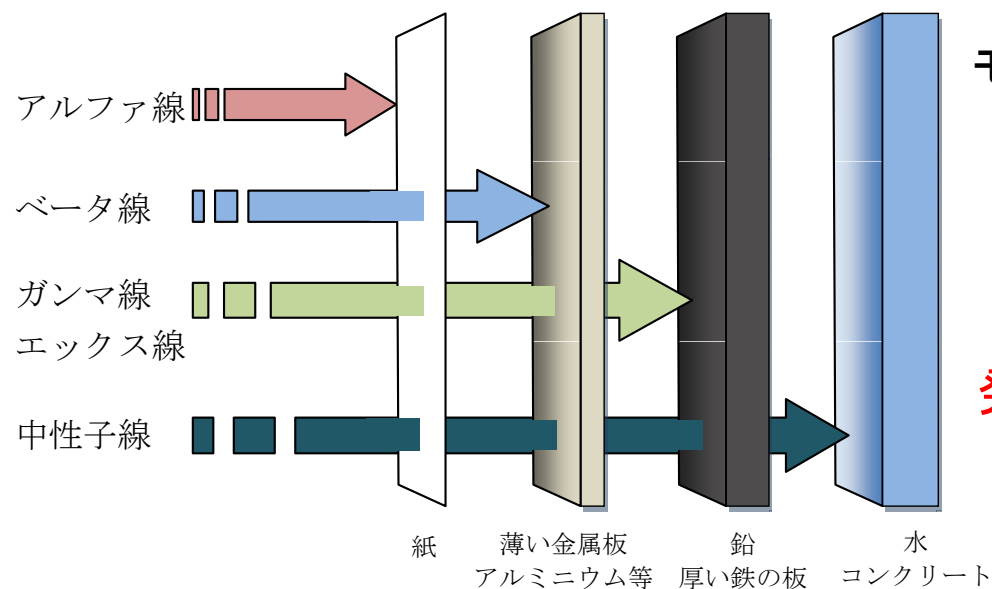


放射線と放射能の違い

放射線は放射性物質から出てきます

放射線には アルファ線、ベータ線、ガンマ線 中性子線があります。

中性子線は 発電所内でも殆ど観測されていません！
核分裂反応が止まっているからです



モノを貫通する力の大きい
ガンマ線が重要です

大学は
発電所から200km以上
離れているので
**発電所から直接放射線
は届きません！**

放射能は しばしば放射性物質と同じ意味で使われます。

空気中の浮遊じん(微粒子)に付着した放射性物質
から出る放射線が問題になります。

マイクロ・シーベルト

放射線の影響の大きさは

人体に吸収された放射線のエネルギー

放射線の種類

によって違います。

シーベルトはすべての種類の放射線の影響に共通して使える線量の単位です。

マイクロは 100万分の1 を表すことばです (ミリは 1000分の1)

シーベルト
Sv

1000分の1

ミリシーベルト
mSv

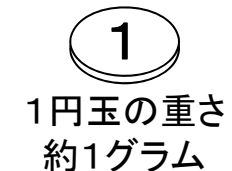
1000分の1

マイクロシーベルト
 μ Sv

重さに例えると



100万分の1



被ばく線量と人体影響

日常生活で重要な線量の値

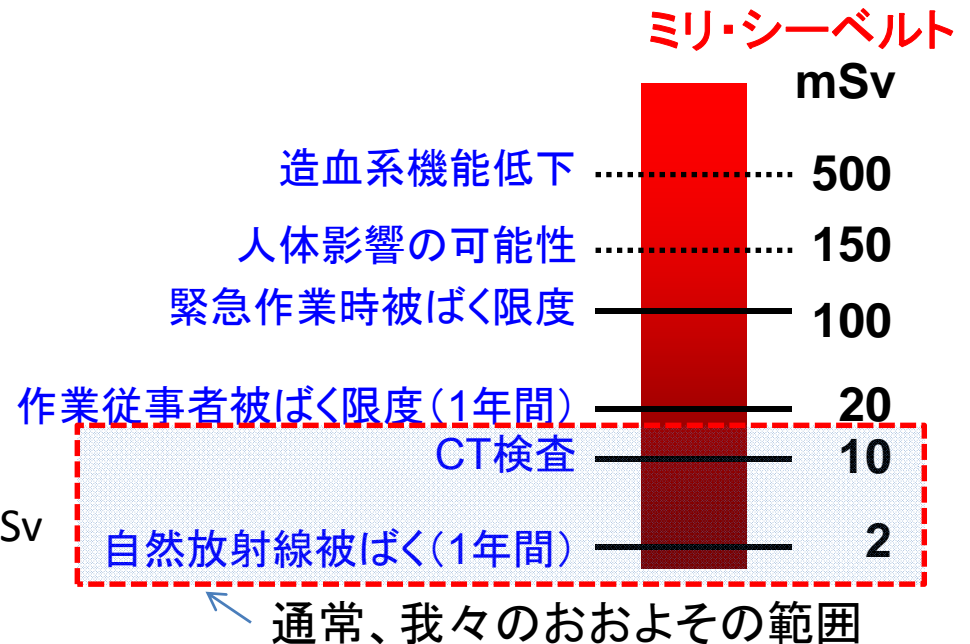
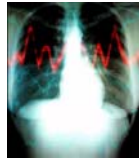
自然放射線による被ばく(1年間) : 2mSv

胸部X線撮影(1回) : 0.05mSv

胃のX線検診(1回) : 0.5mSv

腹部のCT検査(1回) : 5~15mSv

国際線搭乗(12時間程度1回) : 約0.05mSv



被ばく限度の値 (医療と自然放射線によるものを除く)

一般公衆の年間被ばく限度 : 1mSv

放射線作業従事者の年間被ばく限度 : 20mSv (5年間の平均)

緊急作業時の被ばく限度 : 100mSv (今回の事故対応では250mSv)

100mSvが人体影響の指標となる値の一つと考えられます。

被ばく線量に応じた人体影響については、放射線医学総合研究所のホームページなどにわかりやすい図が掲載されています。

線量 (Sv) と線量率 (Sv/h) の違い

線量 (Sv) は被ばくした全量です。

線量率は単位時間あたりに被ばくする線量、
放射線の強さとも言えます。

1時間あたりであれば、単位は、Sv/hとなります。

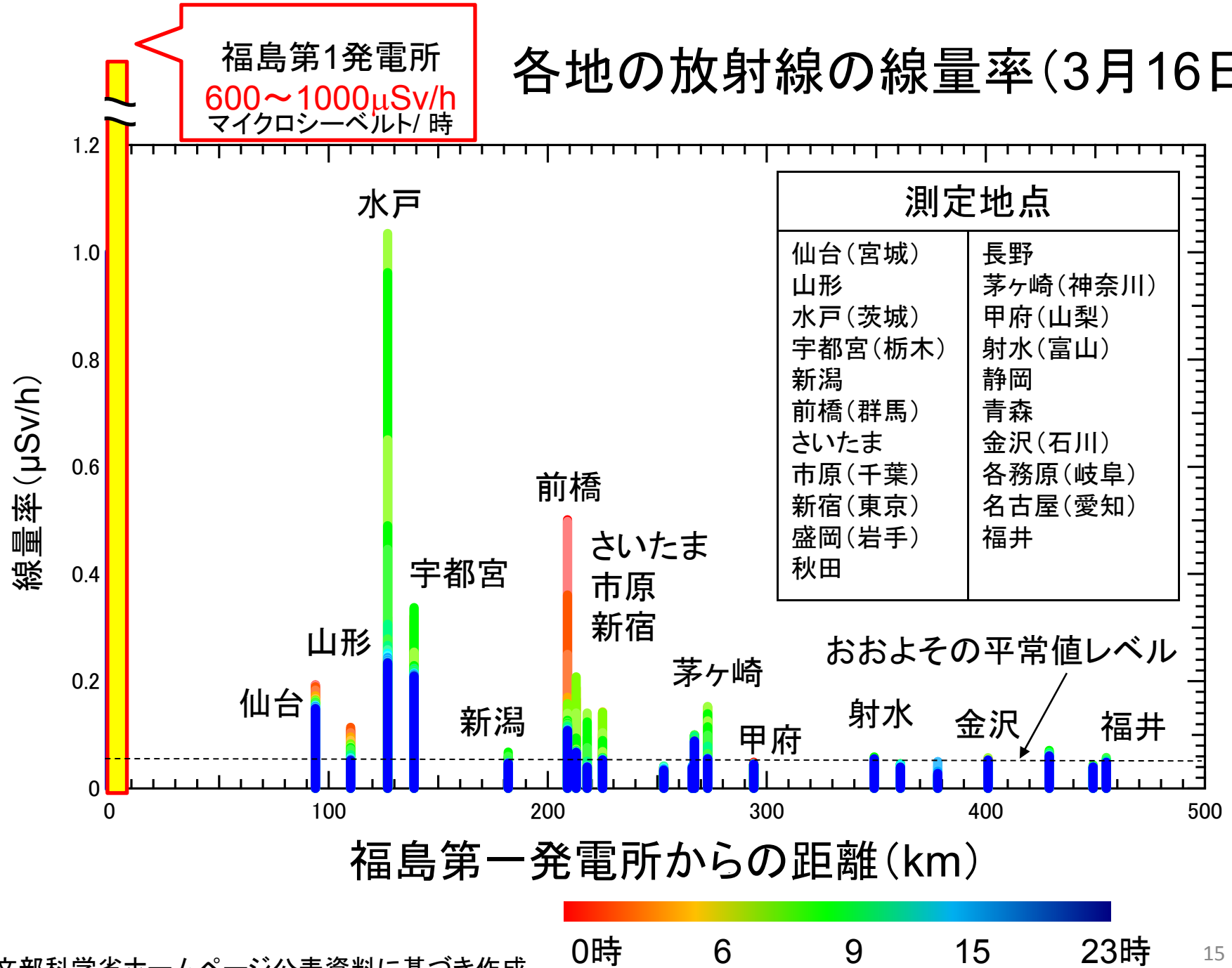
報道に出てくるモニタリングポストの数値は **線量率** です。

人体影響は、基本的には全線量の大きさで決まります。

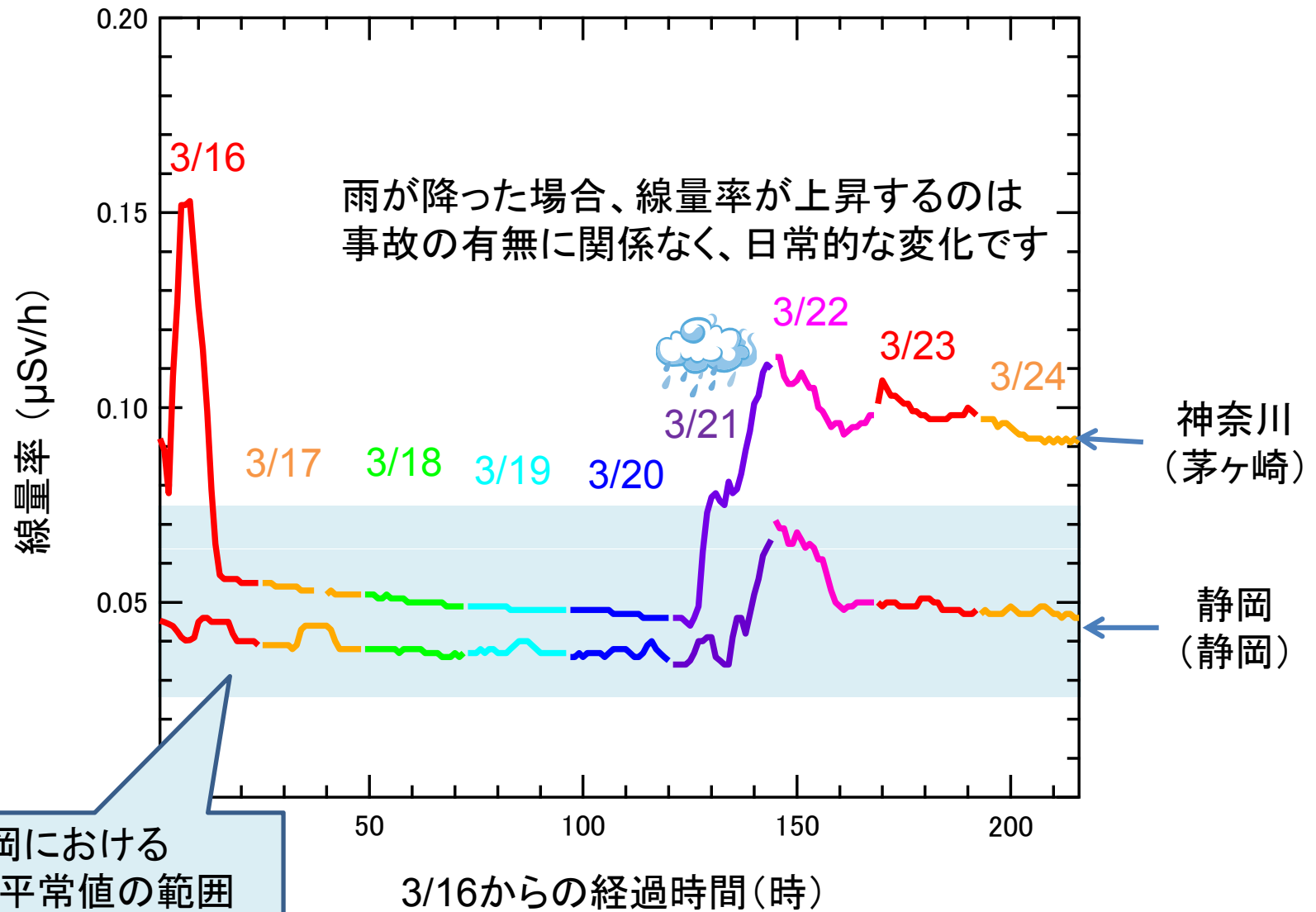
線量率 にその放射線を浴びた **時間** をかけなければわかりません。

$$\text{線量} = \text{線量率} \times \text{時間}$$

各地の放射線の線量率(3月16日)

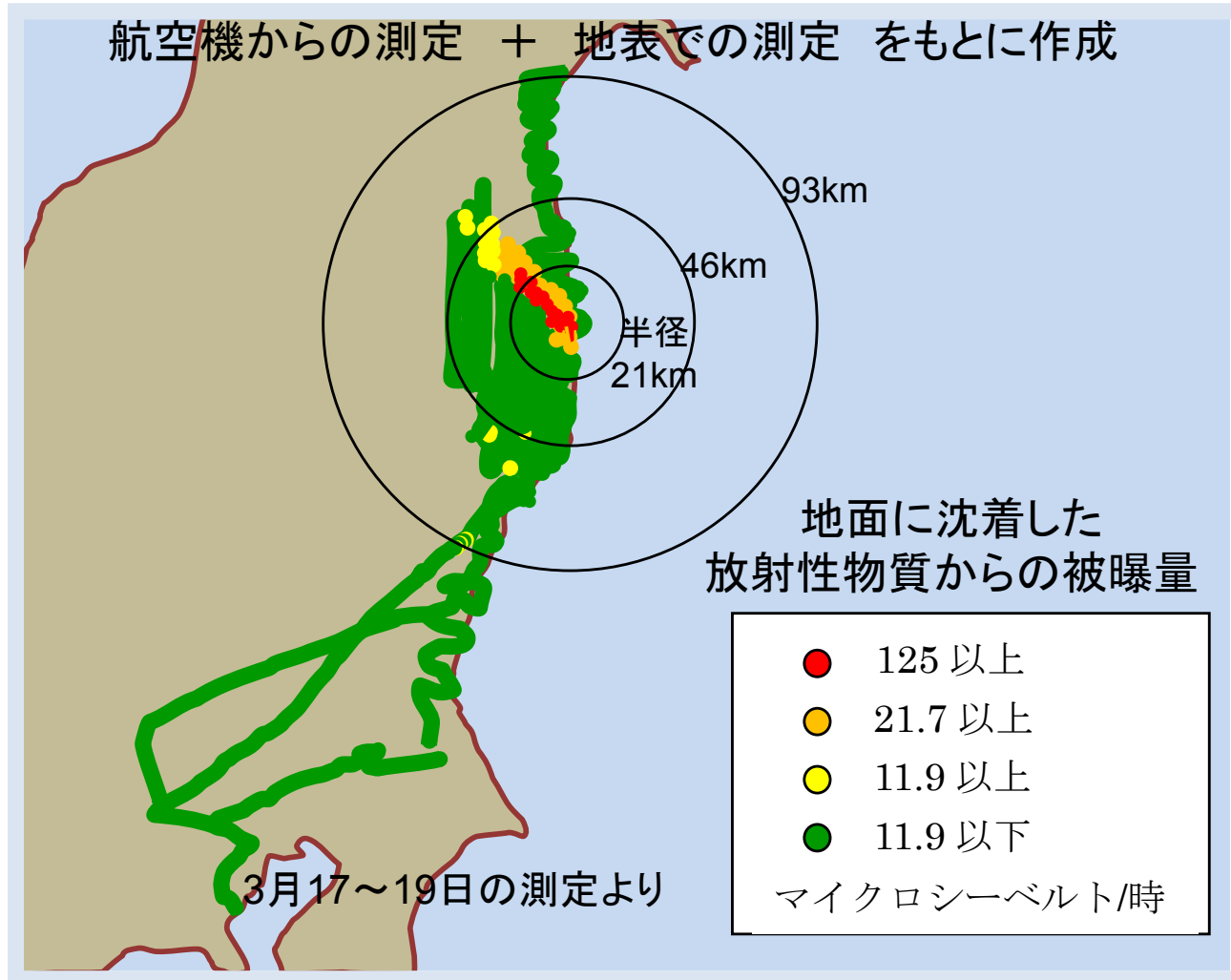


静岡と神奈川の線量率の推移



線量率の推定例

(米国エネルギー省発表)



被ばく線量率

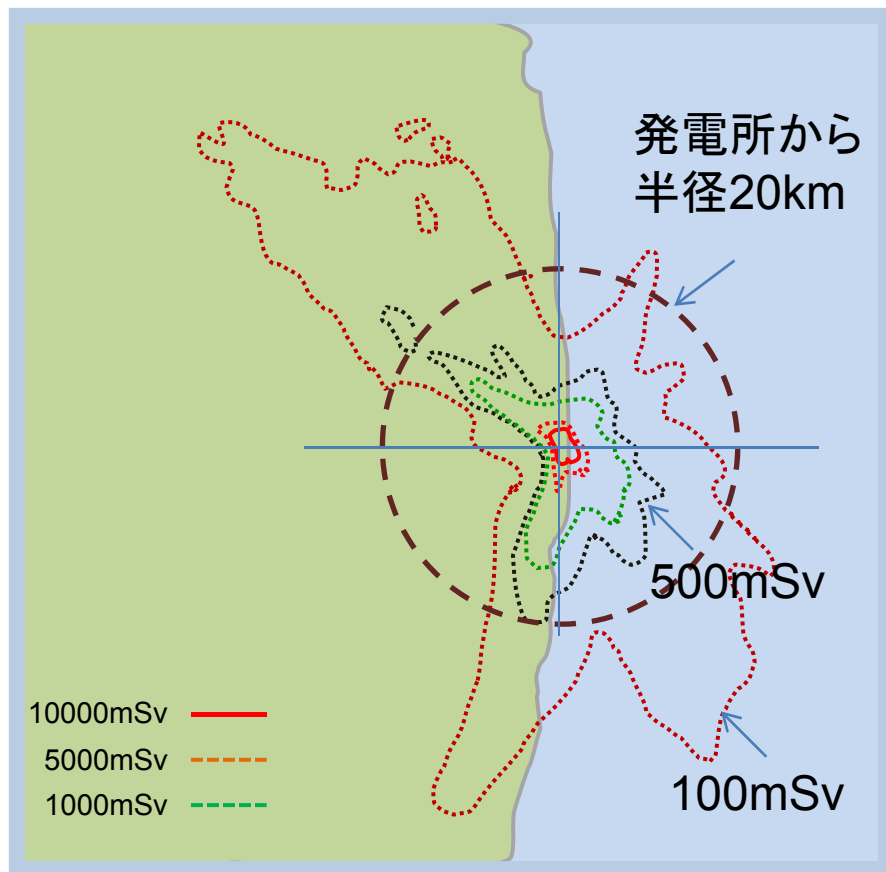
マイクロシーベルト/時
1時間当たりの数値

評価方法の詳細
は不明です。

元の図を参考にして作成した
ので線量率分布は概略
であり正確ではありません。

原子力安全委員会発表

(計算による被ばく線量の推定)



元の図を参考にして作成したので被ばく線量分布は概略であり正確ではありません。

放射性物質の飛散状況を
風向、風速の変化
放出量の変化(推定値)などを考慮して計算し、
被ばく線量(ミリシーベルト)を推定しています。

仮定

3月12日12時 ~ 24日0時

1日中、約12日間屋外
にいた場合

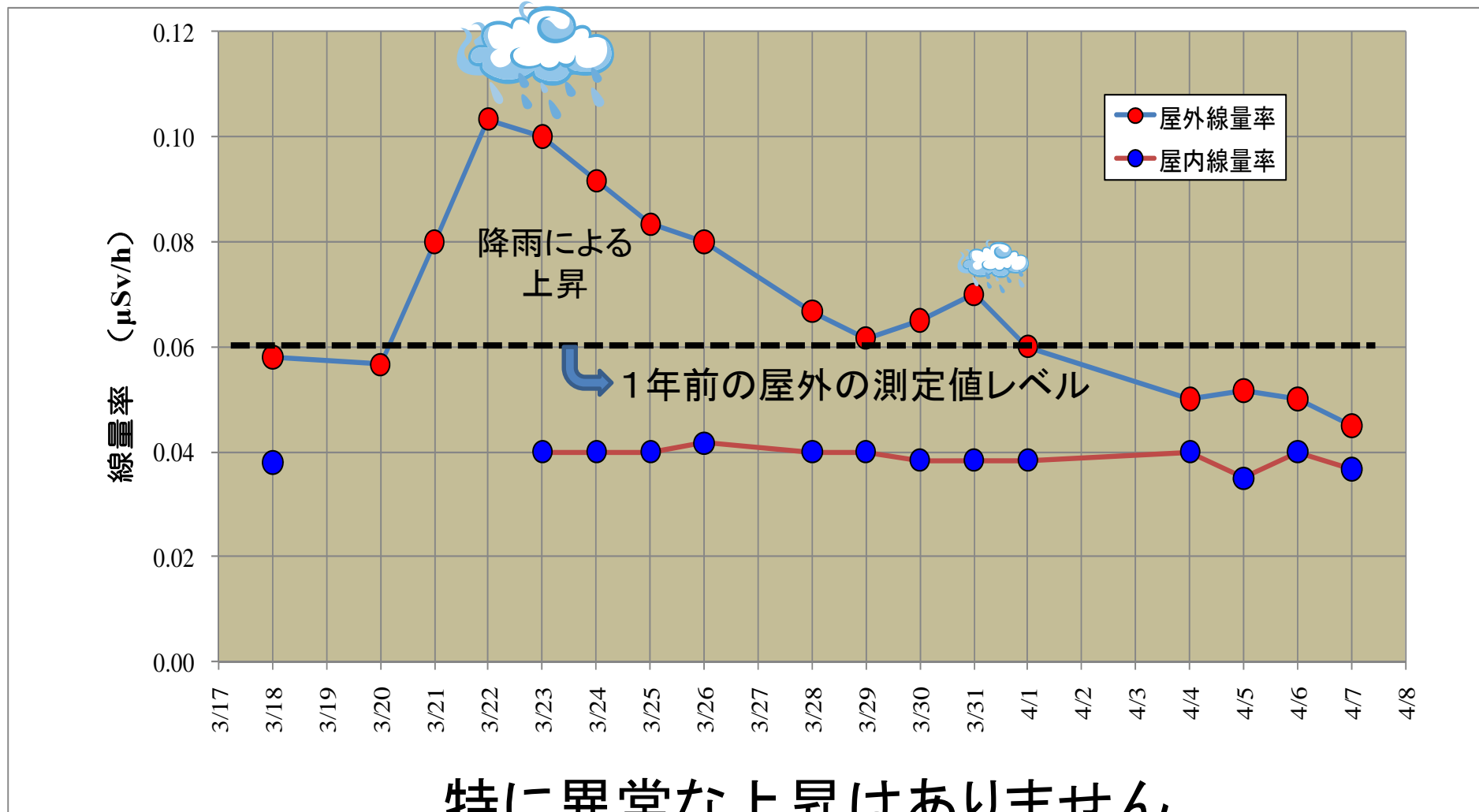
臓器によって放射線の影響が違うので、幼児の甲状腺
の場合を評価しています。

屋内にいれば左図の $\frac{1}{4}$ ~ $\frac{1}{10}$ 程度としています。

なお、甲状腺に対する線量限度は 50mSv です

大学内の放射線の線量率

独自の分析です

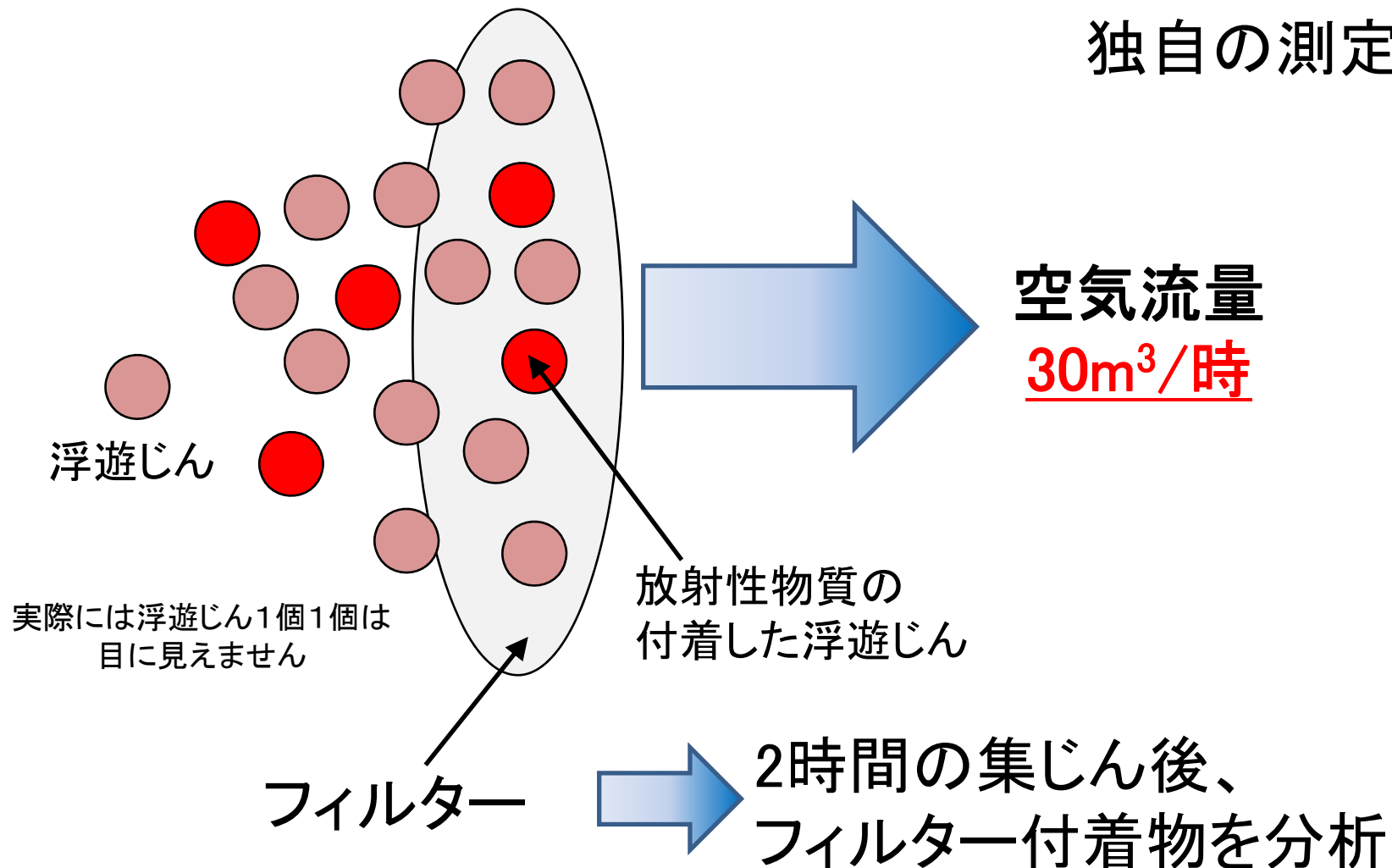


特に異常な上昇はありません。

浮遊粉じん中の放射性物質

空気中に漂う浮遊じんを集じん機でフィルターに回収

独自の測定です



いくつかの核種を検出

独自の分析です

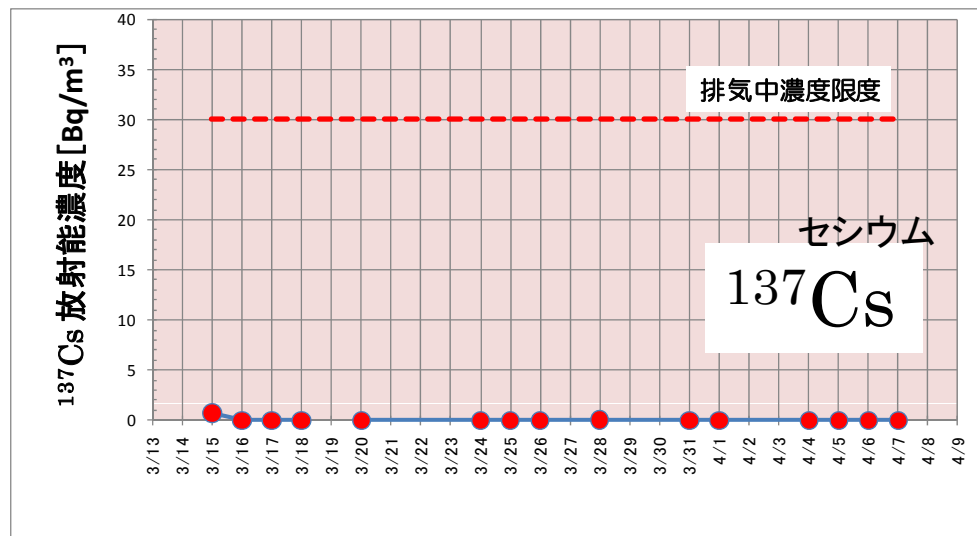
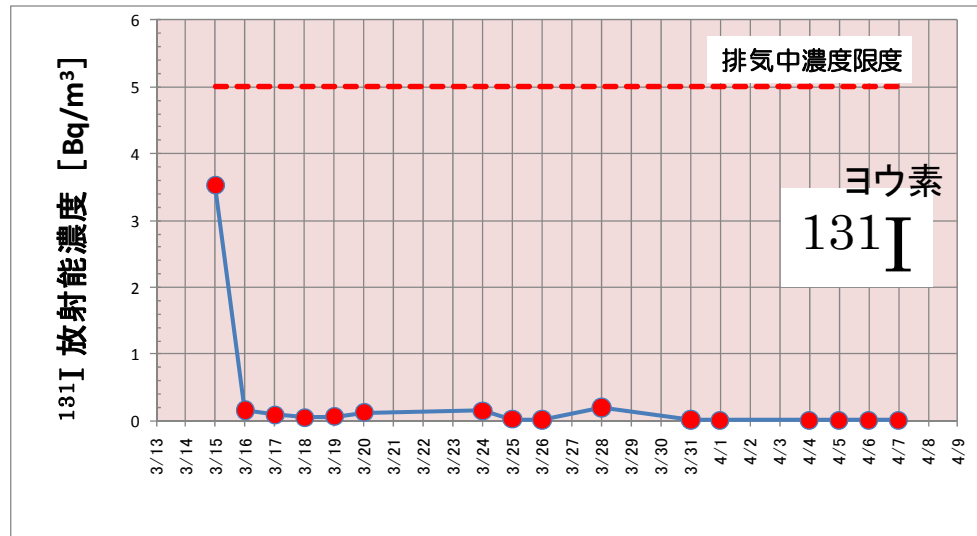
浮遊じん中の濃度

単位 Bq/m³

空気 1 m³中に含まれる
浮遊じんに着した放射性物質の量[Bq]

放射線を取り扱う施設から排気してもよい濃度の
限度値、と比較して十分低い濃度でした。

現在も分析継続中です。



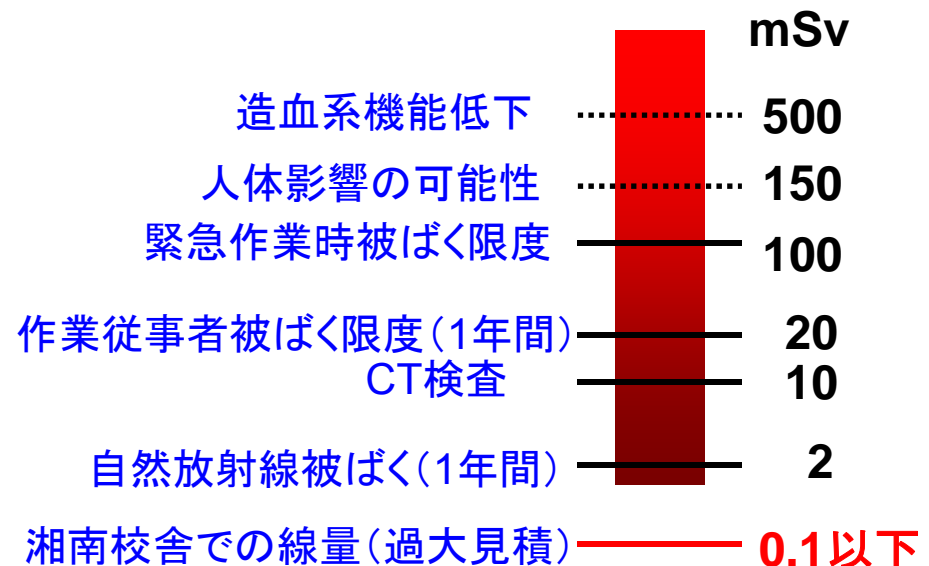
大学の構内では

湘南校舎内の測定値をもとに線量を過大*に見積もってみました。

* 限定的な測定値に対して、さまざまな仮定をしているので、概略の評価です。

自然放射線から1年間に受ける被ばく量に対して
過大にみても増加は数%以内
との見積もりとなりました。

胸部レントゲン撮影2回分を下回る



チェルノブイリの例

事故直後の30km圏内の避難と、その後風向きから北西約100km圏内の避難が行われた。



大都市キエフは南約130kmだったが、風向きもあって避難はなかった。



福島第一原発から首都圏までは200km以上



現状を考えると、避難の必要性はない。

ただし、風向きなどによって降下する放射性物質の量は変わるので、微量であっても各県では常時モニターしている。

被ばく影響が現れるか？

小さい線量範囲での推定として、
がん頻度の増加が
100mSvで1.05倍になるという計算もありますが、

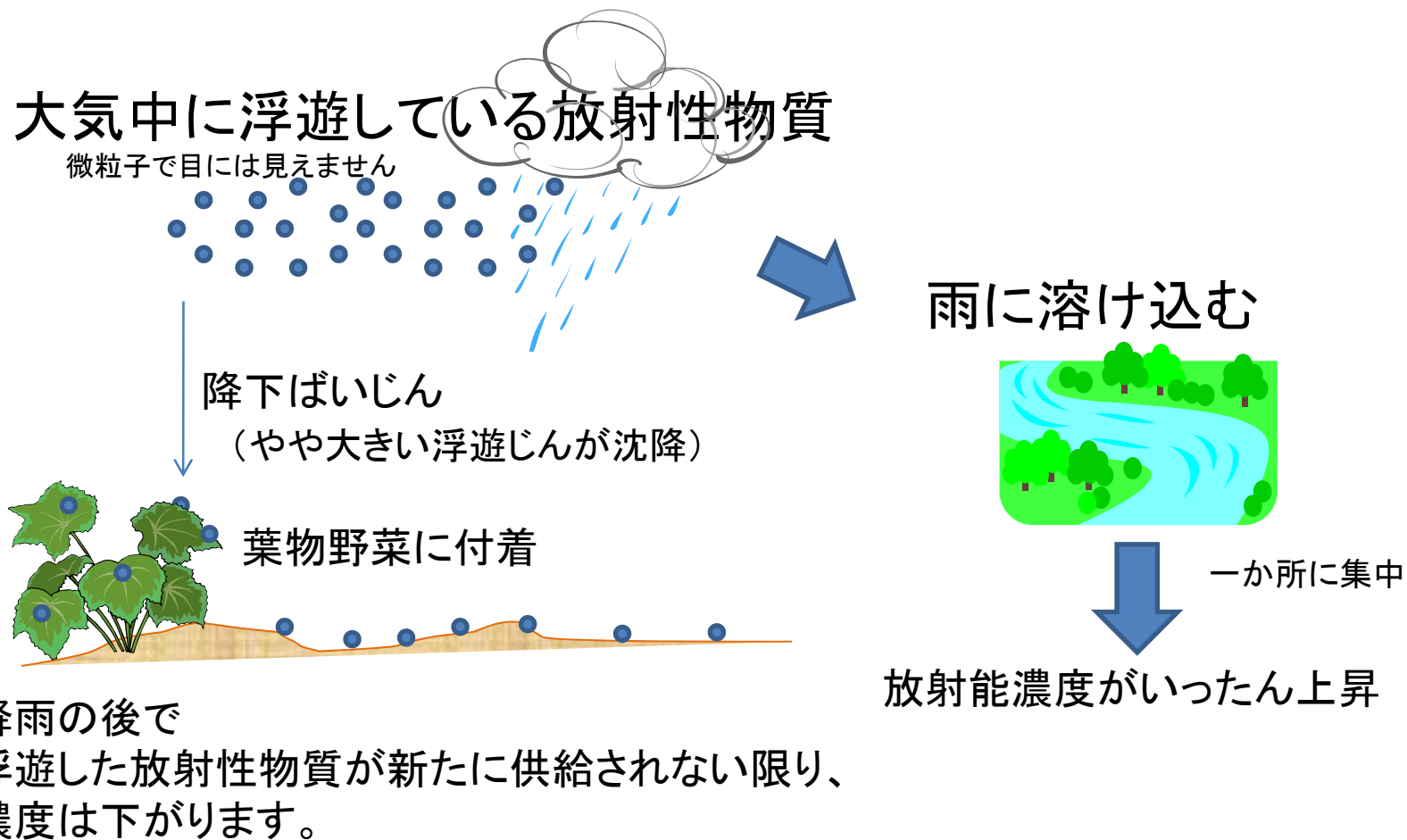
放射線影響研究所(広島市)による原爆被ばく者の調査からは

統計学的には約150mSv以下ではがん頻度の増加は
確認されていません

大学構内での測定値の程度では
被ばく影響はほとんどありません

食物摂取制限について

水、葉物野菜の汚染



根菜類のように根からの吸収があるものは別の注意が必要です。

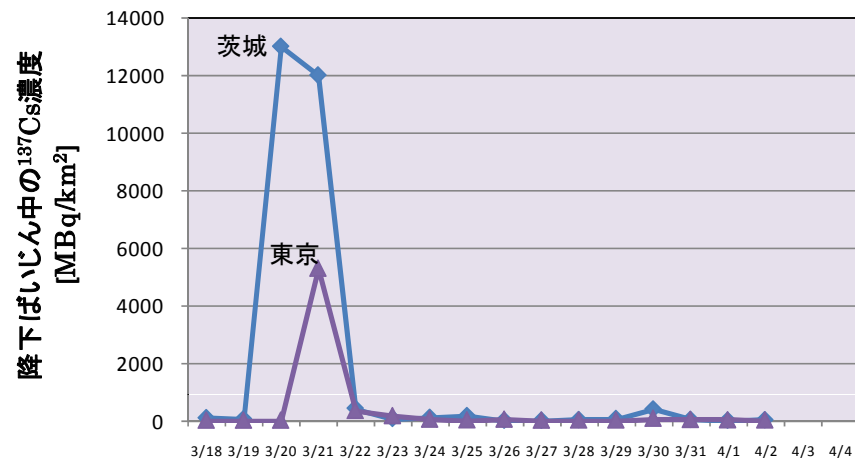
水、葉物野菜の汚染はどうなる

3月15～16日にかけて放射性物質が多量に放出されたと考えています。

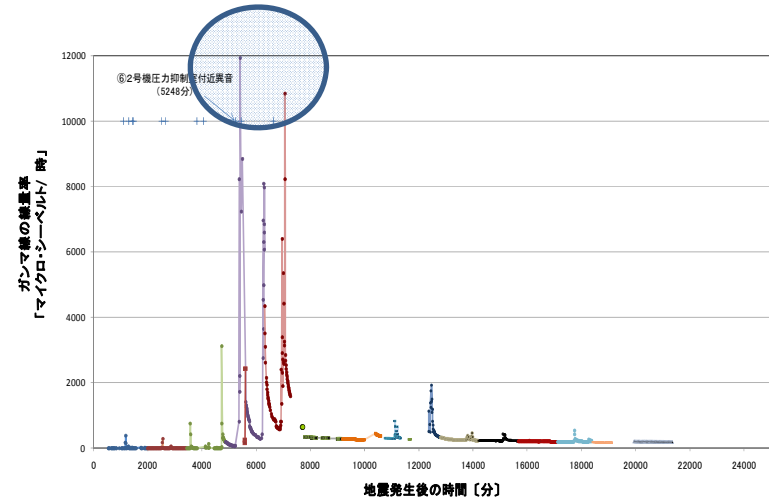
それ以降、放出は続いているが、量はかなり少なくなった、と考えられます。



降下ばいじん中の濃度は減っています。



文部科学省ホームページ公表資料に基づき作成



放射性物質の放出が再び
極端に高くない限り



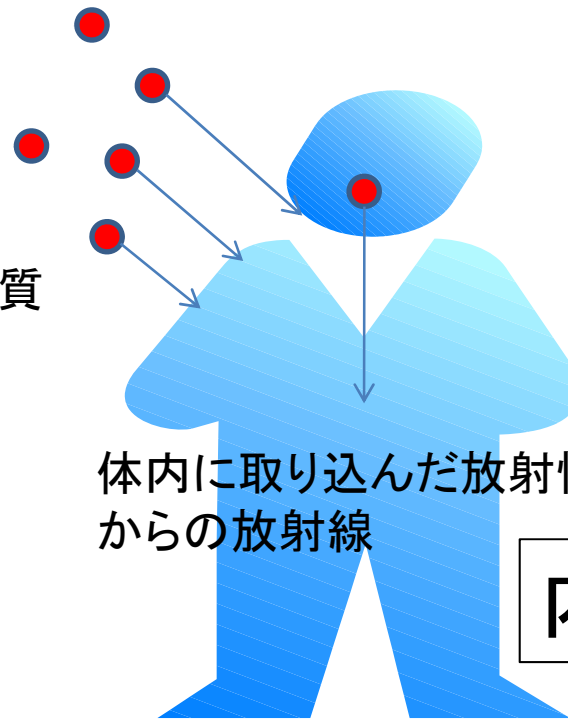
水道水、葉物野菜中の放射能濃度は
暫時 低下すると考えられます。

内部被ばくと外部被ばく

被ばくには2種類

外部被ばく

浮遊した放射性物質
からの放射線



体内に取り込んだ放射性物質
からの放射線

内部被ばく

飲料水や葉物野菜では**内部被ばく**が問題になります。

放射能は体内にどのくらいとどまるのか？

半減期：放射性物質の量が半分になる時間

	物理学的半減期	生物学的半減期	有効半減期
^{131}I	8日	120 ~ 140日	7.9日
^{137}Cs	30年	約90日	約89日

放射性物質量が
自然に半分になる
時間

排出によって体内の
放射性物質量が
半分になる時間

自然な減少と
排出による減少
の両者の効果

体内の放射性物質の量が半分になる時間を**有効半減期**と
いいます。

人体影響を知るには**有効半減期**をみなければなりません。

^{137}Cs は30年間体内にとどまっているわけではありません！

暫定規制値（基準値）とは？

放射性物質に汚染された食品の販売規制のため、食品衛生法に基づいて設定されました。

今回の事故後に急遽、原子力安全委員会の「飲食物摂取制限に関する指標」を基につくられました。

飲食物摂取制限に関する指標

対象	ヨウ素	セシウム
飲料水	300	200
牛乳、乳製品	300	200
野菜類 (根菜、芋類を除く)	2000	500

単位：1kg中のベクレル(Bq/kg)

過去、チェルノブイリ事故のときにも輸入食品に対して設定されたことがあります。

暫定規制値の意味

が分かりづらいので、考えてみました。

暫定規制値の基本は

1年間、ずっと

毎日、毎日 同じ量を とり続けて

という**仮定**のもとで



飲料水 約1リットル(毎日)飲用



野菜約0.1kg(毎日)摂取

^{131}I : 甲状腺の線量が50mSv

甲状腺のみの線量であることに注意!

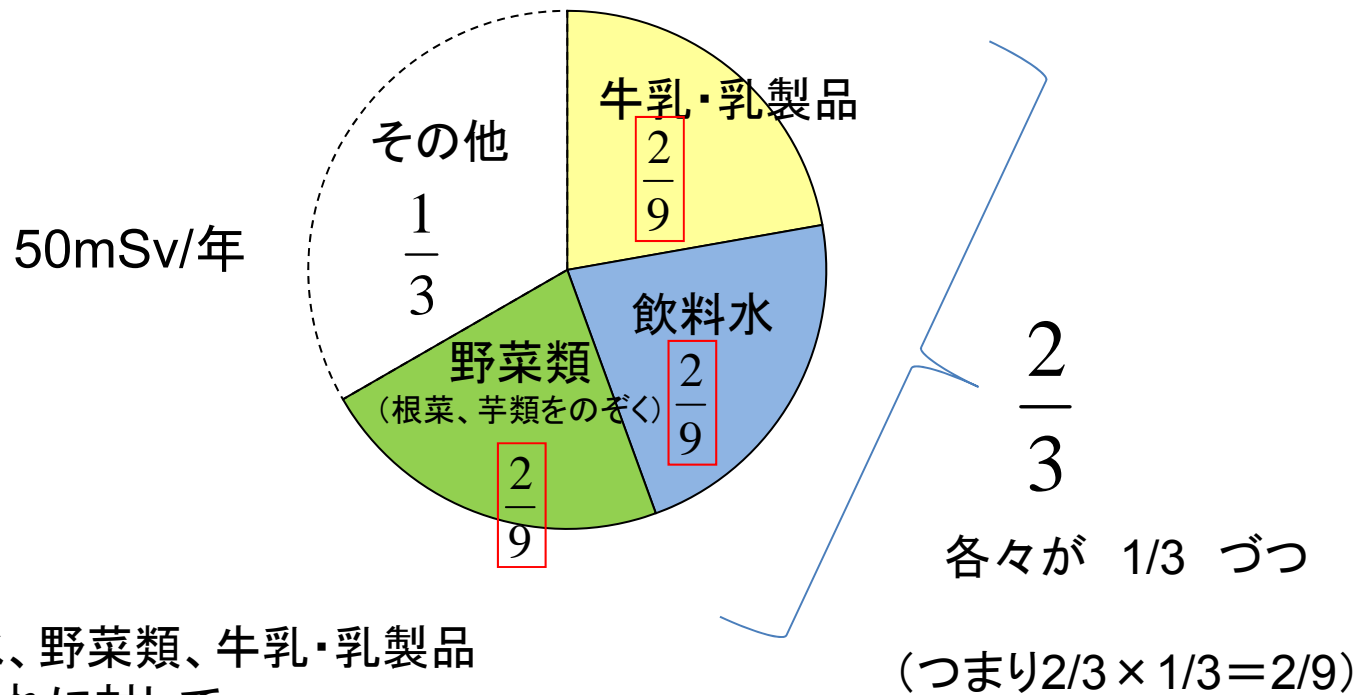
放射性Cs: 全身の線量が5mSv

となる
放射性物質
の濃度です。

飲料水に対して

甲状腺の線量限度(等価線量限度)の内訳

牛乳、水、野菜 が全体の 2/3



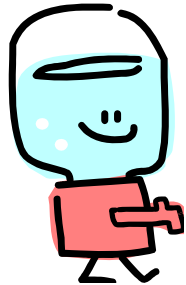
飲料水、野菜類、牛乳・乳製品
それぞれに対して

$$50 \left[\frac{mSv}{年} \right] \times \frac{2}{9} = 11 \left[\frac{mSv}{年} \right]$$

が年間限度値になります。

緊急時の考え方

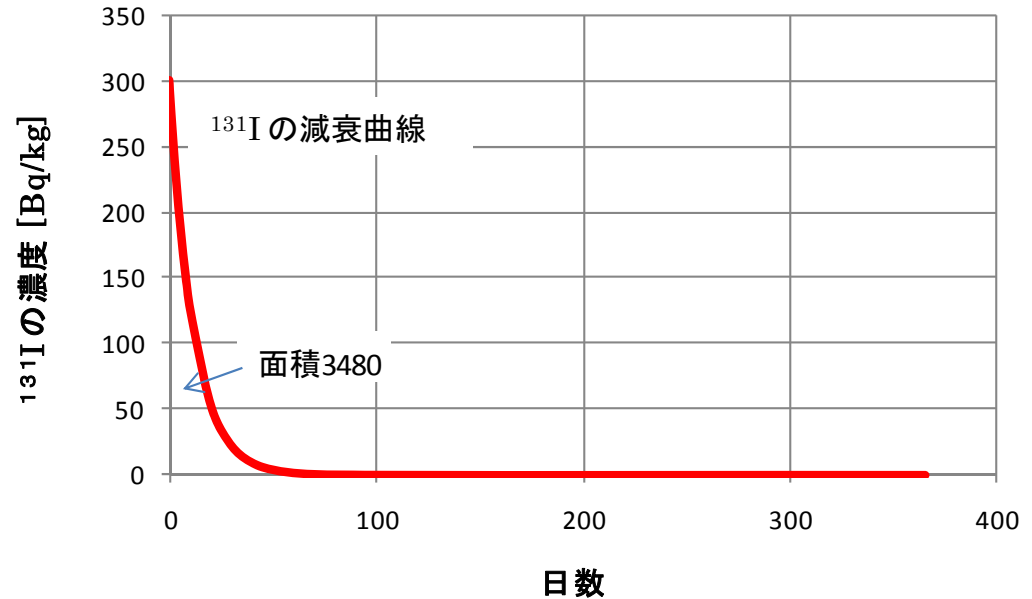
300 (Bq/kg)
で1度汚染した水



放射性ヨウ素の半減期が短いので
濃度は時間と共に減衰



毎日1L (kg) 飲み続ける
1年間で3480 (Bq) 摂取する



厚生労働省

緊急時における食品の放射能測定マニュアル から 次のように考えられます。

$$3480 \left[\frac{Bq}{kg} \right] \times 1 [kg] \times 2.8 \times 10^{-3} \left[\frac{mSv}{Bq} \right] = 9.7 \left[\frac{mSv}{年} \right]$$

↑

300 Bq/kg ならば 1度の汚染に対して年間限度の 11mSv を下回っています。
これが規制値です

線量換算係数

水や食品を計測器で測ると

➡ 放射性物質の量を示す ベクレル Bq/kg (濃度)がわかります。



年間の食品摂取量 kg/年 から 1年間の積算量を出します。

$$\text{年間積算量(Bq/年)} = \text{ベクレル濃度(Bq/kg)} \times \text{年間摂取量(kg/年)}$$



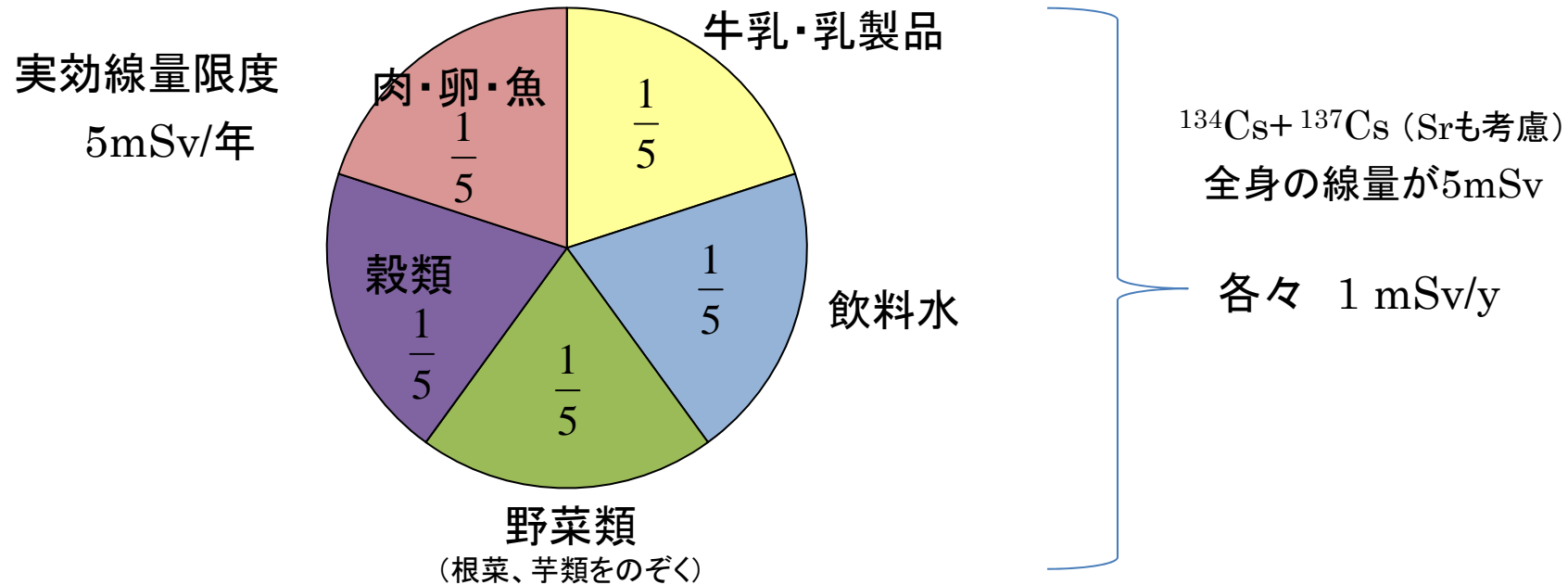
人体影響を示す シーベルト Sv/年 (年間被ばく量)に変換します。

$$\text{年間被ばく量(Sv/年)} = \text{年間積算量(Bq/年)} \times \text{線量換算係数(Sv/Bq)}$$

線量換算係数は

1[Bq]の放射性物質を摂取した場合、体内に蓄積して半減期に従って濃度が減少しながらも体内に残留するので、その残留分から生涯にわたって受ける被ばく量を、成人の残り寿命を50年(子どもの場合は70年)として求めたものです。

野菜類に対して



原子力安全委員会の原子力施設等の防災対策について から考えると

放射性セシウムの半減期はやや長いので、ここでは簡単のため放射能の減衰は無視します。

これが規制値です

$$500 \left[\frac{\text{Bq}}{\text{kg}} \right] \times 36.5 \left[\frac{\text{kg}}{\text{年}} \right] \times 1.8 \times 10^{-5} \left[\frac{\text{mSv}}{\text{Bq}} \right] = 0.33 \left[\frac{\text{mSv}}{\text{年}} \right]$$

線量換算係数
成人に対する値

葉物野菜摂取量
成人に対する値

500Bq/kg ならば 年間限度の 1mSvを下回っているとみられます。

成人の線量換算係数 [mSv/Bq]	
^{134}Cs	$1.9 \times 10^{-5} \times 0.5$
^{137}Cs	$1.3 \times 10^{-5} \times 0.5$
^{89}Sr	$2.6 \times 10^{-6} \times 0.05$
^{90}Sr	$2.8 \times 10^{-5} \times 0.05$

$^{134}\text{Cs} + ^{137}\text{Cs}$
(Srも考慮)
 1.8×10^{-5}
としました。

放射能濃度比 $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs} = 0.1$

もし東京都の浄水を飲用しても

東京都では、 ^{131}I の乳児への限度(100Bq/kg)を超えて、いったん210Bq/kg検出

1年間 210Bq/kgの水を毎日1リットル飲んだとしたら
甲状腺に対する線量は規制値 11mSv/年 越えてしまいます。

実際には ^{131}I の濃度は低下しました。

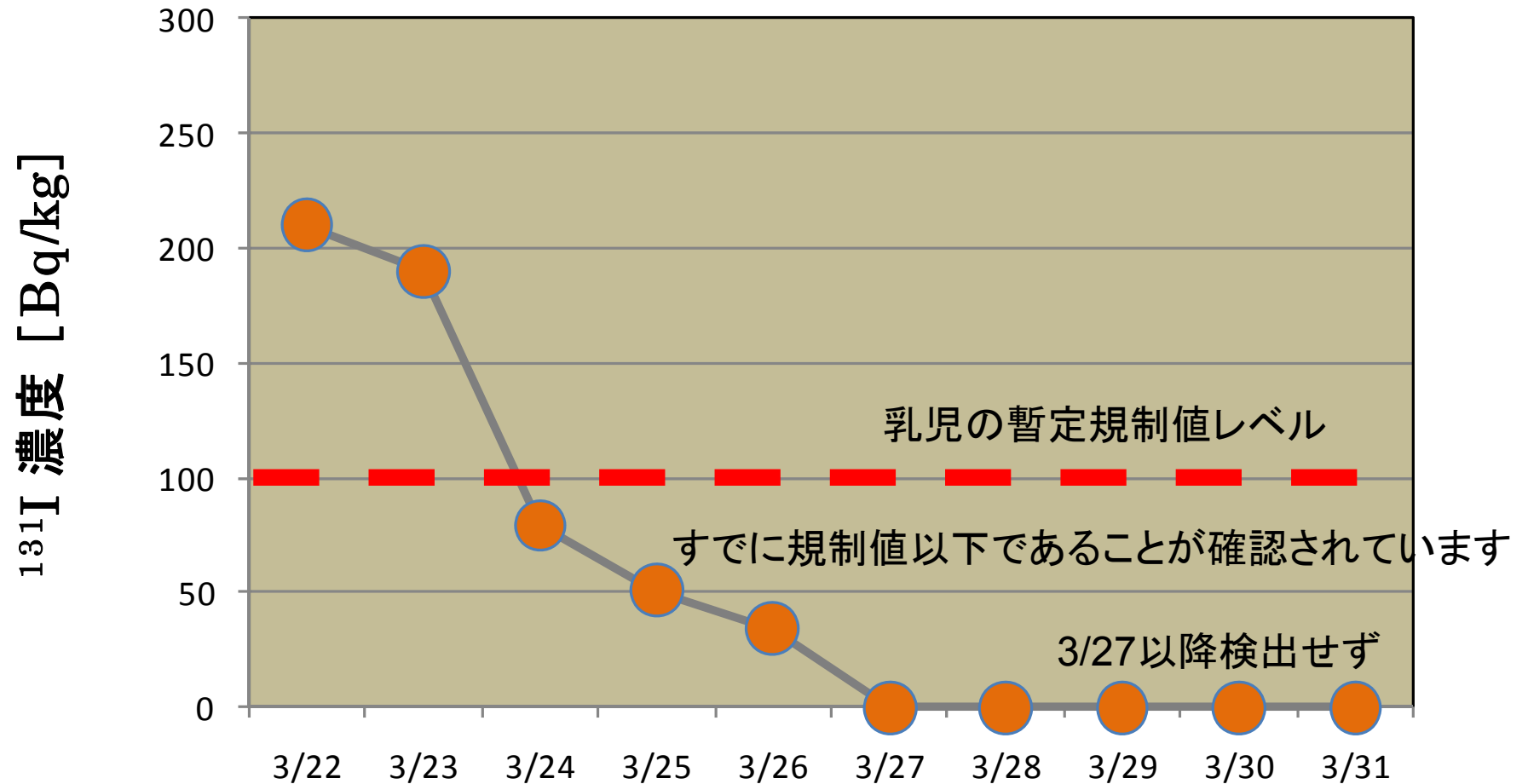
実測値(次ページに掲載)から、緊急時の乳児の甲状腺に対する線量を推定すると
浄水場の水を毎日1L飲んだとしても、約1.6mSvの増加となり、
年間限度 11mSv と比較して、1/7程度で収束したようです。

長期的ながんのリスクを考えた
全身の被ばく線量は約1.7mSv

この値は発がんレベルより十分に小さいものです。

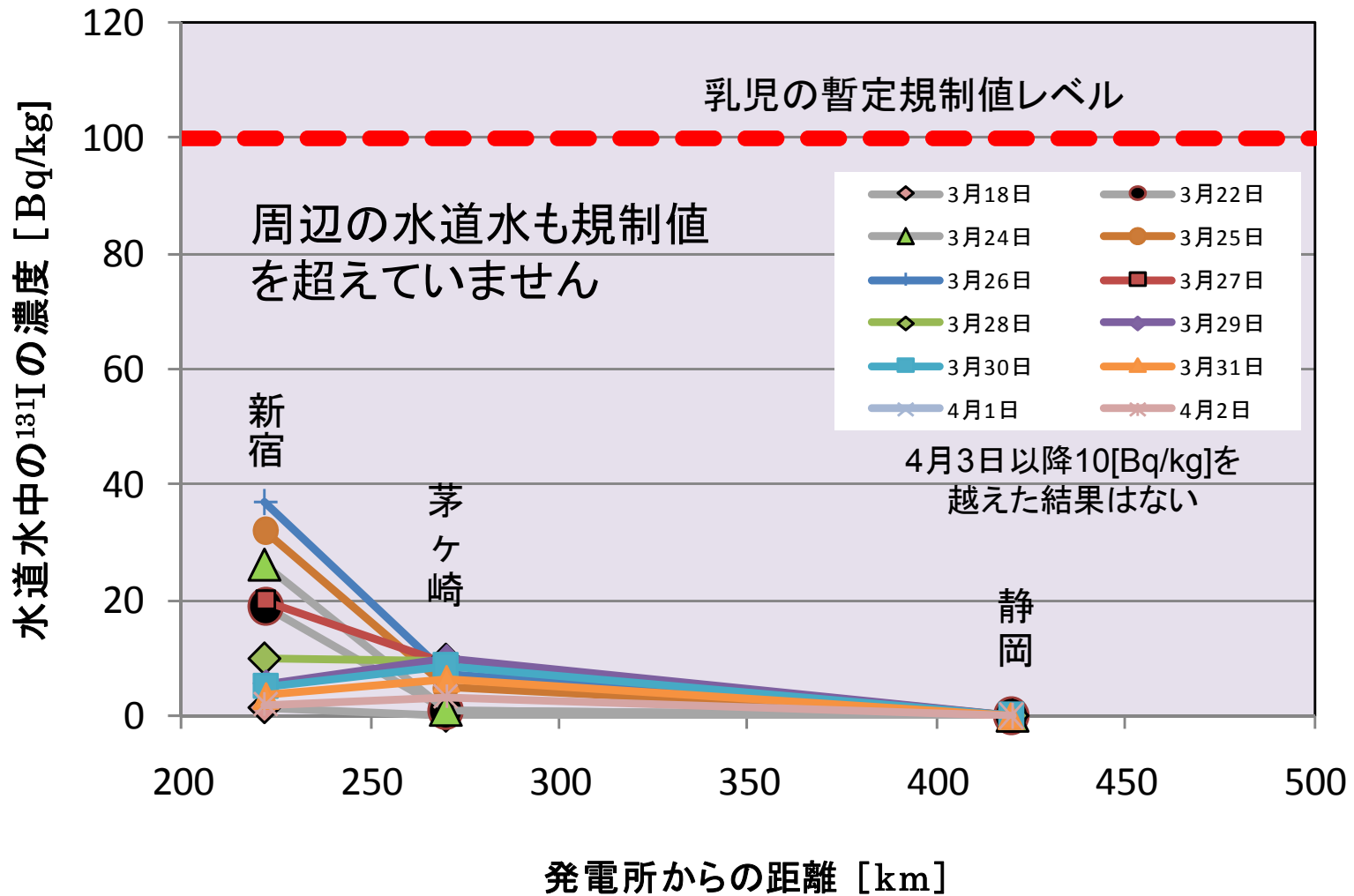
今は暫定限度以下の状態に復帰しているので、
これらを摂取したとしても 放射線影響は無視できます。

東京都金町浄水場での放射性物質濃度



東京都ホームページ公表資料に基づき作成

水道水中のヨウ素(^{131}I)の濃度



文部科学省ホームページ公表資料に基づき作成

水道水中の濃度

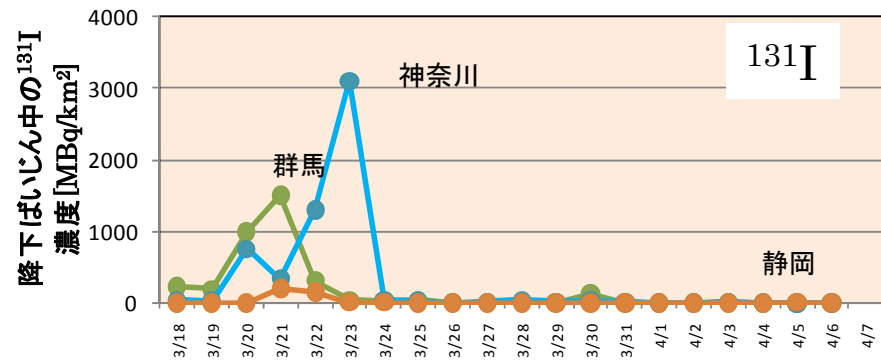
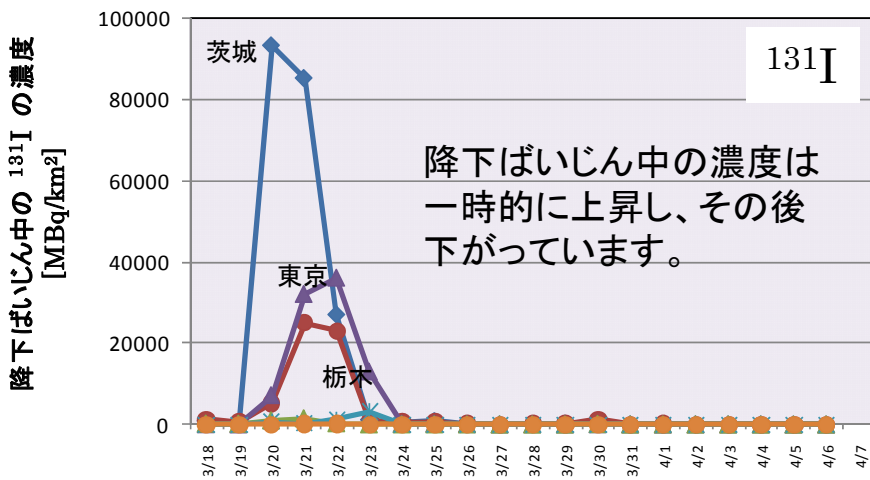
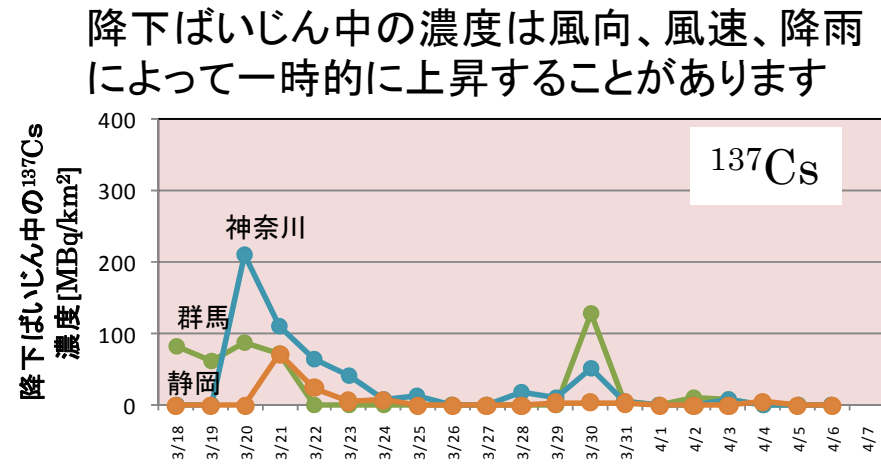
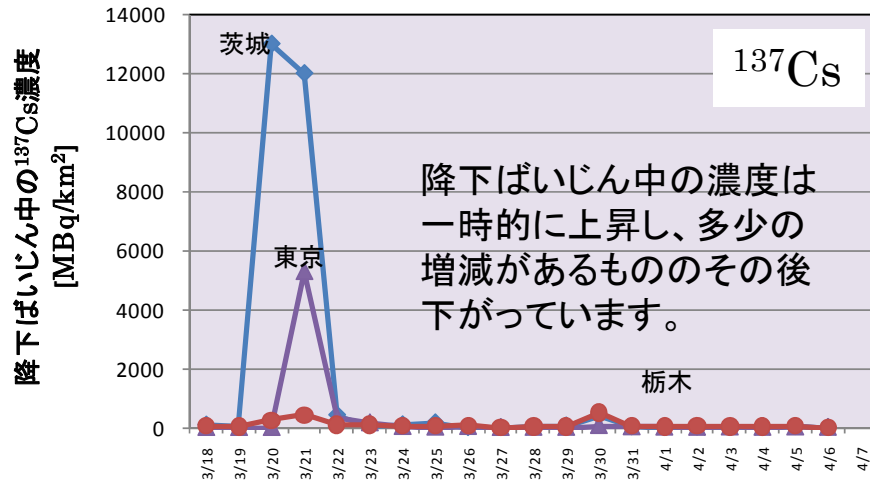
独自の分析です

	採取地点	日時	^{137}Cs [Bq/kg]	^{131}I [Bq/kg]
水道水	東京都23区内 神奈川県 川崎、厚木、 座間、秦野、伊勢原	24日夜 ないし 25日朝	市販のミネラル・ ウォーター と同じ約 1 でした	
雨水 (参考)	川崎市	21~22日	約11	約7
	平塚市	21日	約6	約4
		22~23日	約30	約8

問題ない濃度でした

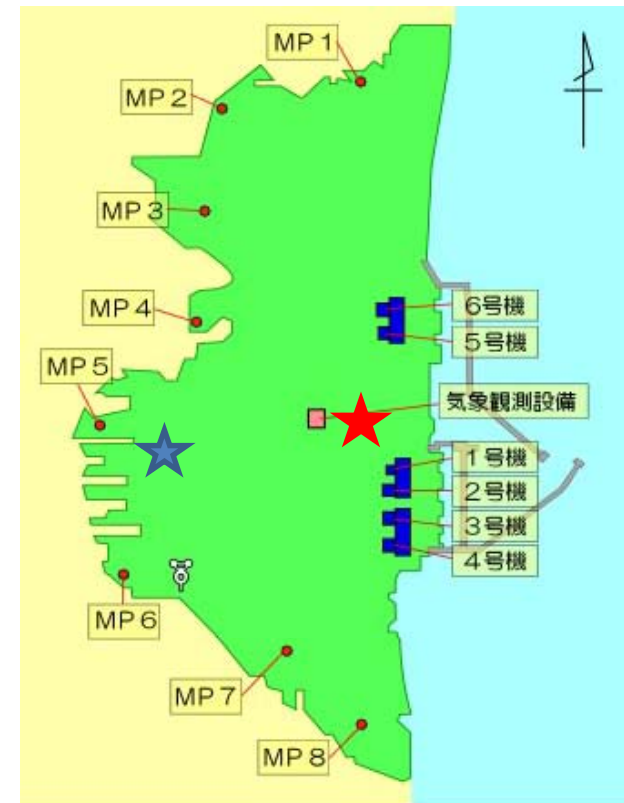
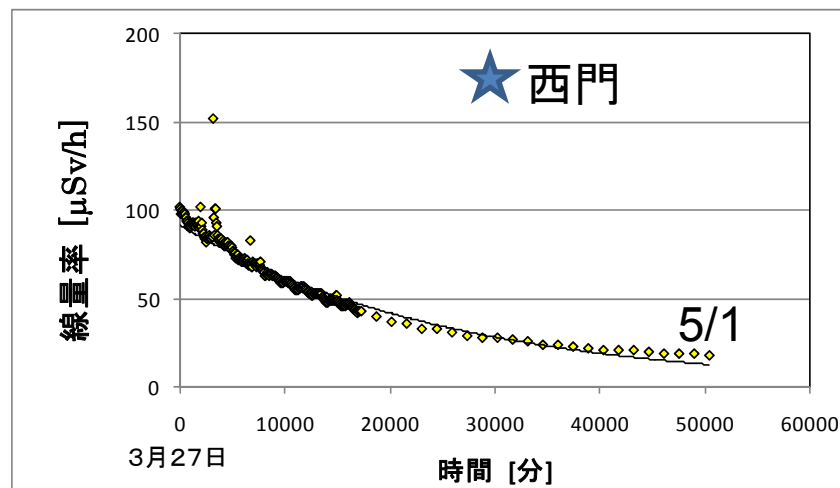
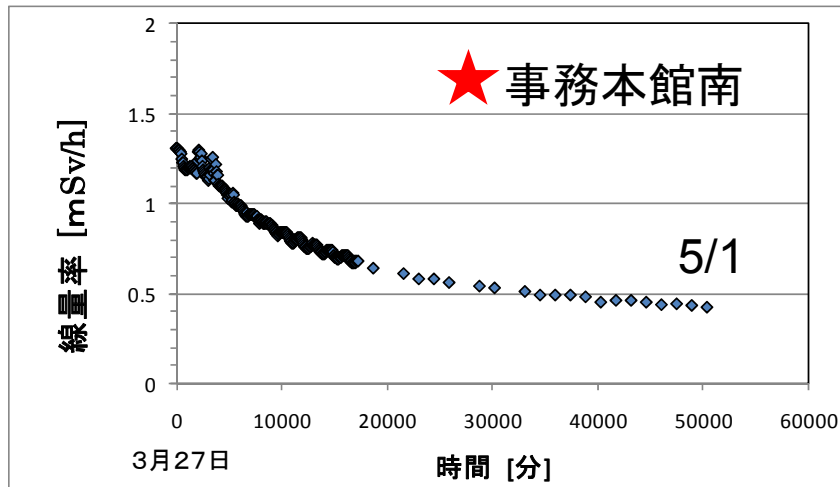
現在、検出限界以下

降下ばいじん中の濃度



大気への放出

発電所近辺の線量率が徐々に下がっていることから、放射性物質の放出は漸減傾向とみられます。



東京電力の公表データに基づいて作成

大学における放射能・放射線への対処 まとめ

放射線の影響は、無視できます。

放射能の影響は、
水道水(蛇口)は周辺でも規制値を超えていないので安心できます。

葉物野菜は

発電所からの放射性物質の放出が今後異常に高くならなければ
暫定基準を超えた汚染は一時的なものと考えています。

そもそも暫定基準は相当安全を考えて
設定しており、

多少摂取したからといって
殆ど影響はありません。