

放射線の健康影響と利用

高エネルギー加速器研究機構
名誉教授 川合 將義

放射線の健康影響

自然放射線

被ばく影響

放射線の利用

ノーベル賞研究

実用化技術

1. 放射線の健康影響

福島における放射線の基準

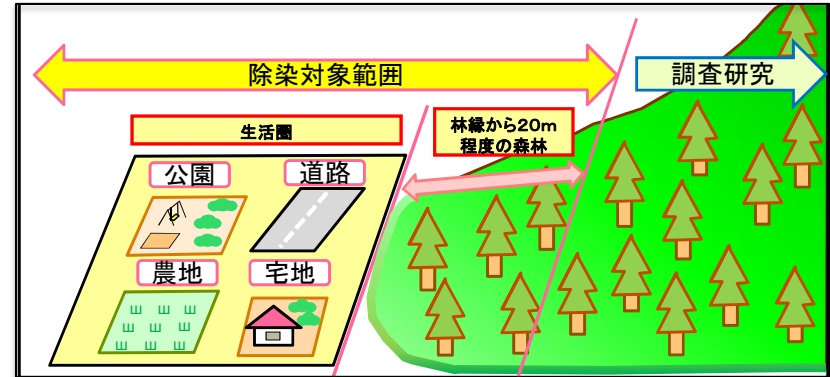
避難指示 20mSv/年以上

除染対象: 50 mSv/年未満

除染効果: 平均 半減

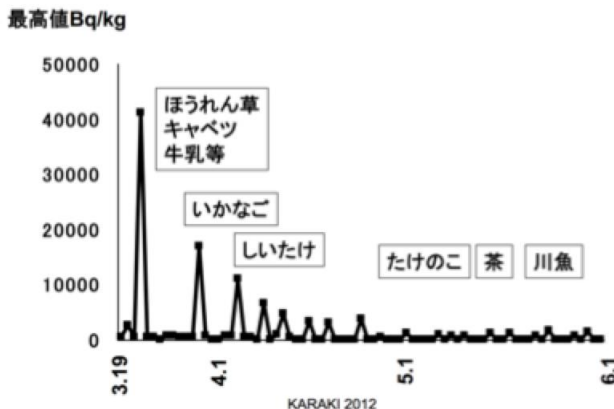
長期的に1 mSv/年達成を目標

公共施設、道路、住宅地、農地
上記隣接20m以内の山林



結果として、高くても数mSv/年となり、避難指示解除
帰還困難区域と住環境から20m以上離れた山林は、未除染

食品の放射性セシウム137検査結果
(基準越えの最高値) 厚生労働省



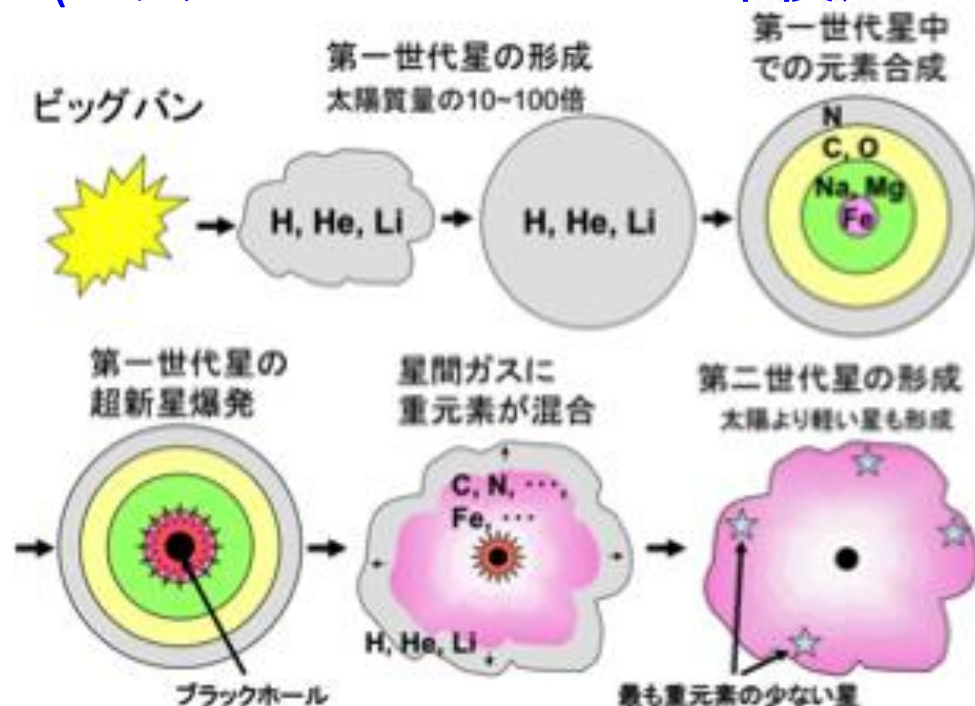
2012年4月1日から世界一厳しい放射性物質汚染食品の基準

	食品の種類	日本	米国	EU (域内産)	コーデックス委員会 (国際基準)
基準値	乳児用食品	50	1200	400	1000
	牛乳	50	1200	1000	1000
	飲料水	10	1200	1000	1000
	一般食品	100	1200	1250	1000
条件	内部被ばく	< 1 mSv/年	< 5 mSv/年	< 1 mSv/年	< 1 mSv/年
	食品汚染率	50%	30%	10%	10%

内部被ばくも 1mSv/年が目標

放射性物質は宇宙における元素合成 から

宇宙における元素合成 (ビッグバンから2-10万年後)



放射性同位元素 RI の出現

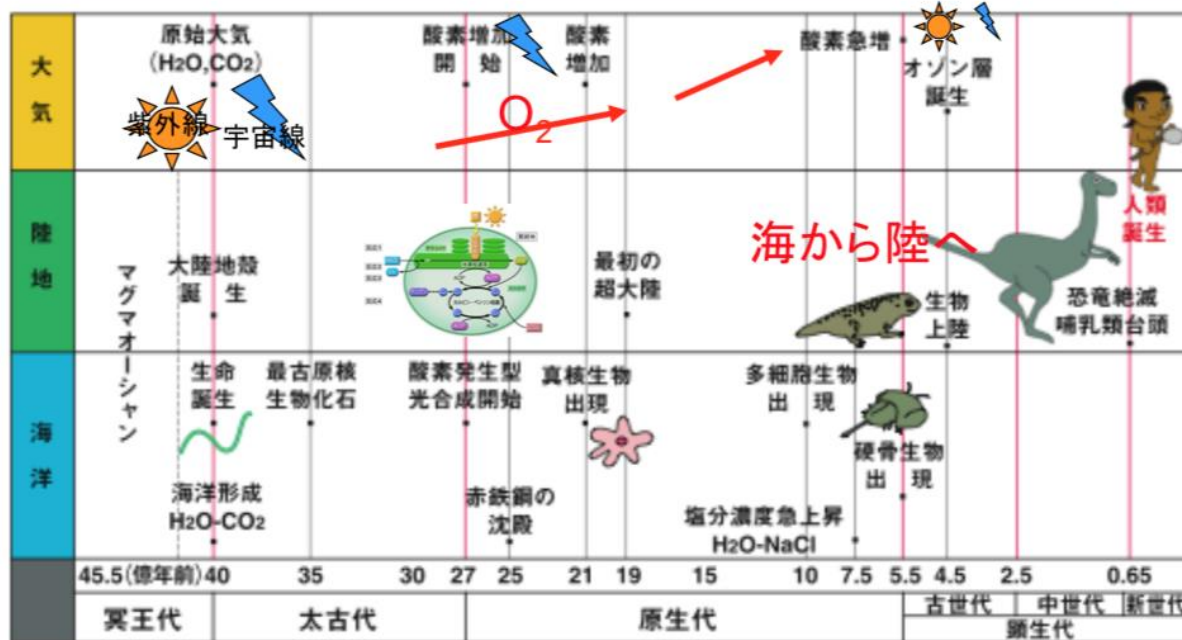
	^{12}C	^{14}C	$\longrightarrow$	^{14}N
陽子	6	6		7
中性子	6	7		7
	安定	不安定		安定
	(自然崩壊)			
アルファ崩壊	アルファ線放出			
ベータ崩壊	電子放出			
ガンマ崩壊	ガンマ線放出			

その後も宇宙は、素粒子・原子核反応によってRIを作り続けている。
それゆえ、自然界には放射線が飛び交っている。
そうした中で生物は生まれ進化してきた。人間は進化の頂点にある。

生命の誕生 38億年前 当初は嫌気性の細菌

35億年前：炭酸同化作用で澱粉を作り、酸素呼吸で活用できるシアノバクテリア発生
 活性酸素への対応、殺菌への活用もしている
 放射線の生物への影響は、水との反応でできた活性酸素が主体

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』(熊沢ほか、東京大学出版会)より制作。)

一分子ブドウ糖 → 酸素呼吸 = 19倍のエネルギー
 無酸素呼吸

我々は、自然界からどの程度放射線を浴びるか？

私たちの周りにはつねに放射線があります。雨が降ったら私たちの周りの放射線量は高くなります。これは空気中にチリ状になって浮かんでいるラドン222という放射性物質が雨にくっついて地上に落ちて来るからです。他にもいろいろな放射線源があるので、日本国内の空間放射線量 = 外部被ばく量は、下図に示すように年間1ミリシーベルトになります。(原子力情報室資料から)



うちゅうから

0.30



大地から

0.33



空気中から

0.48



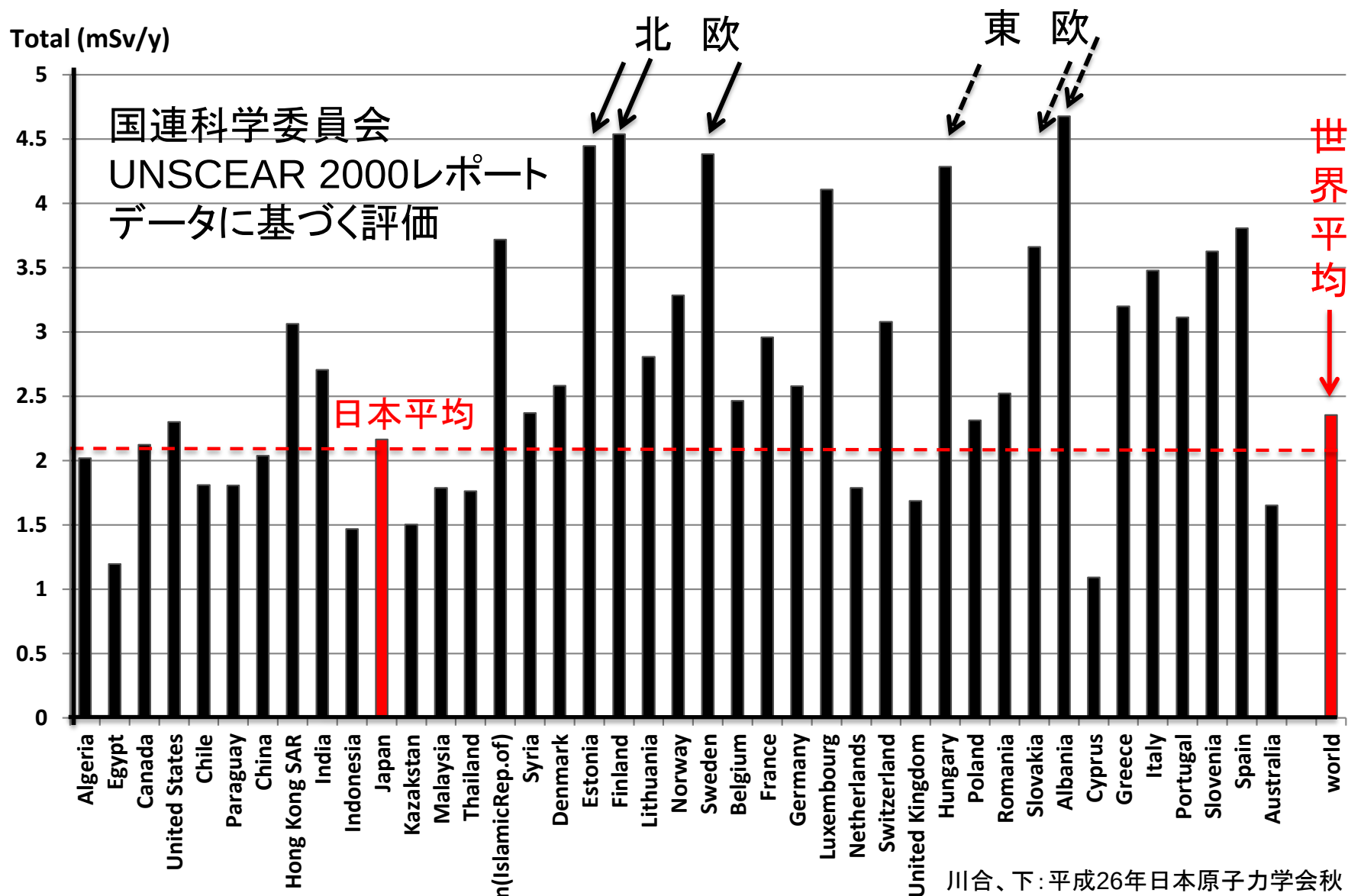
食べ物から

0.98

日本では空間放射線と食べ物からの放射線による被ばくを合わせて1年間2.09 ミリシーベルトになる。

人の身体は、自然放射線の被ばくには、十分耐えられるようになっている。

自然放射線による国別年間平均被ばく量



日本は2.1 mSv、世界平均は2.4 mSv。

フィンランド・スウェーデンやハンガリー等の北欧・東欧諸国は高い。

食べ物の中の放射性物質は、どれくらい

日本人の摂取する食べ物からの年間被ばく量

カリウム-40	0.18 mSv
炭素14	0.25 mSv
鉛210 ポロニウム210	0.80 mSv
計	0.98 mSV



食品1kgあたりのカリウム40のおよその放射能



干し昆布
2,000Bq/kg



干し椎茸
700Bq/kg



お茶
600Bq/kg



生わかめ
200Bq/kg



ドライミルク
200Bq/kg



ほうれん草
200Bq/kg



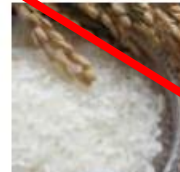
牛肉
100Bq/kg



魚
100Bq/kg



牛乳
50Bq/kg



米
30Bq/kg



食パン
30Bq/kg



ビール
10Bq/kg

人間だって放射線を出しているんだよ

赤ちゃんにも

放射線効果と被ばく影響： 高線量→確定的な影響 低線量→確率的な影響

日常でみられる放射線被曝線量

Gy(グレイ)：

放射線が物質に与えるエネルギーの単位

40-50Gy がん治療(がんに対して)
局所被ばく

4Gy 半致死量



6.7-10mSv CT/1回



0.3-0.65mSv 胸部X線/1回

100Gy

10Gy

1Gy

0.1Gy

10mSv

1mSv

0.1mSv

0.01mSv

1000mSv

100mSv

1000mSv：致死がん発生率5%

500mSv：重篤な症状なし

250mSv：臨床症状無し

100mSv：人体に影響ない線量

10mSv 年間高自然放射線：イランラムサール

5.5mSv ブラジル ガラパリ

3.8mSv インド ケララ

2.4mSv：年間自然放射線(世界平均)

2.1mSv：日本

約0.2mSv：
東京ニューヨーク間往復

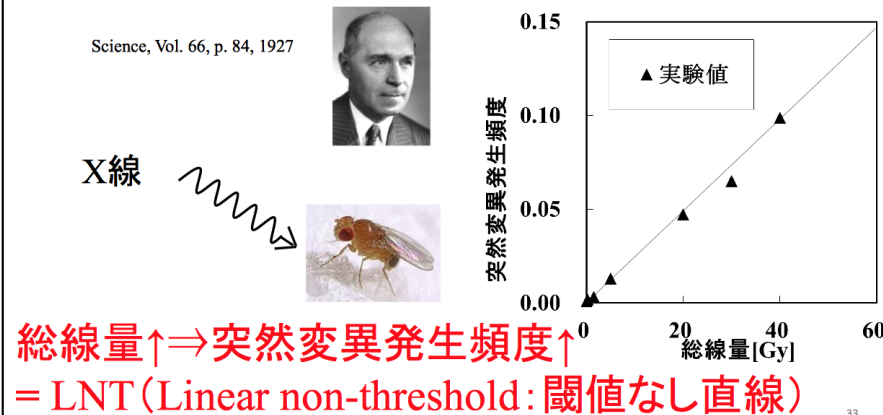


Sv(シーベルト)：

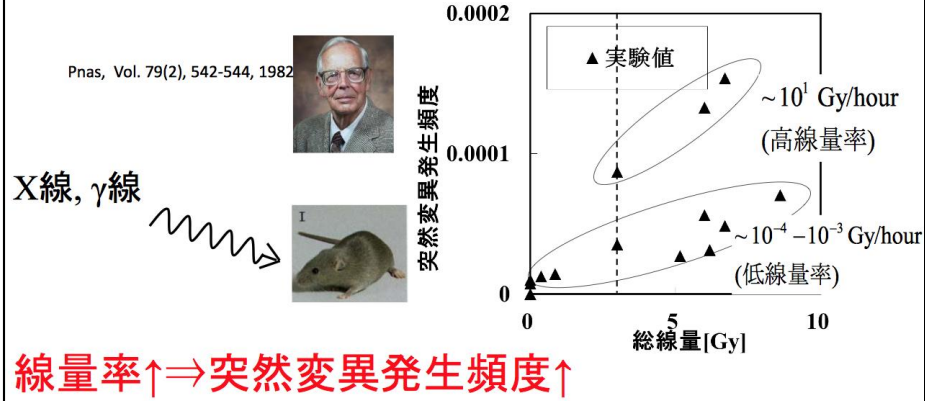
健康を守る

放射線被ばく影響：低線量→確率的な影響

Mullerのショウジョウバエの実験(LNT)



ラッセルのメガマウス実験(線量率効果)



1927 マラーのオスのショウジョウバエの実験

LNT仮説 突然変異発生頻度は被ばく量に比例する

➔ 1946年ノーベル賞受賞

1950年代 ラッセルのメガマウス実験

突然変異発生頻度は、同じ累積線量でも線量率が高い程高い
(LNT仮説に疑義)

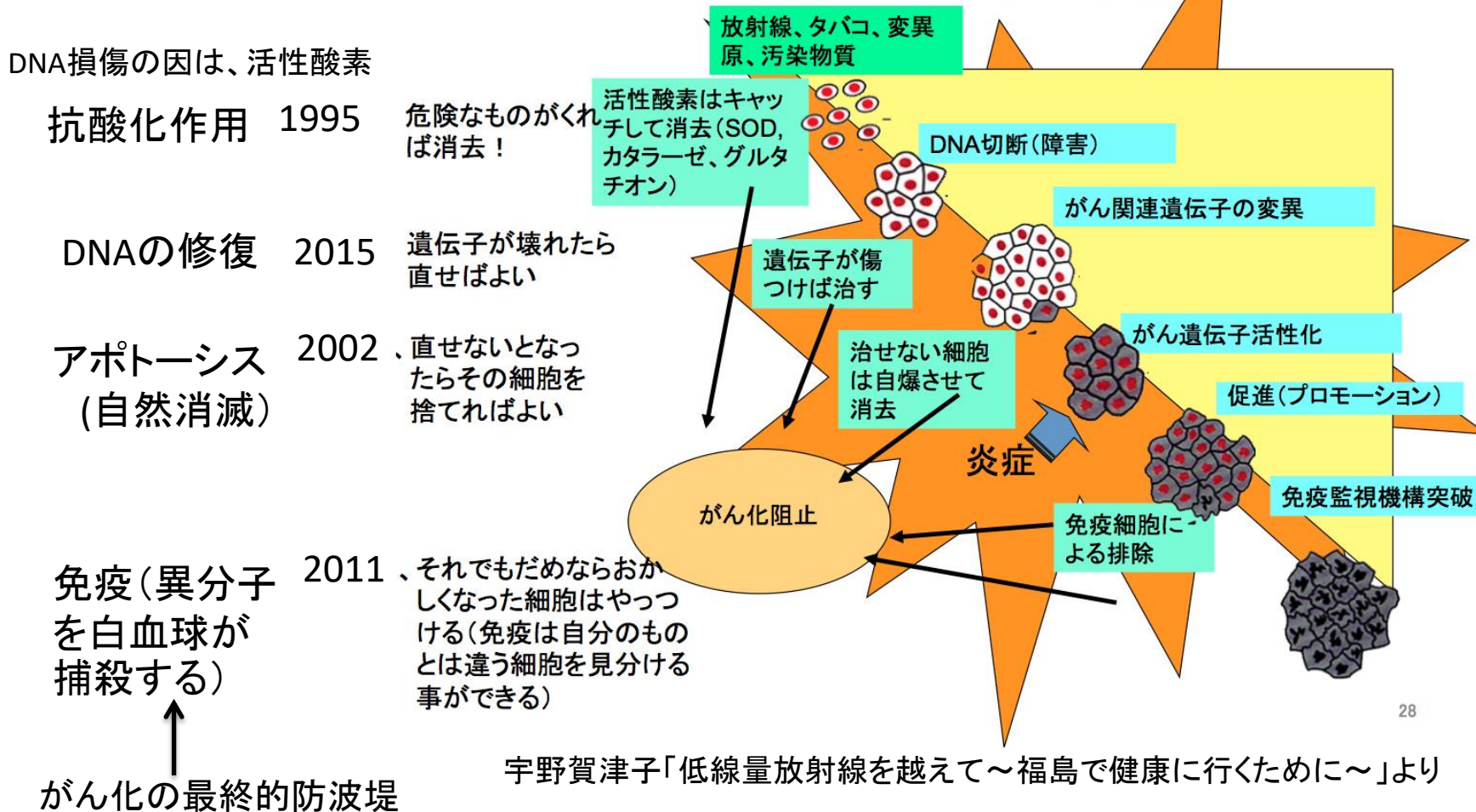
2003年プレストン他広島長崎原爆被爆者疫学研究

200mSv以上比例関係、100mSv以下は不明

ICRPは、200 mSv以上の比例関係を低線量被ばくに準用

一方、高等生物は、進化の過程でがん化に対する抑制機能を獲得

人におけるがん化のプロセスと多段階の抑制機構



DNAの修復機能は非常に高く、ラッセルのメガマウス実験結果や人の紫外線による皮膚がん発生量の低さも、この効果で説明できる。

低線量被ばく影響と研究の動向

ICRP: 広島長崎原爆被ばく疫学データ → 癌死亡リスク 0.5%/100 mSv と評価

放射線従事者の基準: 100mSv/5年間

平常時公衆被ばく基準: 1 mSv/年 (非常時避難は20-100 mSvで設定)

1 mSv/年 → 0.005% 生涯死亡率 → リスク係数 4.5×10^{-7}
(交通事故リスクの1桁下)

DNA修復機能の研究

1970年以前はDNAは安定と思われていた。リンダールがDNA損傷を実験で確認。その後修復機能について研究多数。

2015年リンダール、モドリッチ、サンジヤールにノーベル賞

2016年真鍋他: DNA修復考慮のWAM(Whack-A-Mole)モデル、他
低線量被ばく影響は、長期的には飽和する。(LNT仮説の否定)

2017年放医研の被ばくマウスの染色体分析で線量率効果検証
DNA修復を受ける自然がんによる死亡率 30% によるリスク係数の計算

ガンの因のDNA 2重鎖切断数: 1 mSv/日の被ばくは、自然発生の3/1000
→ 100mSv/年のリスク係数 2.7×10^{-6} (交通事故リスクの一桁下)

2. 放射線の利用

放射線を火にたとえれば

放射能 (ベクレル/kg)	↔	薪炭の火 (ジュール)
放射線照射量 (グレイ)	↔	赤外線照射量 (ジュール/kg)
被ばく影響 (シーベルト)	↔	煮, 焚, 焼く (温度)

火も強く当てすぎれば、火傷もし、焦げ、燃えたりします。→
危険程よい火加減で、良い料理や加工ができます。→ 利用

放射線は、放射能の強さ、距離、時間、遮蔽で調節することで安全に使えて、いろんなことに利用できます。



X線、ガンマ線

1901 W. レントゲン

X線の発見
放射線の発見
微視構造解析
医学応用

1914 M. ラウエ X線回折の発見
1915 W.H. ブラッグ W.L. ブラッグ X線結晶構造解析
1927 A. コンプトン コンプトン効果
1936 P. デバイ X線と電子線、分子構造解析
1962 J. ワトソン、F. クリック、M. ウィルキンス 核酸分子構造、情報伝達
1964 D. ホジキン 生体分子構造解析
1972 G. エデルマン、R. ポーター 抗体化学構造解析

1982 A. グルーグ 核酸、蛋白質構造解析
1985 H. ハウプトマン、J. カール 構造直接決定法
1988 J. ダイゼンホーファー、R. フーバー、H. ミュヘル 光合成中心3次元構造決定
2009 V. ラマクリシュナン、T. スタイツ、A. ヨナス リボソーム構造・機能研究
2015 T. リンドハール、P. モドリッチ、A. サンニャール DNA修復機構の研究

核化学

1903 A. ベクレル、キュリー夫妻
自発的放射能発見

1908 E. ラザフォード 元素崩壊、核化学
1921 F. ソディ 核化学研究
1943 G.D. ヘヴェシー トレーサー利用
1960 W. リビー C14による年代測定
2002 R. ジャコーニ 宇宙X線源発見
1979 G. ハウンズフィールド、A. コックス ド
1983 W. ファウラー 宇宙化学元素生成理論

電子・陽電子

1905 P. レーナルト
陰極線の研究

1906 J. トムソン 電子発見
1925 J. フランク、G. ヘルツ 電子と原子の衝突（離散状態）
1933 P. ディラック 量子力学、陽電子予言
1936 C. アンダーソン 陽電子発見
1937 C. ディヴィソン、J. トムソン 電子線回折現象発見
1949 湯川秀樹 中間子理論
1950 C. パウエル パイ中間子発見

素粒子研究

理論と実験の融和
加速器と高度測定技術利用

1958 P. チェレンコフ、I. フランク、I. タム チェレンコフ効果発見
1961 R. ホフスタッター 線形加速器による核内電子散乱・核子構造研究
1976 B. リヒター 新素粒子発見
1980 J. クローニン、V. フィッチ K中間子対称性破れ
1988 L. レーダーマン、M. シュワルツ、J. シュタインバーガー ミューニュートリノ発見
1990 J. フリードマン、H. ケンドール、R. テイラー 電子の深非弾性散乱研究
1995 M. パール タウ粒子発見
2008 小林誠、益川敏英 対称性の破れ起源
2013 F. アンゲレル、P. ヒッグス 質量の起源の理論
1995 F. ライネス 原子炉ニュートリノ
2002 R. デービス、小柴昌俊 宇宙ニュートリノ検出
2015 梶田隆章、A. マクドナルド ニュートリノ振動発見

荷電粒子

粒子加速器と測定技術の開発
原子核研究

1927 C. ウィルソン 霧箱考案
1936 V. ヘス 宇宙線の発見
1943 O. シュテルン 分子線、陽子磁気モーメント
1944 I. ラービ 原子核磁気の共鳴測定法
1948 P. ブラケット 改良霧箱と宇宙線、原子核研究
1960 D. グレーザー 泡箱発明
1939 E. ローレンス サイクロトロン発明と新RI発見
1951 J. コッククロフト、E. ウォルトン 原子核変換発見
1959 E. セグレ、O. チェンバレン 反陽子発見
1992 J. シャルバック 多線式比例計数管の発明

中性子

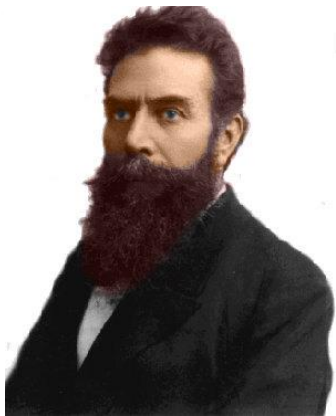
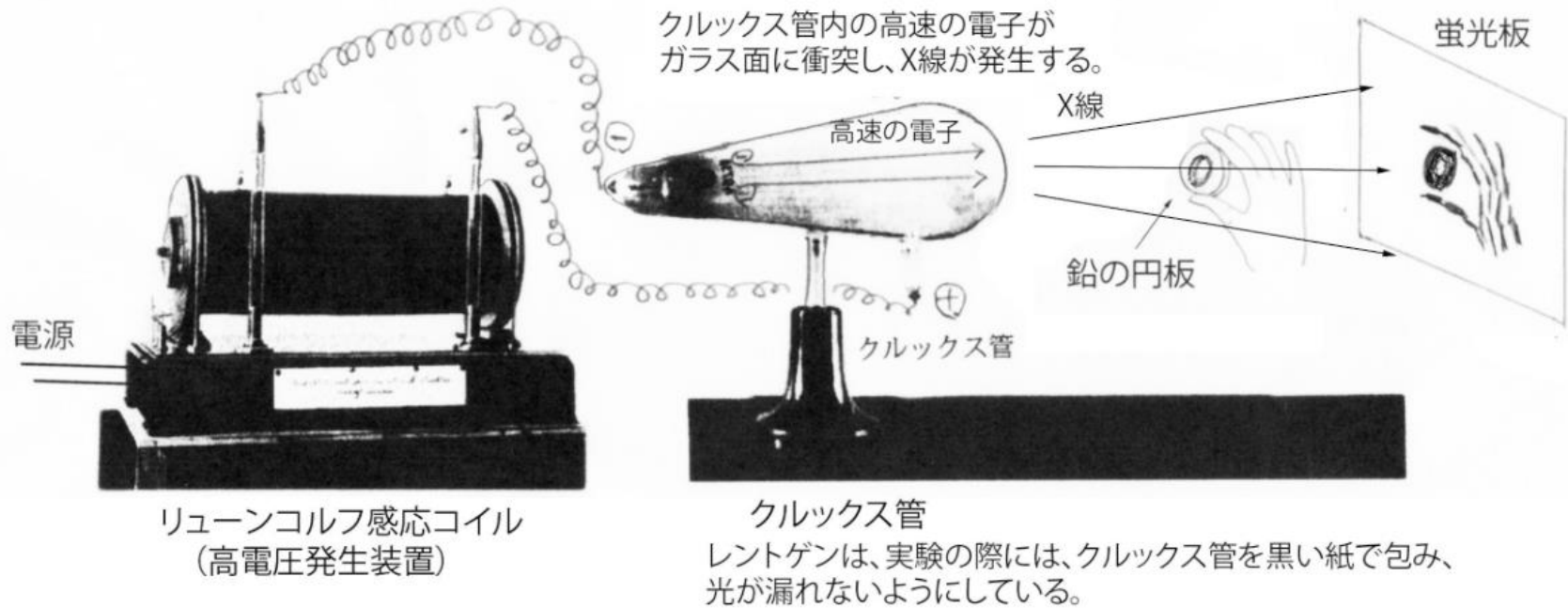
1935 J. チャドウィック 中性子の発見
1938 E. フェルミ RI存在証明と中性子核反応
1994 B. ブロックハウス、C. シャル 中性子分光、中性子回折

物理学賞 化学賞 生理学医学賞

川合作

118年間に放射線が関わったノーベル賞研究は63件 → 正に2年に1度の受賞

1895年レントゲンによるX線の発見から始まった



W. レントゲン 夫人のX線写真

- ⇒ 医療診断 放射線治療
M.キュリー P.キュリー
非破壊検査、化学、農学
- ⇒ 微視的～天体観察
ものを変える

放射線の発見

ほうしゃせん

1895年 ウィルヘルム・レントゲン 放射線(X線)の発見

1896年 アンリ・ベクレル 放射能の発見

1899年 アーネスト・ラザフォード アルファ線、ベータ線の発見

1900年 P.V.ヴィラルー ガンマ線の発見

→ しかし、これらの発見は放射線が飛んでいる様子を直接見たわけではない



放射線が飛んでいる様子を直接見ることができるようになった

→ さまざまな新粒子や核反応の発見がされるようになる

→ その後の物理学の発展をうながした、ブレイクスルーであった

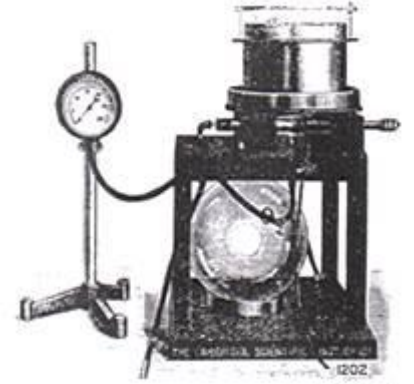
その後、霧箱は、泡箱、ワイヤーチェンバー、などの検出器により置き換えられていく

霧箱は三つのノーベル賞を産んだ

 **Nobelprize.org**
The Official Web Site of the Nobel Prize



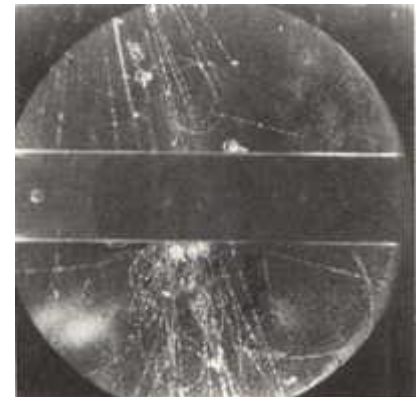
1927年
イギリスのウィルソン博士
霧箱を発明で



1936年
米国のアンダーソン博士
霧箱を使った陽電子(電子の反物質)の
発見で <電子対生成の発見 $E = MC^2$ >



1948年
イギリスのブラケット博士
霧箱を使った宇宙線シャワー現象の
研究で



実用化技術の例

診断とガン治療

高品質半導体製造

超高集積回路

耐熱電線製造

自動車のタイヤ

難燃フォーム

アートタイル・塗装

医療用具滅菌

食品照射

みかんミバエ不妊化

薔薇、菊、桜の改良

黒真珠・黒水晶製造

排煙浄化処理

非破壊検査(溶接、
橋梁・道路劣化診断)



主要分野での放射線の利用例

放射線をものに当てて計測したり、ものを目的とするものに変える

主要な分野における研究例及び実用例等

●福島対応の例

- ・セシウム捕集材の開発

●科学・技術・学術分野の例

- ・量子ビームを用いた研究
- ・ナノテクノロジー
- ・高温超伝導材料の研究開発
- ・RIを利用したトレーサー研究など



大強度陽子加速器施設J-PARC

(出典)日本原子力研究開発機構、高エネルギー加速器研究機構

●工業分野の例

- ・精密計測
- ・非破壊検査
- ・材料の改良
- ・半導体素子の加工プロセス
- ・自動車タイヤ等の部品製造
- ・医療用具の滅菌 など

●医療分野の例

- ・イメージング (X線CT、PETなど)
- ・放射線治療 (X線、電子線、γ線、中性子線、陽子線、重粒子線など)
- ・RIの製造

●農業分野の例

- ・品種改良 (花・米の新品種の開発)
- ・害虫防除 (不妊虫放飼法による害虫防除)
- ・食品照射 (ばれいしょの発芽防止) など



パステル調の花色のオステオスペルマムの新品種

(出典)日本原子力研究開発機構



CT機能とPET機能を有する PET-CT装置

(出典)原子力委員会 新計画策定会議 資料

●環境・資源分野の例

- ・窒素酸化物、硫黄酸化物等の分解、除去
- ・ダイオキシンの要因となる揮発性有機化合物の分解など

新大綱策定会議(第1回)資料第5号 平成22年12月21日

炭素14などによる年代測定

放射線利用一覽

工業利用

材料加工

高分子材料
複合材料
セラミックス
ゴム・ラテックス
電線ケーブル
繊維・紙
フィルム・シート
チューブ・タイヤ
装飾材

機能材料製造

半導体
分離機能材料
センサー材料
吸着材
医用材料
光機能材料
熱収縮材料

検査・分析

工業用計測*
非破壊検査
微量分析

滅菌・殺菌

包装材料
医療用具
動物飼料
医薬・化粧品類

表面処理

印刷
塗装・コーティング
粘着・接着加工
表面加工
微細加工

環境保全

排ガス処理
廃水処理
污泥処理
金属処理
難分解物質の分解
リサイクル処理
汚染物質の分析

* 工業計測: 厚さ計、
流体計測(流量、流れ)

農業利用

育種

花卉新品種作り
農作物・林木
有用菌類・微生物
昆虫
害虫駆除
不妊化
検疫処理

環境・資源利用

生物資源
バイオマス
環境評価
機能特性
食品照射
発芽防止
殺虫・殺菌
検知法
健全性
包装容器

医学利用

放射線診断

X線検査診断
CT
PET
核医学

放射線治療

放射線外部照射
粒子線外部照射
RI治療
BNCT法

放射線技術

原子炉
加速器
放射線検出
電子顕微鏡
線量測定
ラジオグラフィ
放射線取扱技術

汎用

高周波加熱
電子レンジ

研究利用

生物学研究

放射線生物学

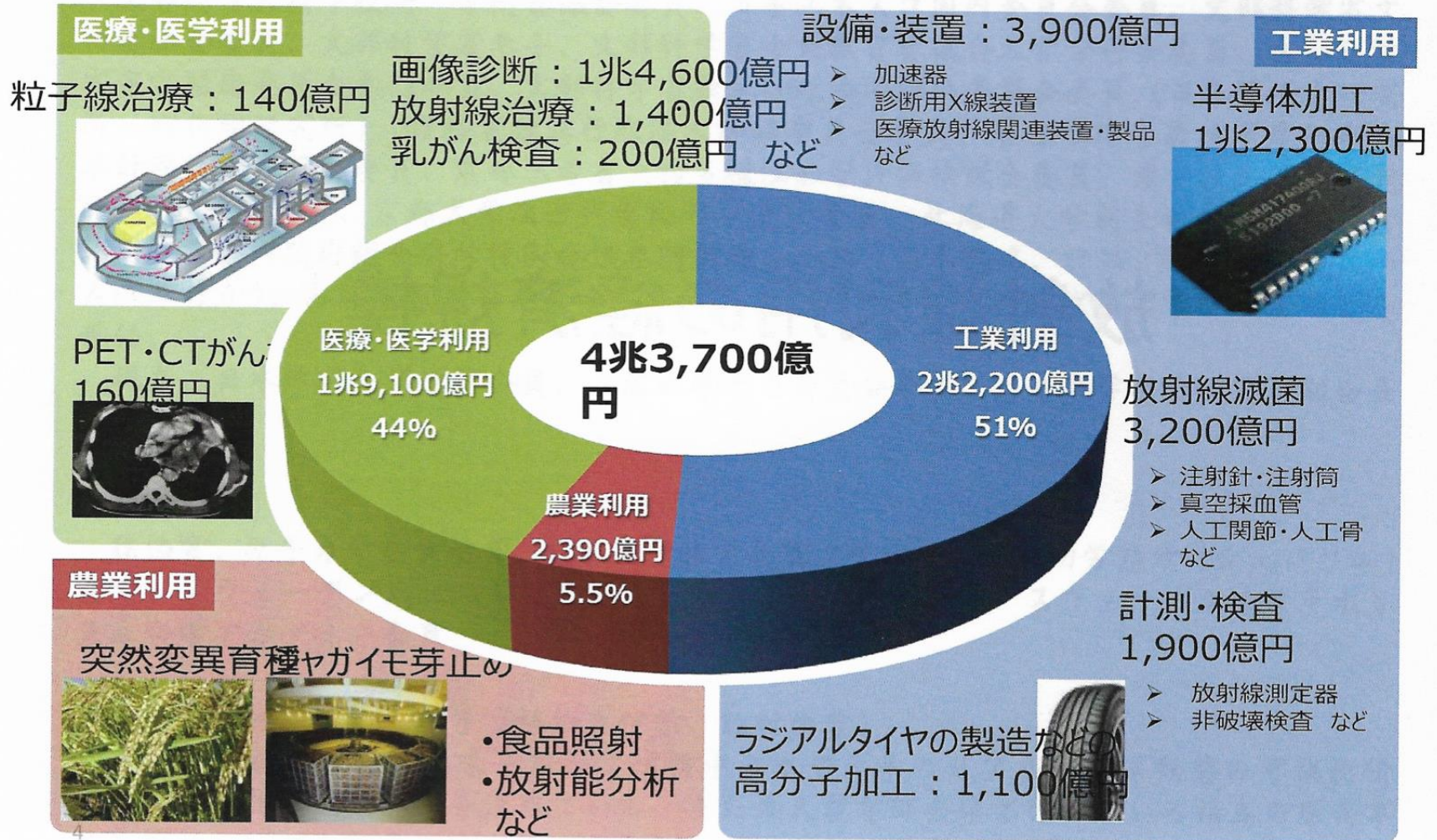
基礎物理・化学研究

素粒子研究
放射線物理
放射線化学
元素分析
放出エックス線分析
放出粒子分析
放出電子分析
放射化分析
加速器質量分析
物性・構造解析
表面構造
界面構造
深部構造
照射損傷

放射線防護

放射線障害
放射線防護
放射線管理

平成27年度の放射線利用の経済規模



中西友子氏講演資料より

医療と半導体加工で夫々1兆円超え

3. まとめ

- 放射線については、東京電力福島第一原発事故以降、かなり恐れられています。年間追加被ばく1mSvでも障害が出るという話もありました。正しいところを知りましょう。また、そのプラス面もたくさんあります。
- 放射線は宇宙開闢以来あり、高等生物は自然放射線への対応力を持ちました。
- 自然放射線被ばくは、日本平均で年間2.1 mSv、北欧や東欧は3-5 mSv です。
- 年間1 mSvの被ばくによるリスクは、 4.7×10^{-7} で、交通事故死より2桁低い。
- 低線量被ばくの影響は、2015年のノーベル賞を受賞した損傷したDNAの修復作用やその後の変異細胞の自死(アポトーシス)、免疫が異常細胞を駆逐するため、長く残りません。ガンの多くは、免疫の衰えで発症します。
- タバコ、ストレス、偏食等で生み出される活性酸素もがんの因。健康な生活を！
- 世界一厳しい食物中のセシウム137の基準の1kg当たり100ベクレルは、国産の食物が全て汚染している見なしで決めた値。それさえ福島県はクリアしました。
- 考えるべきは内部被ばく量です。今では1 mSvの1000分の1にも満たない。
- 放射線は制御でき、基礎科学研究から医療、産業に広く利用されています。
- レントゲンを最初とし、63件ものノーベル賞が放射線とその技術が関わった研究です。X線検査、ガン治療、非破壊検査、高品質半導体製造、ラジアルタイヤ