



# 六ヶ所を巡る情勢と 放射線被曝で発症する様々な病気



「六ヶ所村に新しい風をおこす会」  
健生病院 非常勤医師  
遠藤順子

# 自己紹介

室蘭工業大学 工業化学科卒  
弘前大学 医学部卒

全く政治に  
無関心  
専門を生かせる  
就職できて  
ラッキー！

2011年3月11日 東日本大震災 & 福島第一原発爆発！

いろんなことが、全部ウソだったんだー！！

2011年秋 弘前市内で内部被ばくの学習会  
以降 ときどき学習会や講義

2013年4月 常勤医から非常勤医師に

2015年6月 青森県知事選で脱原発候補の広報担当

2018年6月 六ヶ所村長選出馬

# 六ヶ所村長選の結果と分析

六ヶ所村人口（平成30年9月1日現在）10,464 人

当日有権者数（平成30年6月24日現在）8,637 人

（日本原燃関連企業社員及びその家族約6000人）

投票者数 5,379 人

棄権者数 3,258 人

投票率 62.28 %

当 戸田 衛

5,021

遠藤順子

323

（供託金50万円没収）

# 青森県の主な核施設



# 六ヶ所核燃サイクル施設

- 再処理工場
- ウラン濃縮工場
- MOX燃料加工工場
- 高レベル放射性廃棄物一時貯蔵施設
- 低レベル放射性廃棄物埋設施設

# 六ヶ所核燃サイクル施設の地図



# 再処理工場

2021年度上期完工予定  
(24回延期)

【使用済燃料受入れ・貯蔵施設】  
使用済燃料受入れ累積体数  
(2018/9/30現在)

BWR燃料 9829体

PWR燃料 3942体

最大再処理能力 800t/yで  
プルトニウム抽出 約8t  
ガラス固化体 約1000本

使用済み燃料貯蔵容量  
3000tU



米などによるプルトニウム  
量削減要求あり、7t/年



六ヶ所再処理工場のトリチウム放出 管理目標が変更になった！

|          | 液体トリチウム                   | 2018/7月より改定 | 気体トリチウム            | 2018/7改定 |
|----------|---------------------------|-------------|--------------------|----------|
| 管理目標 (年) | 1京8000兆 (Bq) → 9400兆 (Bq) |             | 1900兆 → 1000兆 (Bq) |          |

# 六ヶ所核燃サイクル施設の歴史

## トラブルと不正

- 1992.3 ウラン濃縮工場が本格操業を開始
- 1998.3 ガラス固化体60本搬入
- 1998.10 使用済燃料輸送容器の中性子遮蔽材データ改ざん・ねつ造
- 2000.2 再処理施設に搬入された機器に部品欠落が発覚
- 2000.12 使用済み核燃料本格搬入
- 2001.12 使用済み燃料プールでの7月からの漏水発覚
- 2002.11 再処理工場の化学試験開始
- 2002.11 使用済み燃料プールの漏水の原因が溶接不良と発覚
- 2003.12 空気作動ポンプ点検中に硝酸が飛散
- 2004.12 ウラン試験開始
- 2005.6 使用済み燃料プールで再び水漏れ
- 2006.3 アクティブ試験開始
- 2006.11 「MOX粉末製造成功」と発表
- 2007.11 ガラス固化体製造開始→トラブル続発
- 2009.1 高レベル廃液漏れ：発覚は発生から12日後

# 六ヶ所再処理工場のトリチウム放出実績 (アクティブ試験)

| 年度            | 液体トリチウム (Bq)   | 気体トリチウム (Bq) |
|---------------|----------------|--------------|
| 2006.4～2007.3 | 490兆 (tera)    | 6兆 (tera)    |
| 2007.4～2008.3 | 1300兆* (tera)  | 9.8兆(tera)   |
| 2008.4～2009.3 | 360兆 (tera)    | 3.7兆(tera)   |
| 本格稼働時の管理目標(年) | 1京8000兆 (tera) | 1900 兆(tera) |

2018/7改定の管理目標

9400兆

1000兆

\* ) 2007.10は1カ月で520兆(T)Bq/月 1兆(tera)=10の12乗 1京=10<sup>16</sup>  
(2015/1/24-25 山田清彦氏による反核学習会資料より抜粋して作成)

# 再処理工場は完工前にすでにボロボロ

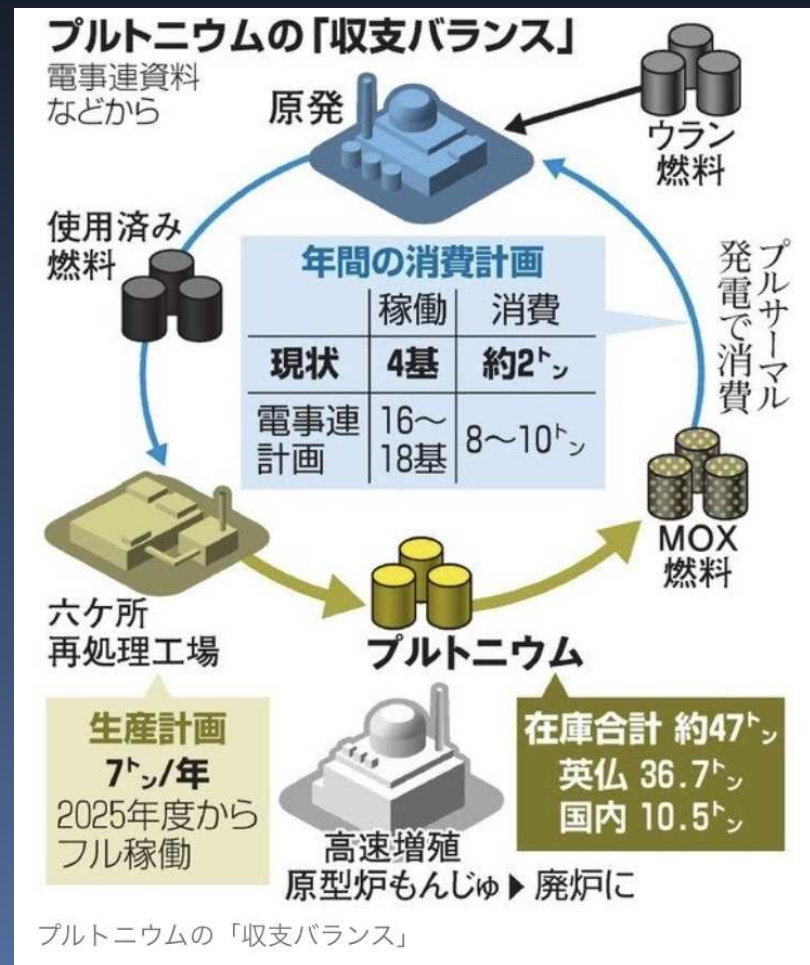
## 六ヶ所村再処理工場 冷却水 配管の一部で水漏れ

2018/08/29(水) 18:43



青森朝日放送WEBニュース

# 政府が大間原発（J-Power電源開発） をあきらめない理由



大間原発は、  
世界初のフルモックス原発



とにかく、プルトニウムを  
増やさないから再処理させ  
てくれー！

# ウラン濃縮工場

150tSMU/年の工場を10個作る予定だったが、7工場建設（ウラン濃縮工場の寿命は10年）

1992年 運転開始

2010年までに7工場停止

その後、新遠心分離機が75tSMU/年で一部稼働していた。

2017年5月 新規制基準適合審査に合格したが、  
2017/9/12に停止。



製品ウラン累積出荷量  
約1702tUF<sub>6</sub>（2018/9/30現在）

これまで濃縮された後の劣化ウラン（U<sub>238</sub>が99.8%）  
シリンダー1108本（約12t入り）置き去り

# ウラン濃縮工場 ボロボロ

2018/9/4発表

⑪ウラン濃縮工場 1階 分析室、モニタエリア

⑪-6: ドラフトチャンバNo.6 △

(養生前)

⑪ウラン濃縮工場 1階 分析室、モニタエリア

⑪-4: ドラフトチャンバNo.4 ×

9/1お知らせ済み

(養生前)



(養生後)



ウラン濃縮工場における  
の完了結果 (2017年11月7日)

「安全性向上工事」を2018年中に完工予定だった

# ウラン濃縮工場の安全工事18年度の完了困難 東奥日報2018/11/29

Donippon Press 東奥日報

メニュー

## ウラン濃縮工場の安全工事18年度の完了困難

2018年11月29日更新



定例会見でウラン濃縮工場の安全性向上工事などについて述べた工藤社長＝29日、青森市

日本原燃の工藤健二社長は29日、青森市のラ・プラス青い森で定例会見を開いた。ウラン濃縮工場（六ヶ所村）の新規制基準適合のための安全性向上工事について、目標としていた2018年度の完了は難しいとの見方を示した。

エネルギー

原発・核燃

同工場は17年5月、新規制基準適合性審査に合格した。しかし、気体廃棄物の廃棄設備「排気ダクト」のさびによる損傷など保守管理のトラブルが相次ぎ、同年9月から生産運転を停止している。

工藤社長は「まずはトラブルに関する修繕工事や安全対策を優先したことで、18年度中の安全性向上工事完了は厳しくなった」と説明。新たな工事計画や完工時期については「精査している」として明示しなかった。

# ● MOX燃料加工工場（完成予想図）

再処理工場で抽出されたプルトニウムと天然ウランを混ぜて、プルトニウム濃度5%のMOX燃料に変える。



最大加工能力 130t HM/年

2022年度上期完工予定  
建設工事中

# 高レベル放射性廃棄物一時貯蔵センター

英仏両国に再処理を委託した後の「高レベル放射性廃液」をガラスで固めた「高レベル放射性廃棄物ガラス固化体」を2880本一時貯蔵する。フランス分は搬入終了。

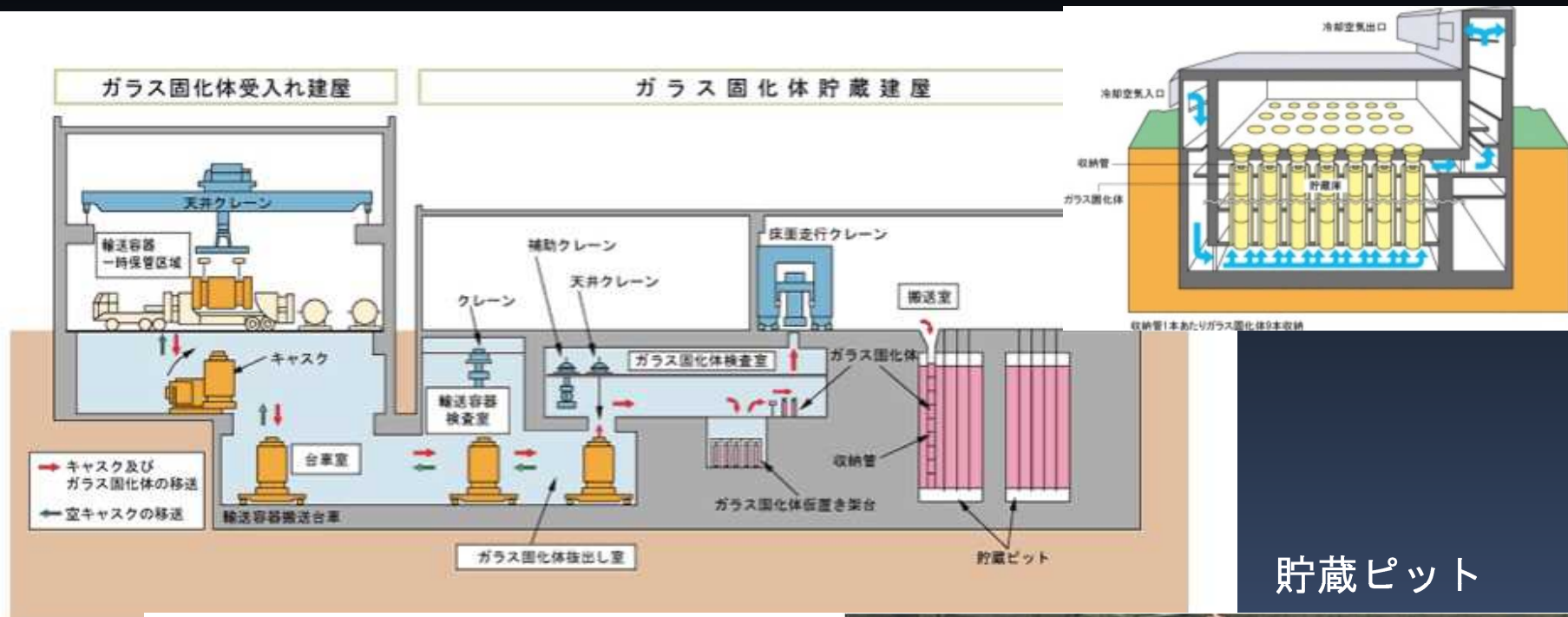
1830本貯蔵中（2018/9/30現在）

貯蔵期間は30年から50年。最初の受け入れが1995年なので、2045年には最初の受け入れ分を最終処分場に持ち出す約



最終処分地が決まらなければ、そのまま六ヶ所に置かれることになるかも...

# 高レベル放射性廃棄物一時貯蔵センターの内



検査室



# 低レベル放射性廃棄物埋設施設

廃棄体受入れ本数（200Lドラム缶）  
累計301,195本  
（2018/9/3現在）

1号と2号が稼働中  
搬入期間が延長し浅地中への埋設が長期化し、ピットが野ざらし状態



地面に穴を掘り、そこにコンクリートピットを作り、土をかぶせて、300年間埋設貯蔵

## 3号埋設施設増設予定

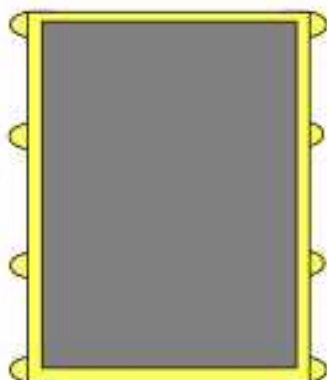
|          |             |                |
|----------|-------------|----------------|
| 規模       | 1号廃棄体 均質固化体 | 20万本（200Lドラム缶） |
|          | 2号廃棄体 雑固化体  | 20万本（200Lドラム缶） |
| 将来       | トータル        | 300万本 総計60万t   |
| 監視期間     |             | 30年間           |
| 立ち入り禁止期間 |             | 300年間          |

## 2-6. 埋設対象廃棄物の概要



### 1号廃棄体

原子力発電所の運転に伴い発生した低レベル放射性廃棄物であって、濃縮廃液、使用済樹脂、焼却灰などをセメント、アスファルト、プラスチックを用いてドラム缶に均質・均一に練り混ぜて固型化する。



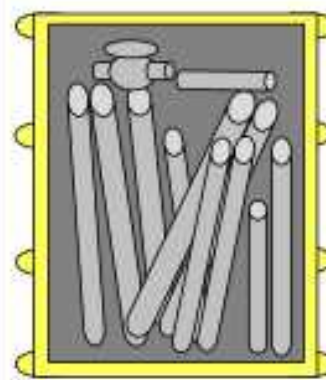
固型化のイメージ図



固型化方法(例)

### 2号廃棄体

原子力発電所の運転に伴い発生した低レベル放射性廃棄物であって、金属類、プラスチック、保温材、フィルター類などの固体状廃棄物を分別し、必要に応じて切断・圧縮・溶融処理などを行い、ドラム缶に収納後、セメント系充填材(モルタル)で一体となるように固型化する。



固型化のイメージ図



固型化方法(例)

東奥日報2018/10/19

## 志賀原発（北陸電力）から9回目の搬入

六ヶ所の保管施設へ  
志賀原発廃棄物搬出

北陸電

北陸電力は18日、志賀原発（石川県志賀町）で出た低レベル放射性廃棄物を六ヶ所村にある日本原燃の保管施設に向けて輸送船で海上搬出した。到着は20日の予定。

北陸電によると、搬出したのは工事で生じた金属やプラスチック類などが入ったドラム缶480本。定期的に輸送しており、今回で9回目となる。石川県によると、搬出に伴い放射線量に異常はなかったという。

...輸送船で海上搬出、到着は20日の予定。...金属やプラスチック類などが入ったドラム缶480本。今回で9回目...

# 10/20 14時頃 輸送船・青栄丸 を六ヶ所村むつ小川原港で目撃

あおもりスタディーツアー  
～下北半島めぐり～10/20-21

港から核燃サイクルまで  
**専用道路**がある



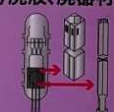
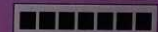
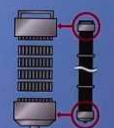
# 低レベル放射性廃棄物埋設施設 3号埋設施設増設について



3号埋設施設増設予定  
2020年度着工  
2023年度受け入れ開始  
予定

深さ21m掘り下げる予定

# 廃棄物の種類と区分

| 廃棄物の区分               |                 | 廃棄物の例                                                                                                                                  | 処分の方法(例) |                                                                                                                        |
|----------------------|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 原子力燃料サイクル施設から発生する廃棄物 | 原子力発電所から発生する廃棄物 | クリアランスレベル以下の廃棄物<br>(放射性物質として扱う必要のないもの)                                                                                                 | 再利用型     | 再生利用や産業廃棄物<br>としての処分が可能<br>         |
|                      |                 | ① 放射能レベルの<br>極めて低い廃棄物<br>                           | 管理型      | 浅地中処分<br>(トレンチ処分)<br>               |
|                      |                 | ② 放射能レベルの<br>比較的低い廃棄物<br>                           |          | 浅地中処分<br>(ピット処分)<br>                |
|                      |                 | ③ 放射能レベルの<br>比較的高い廃棄物<br>                          |          | 余裕深度処分<br>(地下50m以深の<br>地中への処分)<br> |
|                      |                 | ④ 放射能レベルが高く<br>長寿命核種(注1)が<br>比較的多く含まれる<br>廃棄物<br> | 隔離型      | 地層処分<br>(地下300m以深の<br>地層への処分)<br> |
|                      | 高レベル放射性廃棄物(注2)  | ガラス固化体                                                                                                                                 |          |                                                                                                                        |

(注1) 半減期\*の長い核種のこと(つまり放射線を出している期間が長い)。  
\*放射性物質の量が半分になる時間をさす(例えばプルトニウム-240の半減期は約7千年)。

(注2) 高レベル放射性廃棄物は再処理施設から発生します。

# 区分と処理の概念

## レベルⅠ（L1）

比較的放射性物質濃度の高い低レベル放射性廃棄物。地下50~100m程度の人工構造物中に埋設

## レベルⅡ（L2）

比較的放射性物質濃度の低い、低レベル放射性廃棄物、地下10m程度の人工構築物の中に埋設

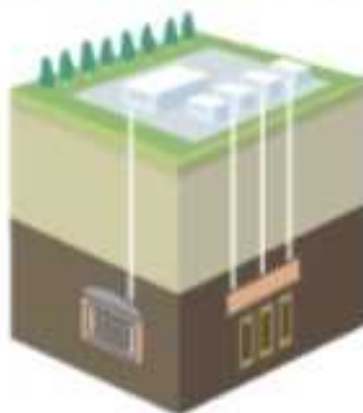
## レベルⅢ（L3）

放射性物質濃度のきわめて低い低レベル放射性廃棄物。直接地下に埋設

### 区分と処理方法の概念

#### レベルⅠ [L1]

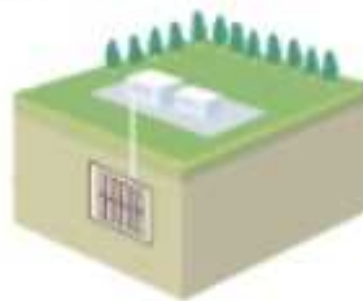
比較的放射性物質濃度の高い低レベル放射性廃棄物。地下50m~100m程度の人工構築物の中に埋設



余裕深度埋設（300年間管理）

#### レベルⅡ [L2]

比較的放射性物質濃度の低い、低レベル放射性廃棄物。地下10m程度の人工構築物の中に埋設



コンクリートピット埋設（300年間管理）

#### レベルⅢ [L3]

放射性物質濃度の極めて低い低レベル放射性廃棄物。直接地下に埋設



素掘トレンチ埋設（30~50年間管理）

# 六ヶ所低レベル放射性廃棄物埋設施設

1号,2号,3号

次期埋設施設

これも六ヶ所村？  
ほぼ最終処分場？

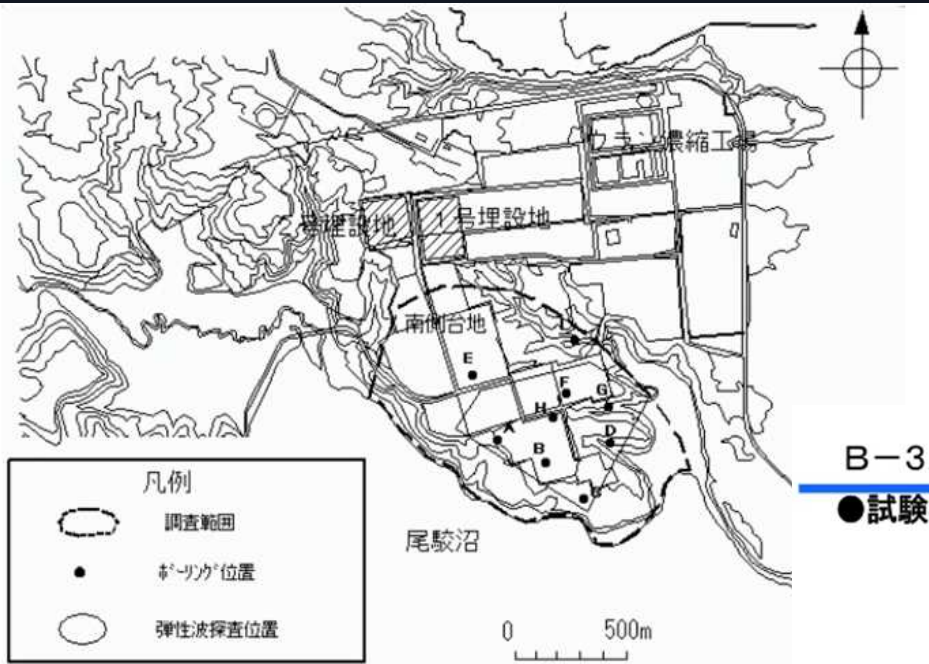


# 低レベル放射性廃棄物埋設場近くで

## Ⅱ. 次期埋設 余裕深度処分)の調査

- 原子炉内構造物等、放射能レベルの比較的高い廃棄物等が対象
- 平成14年11月より、六ヶ所村の低レベル放射性廃棄物埋設センター敷地内に調査用のトンネルを掘削し 深度約100m)、地質 地盤 地下水についての調査 試験を実施中。

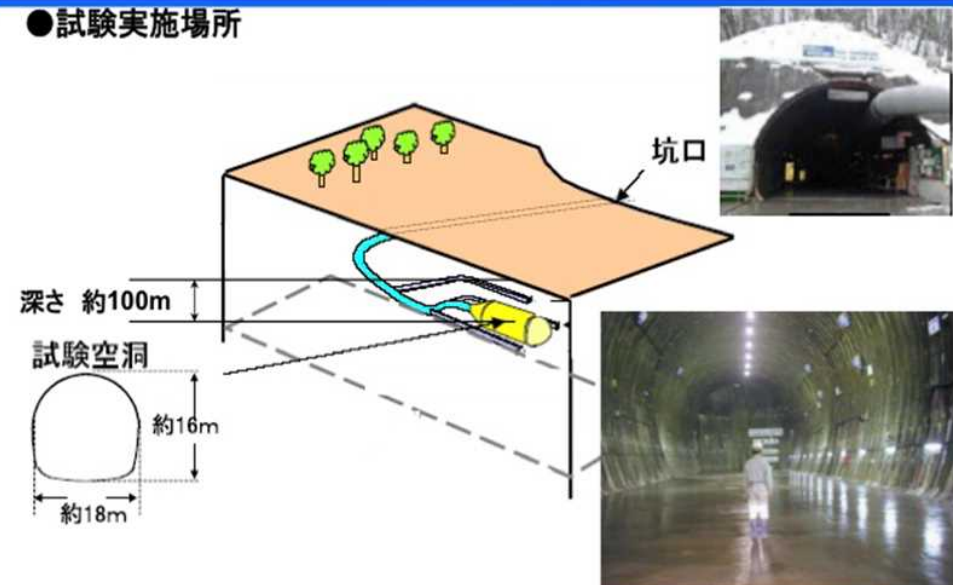
# 低レベル放射性廃棄物埋設場近くにある地下100mのトンネル



|   | 深さ(m) |
|---|-------|
| A | 100   |
| B | 383   |
| C | 219   |
| D | 206   |
| E | 224   |
| F | 200   |
| G | 100   |
| H | 100   |
| I | 300   |

## B-3. 地下空洞型処分施設性能確認試験(2)

### ●試験実施場所



日本原燃(株)ホームページより

# 日本原燃による調査のまとめ

今回実施した予備調査の結果においては、濃縮・埋設事業所内の南側の台地には、埋設施設の設置に関して問題となるデータは得られないことから、低レベル放射性廃棄物のうちの放射能レベルが比較的高い廃棄物の埋設施設の設置が可能との見通しをうることができた。

# 2018/10/22 L1廃棄物受け入れ反対 などを県に要請 核燃・原発問題住民運動連 絡会

**L1廃棄物受け入れ  
反対などを県に要請**  
市民団体

核燃・原発問題住民運動  
青森県連絡会は22日、高レ  
ベル放射性廃棄物と、低レ  
ベル放射性廃棄物の中で放  
射能の強い「L1廃棄物」  
の最終処分に関する要請書  
を三村申吾知事宛てに提出  
した。

同連絡会の七つの構成組  
織の代表者ら計8人が、県  
の原子力立地対策課の藤田  
裕士課長代理ら担当者と面  
談。①県内での高レベル廃  
棄物の管理期間を具体的に  
明示し、本県に一時貯蔵さ  
れている高レベル廃棄物の  
管理期限と県外搬出時期を  
明確に示すよう国と関係事  
業者を求めること②本県に  
一時貯蔵している高レベル  
廃棄物の管理期限や県外搬  
出時期に対する県の考えを  
明示すること③県としてL  
1廃棄物を受け入れないこ  
とを国に申し入れて確約さ  
せ、国としての行程表を明  
らかにさせること―の3点

を要請した。

県側は、「一時貯蔵され  
ているガラス固化体（高レ  
ベル廃棄物）については30  
～50年間の貯蔵管理期間終  
了までに県外へ搬出すると  
いう確約を得ており、県と  
しては確実に県外へ搬出さ  
れると考えている」「L1



県原子力立地対策課の  
藤田課長代理④に要請  
書を手渡す核燃・原発  
問題住民運動青森県連  
絡会の構成組織の代表  
者ら―22日、県議会棟

廃棄物の処分に関しては、  
実施主体や事業計画などが  
定まっておらず、県として  
何ら申し上げる状況にな  
い」などと回答した。  
(山内はるみ)

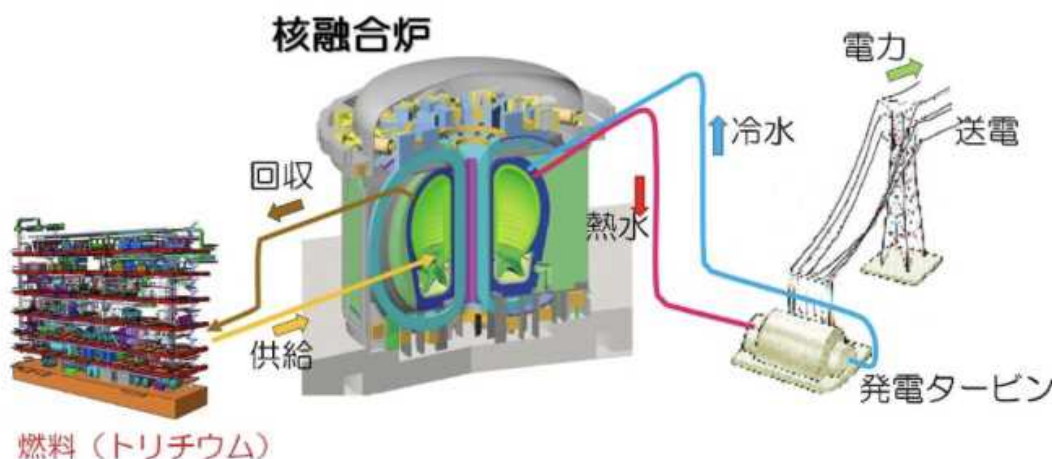
県側「L1廃棄物の処分に関しては、実施  
主体や事業計画などが定まっておらず、  
県として何ら申し上げる状況にない」と  
回答

量子科学技術研究開発機構  
六ヶ所核融合研究所

国際核融合材料照射施設  
(International Fusion Material  
Irradiation Facility : IFMIF)



IFMIF棟



## 燃料（トリチウム）



# 核融合炉プロジェクトは着々と...

toonippo Press 東奥日報

メニュー

## 六ヶ所核融合研、仏との遠隔実験成功

2018年11月28日更新



遠隔実験の成功を喜ぶ日欧の研究者ら＝28日午後6時55分、六ヶ所村

同センターでは、日欧の研究者がテレビ会議で協議しながら、六ヶ所で設定した条件下でWESTのプラズマを点火。計3回の実験を行い、WEST内部では1千万度の高温状態が数秒から10秒続いた。モニターにはリアルタイムで内部の様子が映し出され、研究者らが拍手で成功を祝った。青森高校の1、2年生11人も実験を見学した。

同日は、核融合炉を構成し、プラズマの熱や青森県六ヶ所村の量子科学技術研究開発機構・六ヶ所核融合研究所とフランスの実験装置WESTをつないだ遠隔実験が28日夜、日仏で行われた。同研究所のITER（国際熱核融合実験炉）遠隔実験センターでは、日欧の研究者ら約30人が成功の瞬間を見守った。約1万キロ離れた日仏で、研究用のネット回線を使ってプラズマ実験を行うのは初めて。

について、  
高温下で  
る実験も行  
  
隆 所 長 は  
た、今回の  
「いい」と話

IT・テクノロジー

エネルギー

WESTは、フランス原子力・代替エネルギー庁カダラッシュ研究所にある核融合プラズマ実験装置で、建設中のITERに隣接している。遠隔実験が可能になれば、六ヶ所にいながらにしてITER実験に参加できるという。

# 公益財団法人環境科学技術研究所（本所） ●

## 先端分子生物科学研究センター（AMBIC） ●



# 公益財団法人環境科学技術研究所（本所） ● 先端分子生物科学研究センター（AMBIC）●

青森県の委託を受けて環境放射線の測定などを行っている。

## <理事>

大森武（非）電事連原子燃料サイクル推進本部長  
佐藤克哉（非）日本原子力産業協会シニアアドバイザー

高瀬賢三（非）日本原燃代表取締役副社長

丹羽太貫（非）放影研理事長

藪内典明（非）日本原子力研究開発機構青森研究開発センター所長

## <監事>

阿部耕造（非）前むつ小川原原燃興産株式会社代表取締役社長

渡邊修一（非）海洋研究開発機構むつ研究所上席技術研究員

## <評議員>

石川勉夫 前日本原子力技術協会最高顧問

杉浦紳之 原子力安全研究協会理事長 ほか多数

平成30年度 環境科学セミナー  
**聞いて、なるほど放射線！**  
医療に携わる立場からの放射線の解説と放射線に関する研究成果を紹介する。  
第一部 基調講演  
**「がんと放射線、本当のこと」**  
東京大学医学部附属病院放射線科准教授  
なか がわ けい いち  
**中 川 恵 一 氏**  
1960年、東京生まれ。  
東京大学医学部医学科卒業後、スイスのボールド・シェラー研究所に青森県派遣員として留学。  
帰国後は『放射線のひみつ』（朝日出版社）、『放射線と生活』（朝日新聞）、『がんの闘病記』（朝日新聞）、『専門医が教える がんで死なない生き方』（光文社新書）、『放射線が語る 福島で起こっている本当のこと』（KKベストセラーズ）ほか多数。  
第二部 成果報告（青森県委託調査）  
● 牧草への放射性セシウム移行低減に向けて  
● 母体内における放射線被ばくの影響を調べる  
公益財団法人 環境科学技術研究所  
日時 11月16日（金） 13時30分～16時35分（開場13時）  
会場 アートホテル弘前シティ 3階 エメラルド  
青森県弘前市大町1丁目1-2（JR弘前駅中央口出て左正面）  
TEL 0172-37-0700  
環境科学技術研究所 企画・広報課  
TEL 0175-71-1240 FAX 0175-72-3690  
〒039-3212 上北郡六ヶ所村尾駱家ノ前1-7  
ホームページ <http://www.ies.or.jp/>  
電子メール [kanken@ies.or.jp](mailto:kanken@ies.or.jp)  
お申し込み方法  
参加をご希望の方は、裏面のはがきに住所・氏名等を記入して郵送またはFAXでお送りください。電子メール、ホームページからの申し込みも可能です。  
主催：青森県

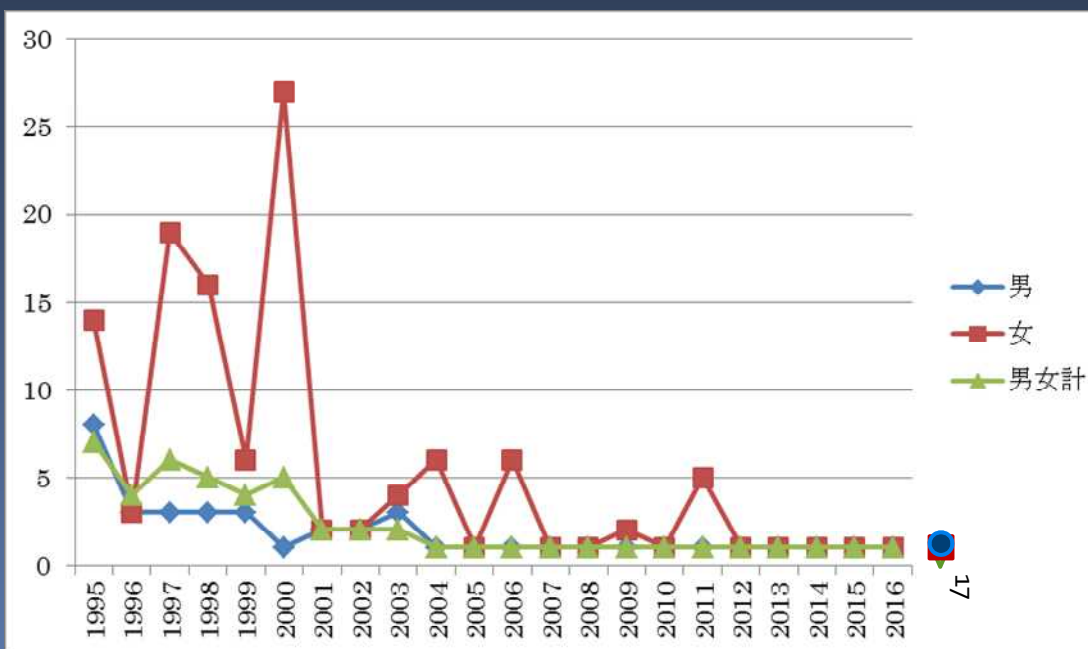
([http://www.ies.or.jp/report\\_j/d\\_ata/h3007yakuin.pdf](http://www.ies.or.jp/report_j/d_ata/h3007yakuin.pdf))

# 青森県の全がん75歳未満年齢調整死亡率 全国ワースト順位

|     | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 男   | 8    | 3    | 3    | 3    | 3    | 1    | 2    | 2    | 3    |
| 女   | 14   | 3    | 19   | 16   | 6    | 27   | 2    | 2    | 4    |
| 男女計 | 7    | 4    | 6    | 5    | 4    | 5    | 2    | 2    | 2    |

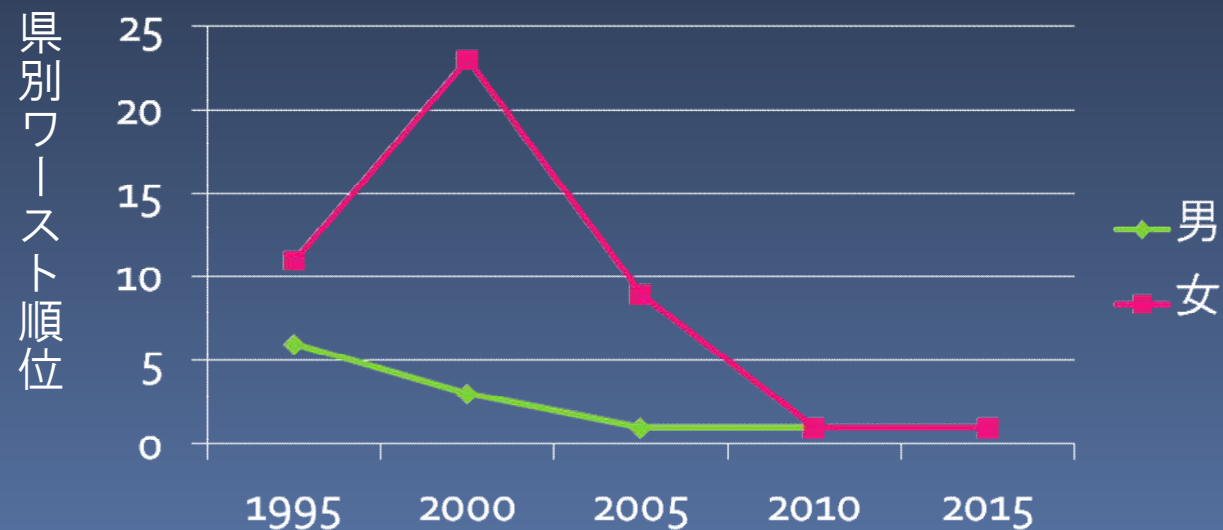
|     | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 男   | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    |
| 女   | 6    | 1    | 6    | 1    | 1    | 2    | 1    | 5    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    |
| 男女計 | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    |

出典:国立がん研究センター「がん情報  
がん登録・統計」より  
抜粋して掲載

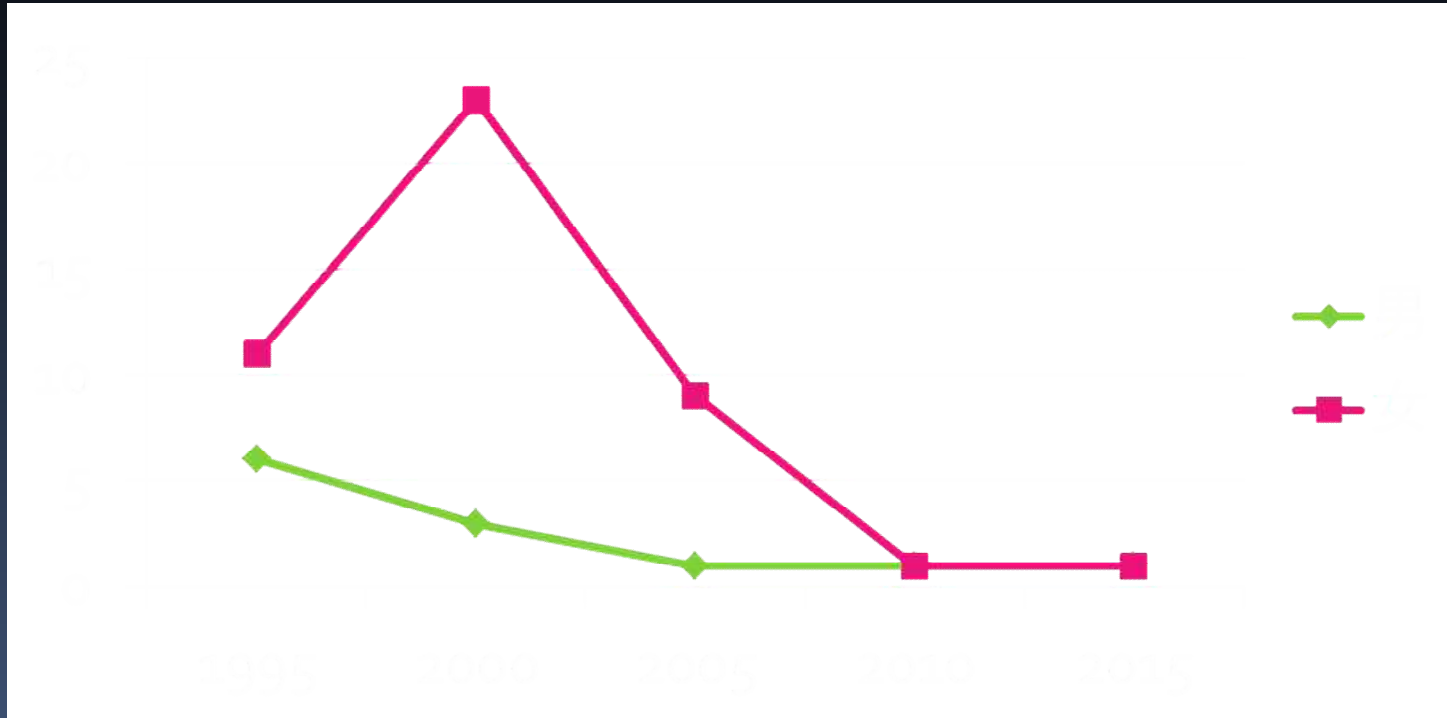


# 青森県のがん年齢調整死亡率 全国ワースト順位（厚労省人口動態統計より）

|   | 平成7年<br>1995 | 平成12年<br>2000 | 平成17年<br>2005 | 平成22年<br>2010 | 平成27年<br>2015 |
|---|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 男 | 6位           | 3位            | 1位            | 1位            | 1位            |
| 女 | 11位          | 23位           | 9位            | 1位            | 1位            |



# 青森県のガン死亡率全国順位が ワースト1位になるまでに何があったか



99年高レベル廃液漏れ  
99年ガラス固化体製造  
開始→トラブル続出  
99年アクティブ試験  
開始  
04年ウラン試験開始  
03年再処理工場化学  
試験  
00年使用済み核燃料  
本格搬入  
98年ガラス固化体  
99本搬入  
92年ウラン濃縮工場  
本格稼働開始

# 中間貯蔵施設（むつ市）

リサイクル貯蔵燃料(RFS)東電8割,日本原電2割出資

- ・ 東京電力と日本原電のリサイクル燃料を再処理するまでの間、貯蔵・管理

- ・ 貯蔵量 5,000T  
(年間200~300T)

- ・ 貯蔵期間 50年間

- ・ 貯蔵方式 乾式貯蔵

- ・ 事業開始の予定

平成30年後半

⇒延期となる見込み

津波の評価がまだ終わっていない。



使用済み核燃料中間貯蔵施設(青森県むつ市)

2018/12/3  
朝日新聞  
青森版

## むつRFS審査 残りは津波のみ

原子力規制委

むつ市にあるリサイクル

燃料貯蔵（RFS）の使用  
済み核燃料中間貯蔵施設  
について、原子力規制委  
員会は11月30日、地震な  
どに対する新規制基準へ  
の適合性を審査し、石渡  
明委員は「火山影響評価は  
妥当な検討がなされた」と  
評価した。残る審査は、津  
波の施設への影響を踏まえ  
た「津波評価方針」の一部  
だけとなった。

（伊東大治）

2018/12/3  
朝日新聞  
青森版

飛ばし、そ  
折り紙ヒコ  
2日、青森

# 関西電力の使用済み核燃料をどこに運ぶか

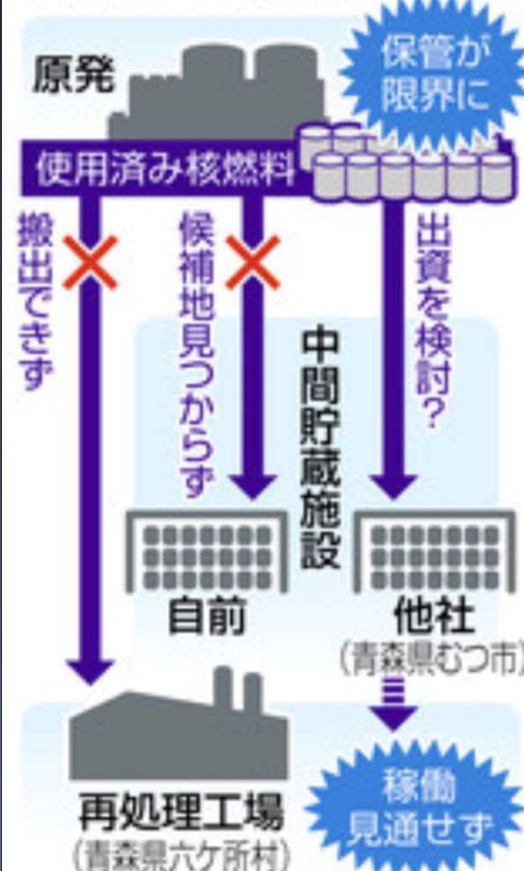
関電、使用済み核燃料の搬出先に苦慮 福井県は「県外に」に要望

2018年8月8日 11:06



青森県むつ市の使用済み核燃料中間貯蔵施設

関西電力の使用済み核燃料の行き先は…



むつ市の中間貯蔵施設建設当初、関電はRFSへの出資を断った。



使用済み燃料を受け入れてもらうために、東通原発（東京電力）建設に参加する？  
共同事業体構想

# 放射線被曝で発症する病気はガンだけではなくことは、明らか。

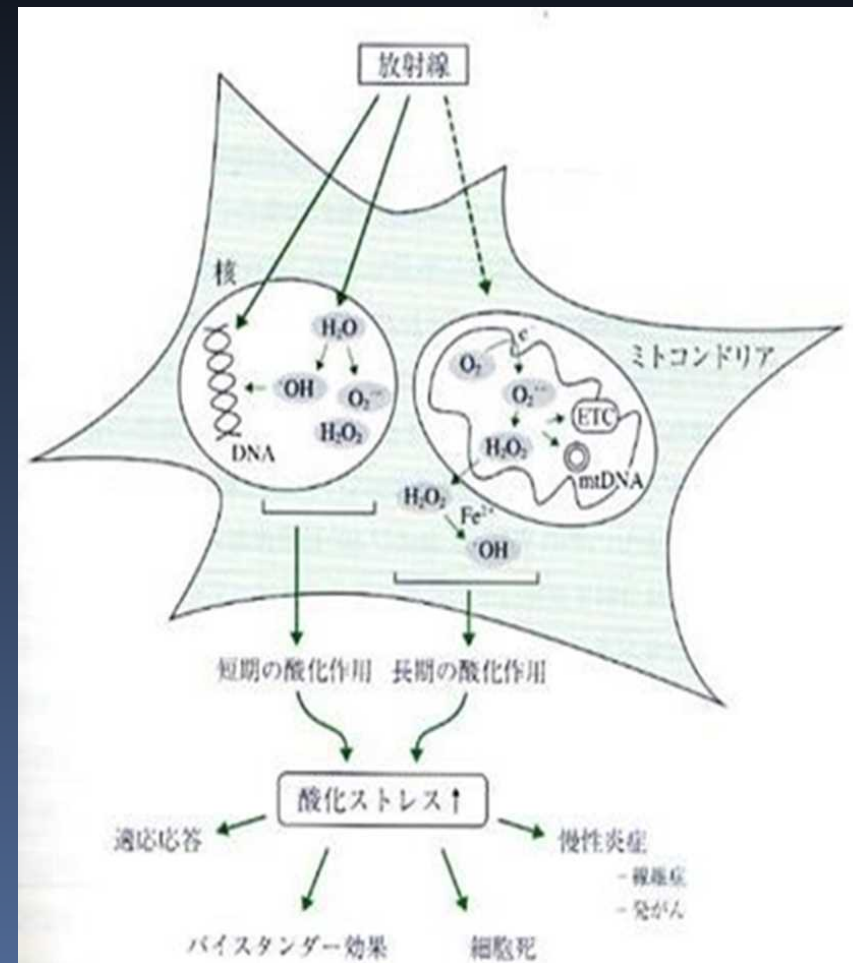
- 広島・長崎の被爆者において、非ガン疾患（心筋梗塞など）も不十分ながら原爆症認定されているし、ぶらぶら病なども...
- チェルノブイリ原発事故後の住民の健康状態をみても様々な病気が増えている。
- 「トモダチ作戦」に参加した原子力空母ロナルド・レーガン乗組員の様々な症状や病気。
- 核実験によるネバダ砂漠周辺、ビキニ環礁周辺や船舶乗組員の健康被害。 などなど

# 細胞に放射線が当たると

放射線のみでなく、  
それによって生成  
される活性酸素が  
悪さをする



DNAのみでなく  
細胞膜も  
ミトコンドリアも  
小胞体も  
リソソームも  
細胞質内のすべての  
小器官が傷つく



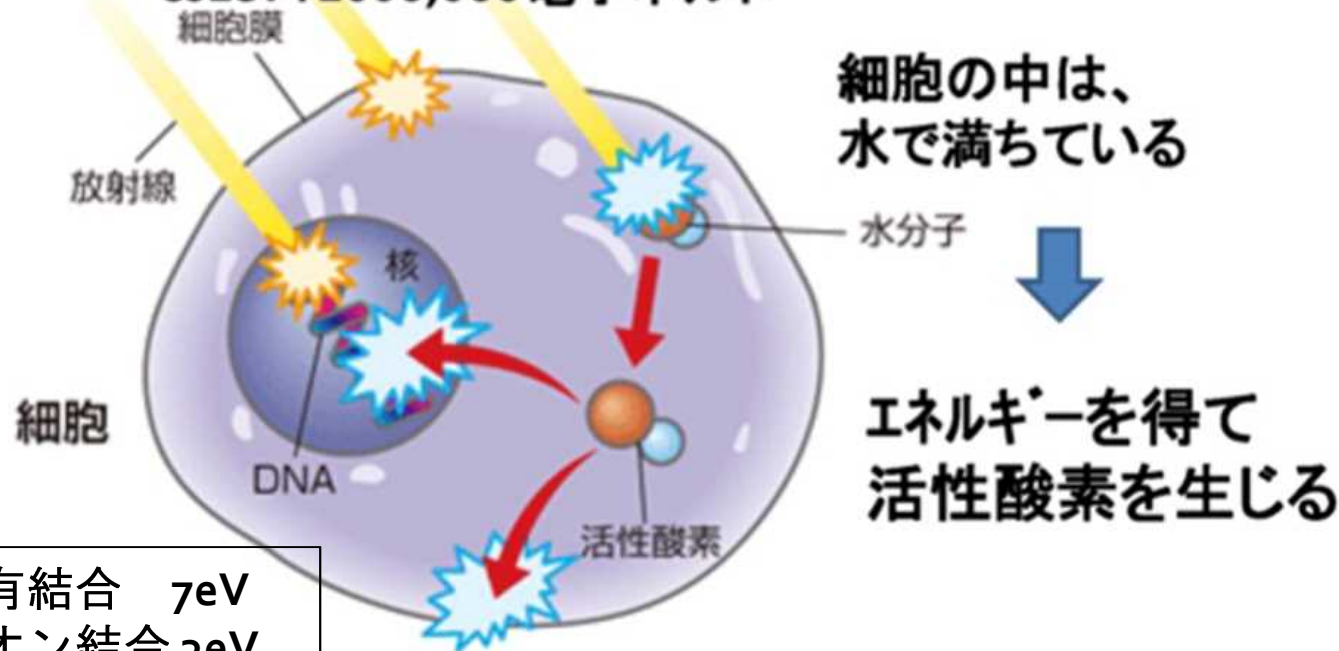
放射線により引き起こされる酸化ストレス  
出典：酸化ストレスの医学 改訂第2版p. 189

# 放射線は活性酸素を生み出すことによって細胞を傷つける

<図1> ●放射線は、細胞を傷つける

トリチウム: 18,600 eV

Cs137: 1000,000電子ボルト



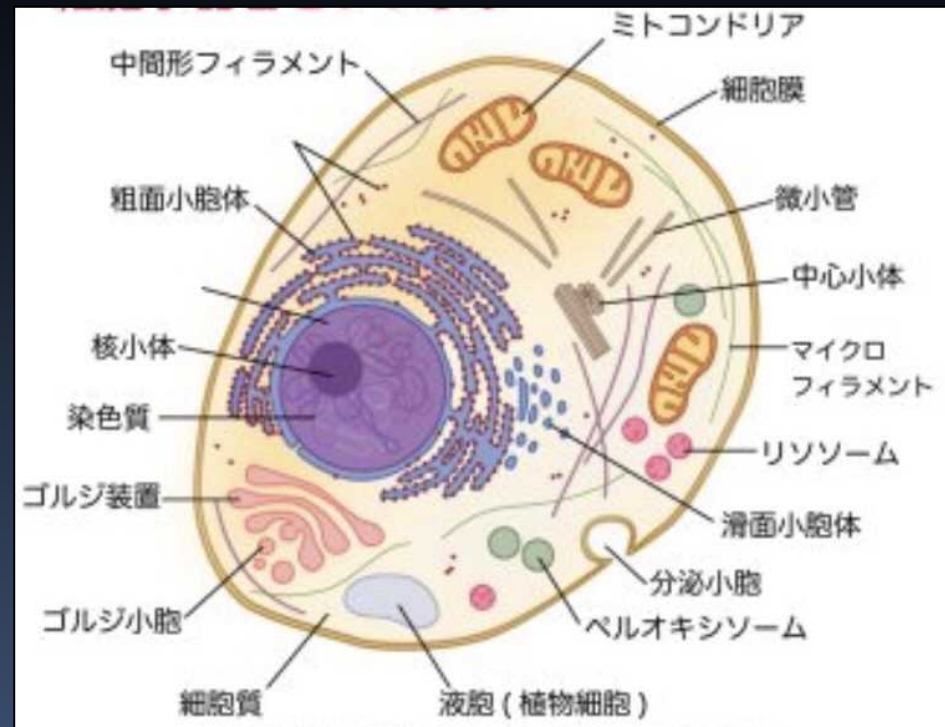
放射線がDNAや細胞膜などの生体分子を直接傷つける場合と、放射線が水分子を分解し、その結果生じた活性酸素が生体分子を傷つける場合がある。通常、後者の影響が大きい。

出典: 科学雑誌ニュートン

24

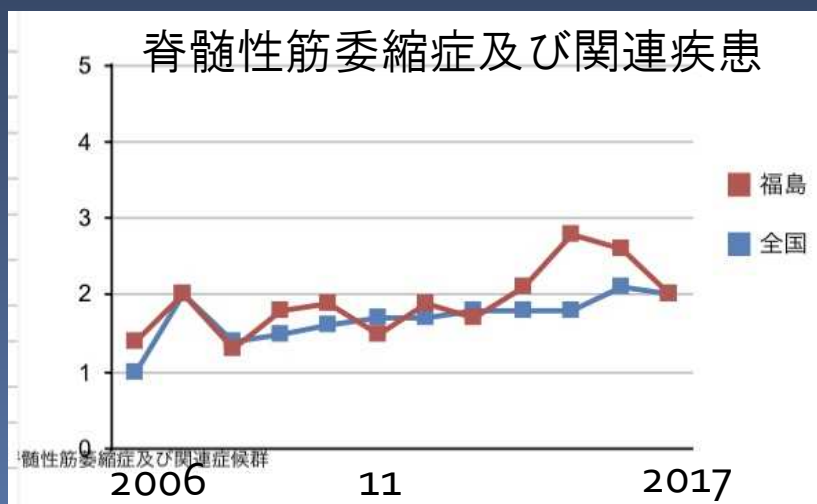
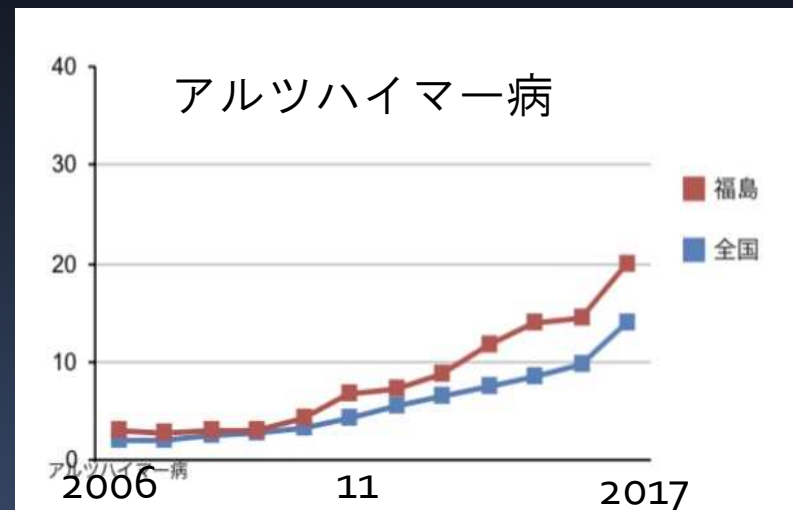
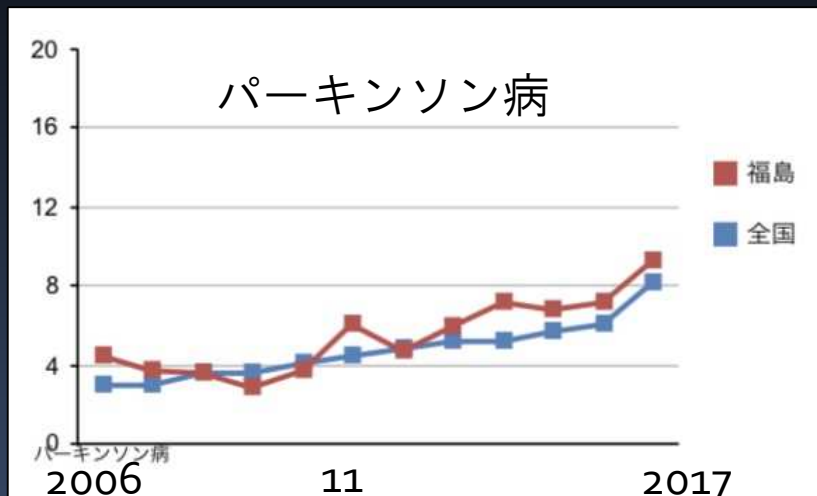
(三原翠氏講演PPTより)

# 細胞の構造と主な働き



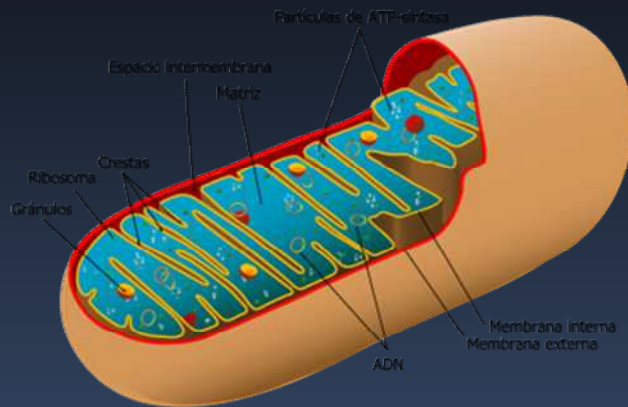
粗面小胞体：たんぱく質の合成  
リボソーム：たんぱく質の合成  
ゴルジ体：たんぱく質の修飾  
滑面小胞体：脂質の代謝  
リソソーム：異質の分解  
ミトコンドリア：ATP産生ほか

# 今回はミトコンドリア障害に焦点をあてた



死因別死亡率(人口10万対)  
全国と福島と比較  
(厚労省人口動態統計より  
遠坂俊一氏による作成)

# ミトコンドリアの構造と機能



## 構造

内膜と外膜からなる二重構造

分裂と融合を繰り返している

## 主な機能

- ① 酸化リン酸化による **ATP**（アデノシン三リン酸）合成
- ② カルシウム代謝調節
- ③ ミトコンドリア数を調節する（マイトファジー）
- ④ 細胞生存の調節（細胞死＝アポトーシス）
- ⑤ 活性酸素種の生成調節

# ミトコンドリアダイナミクス



ミトコンドリアは常に融合過程により結合し続け、分裂過程により分割し続ける動的な細胞小器官

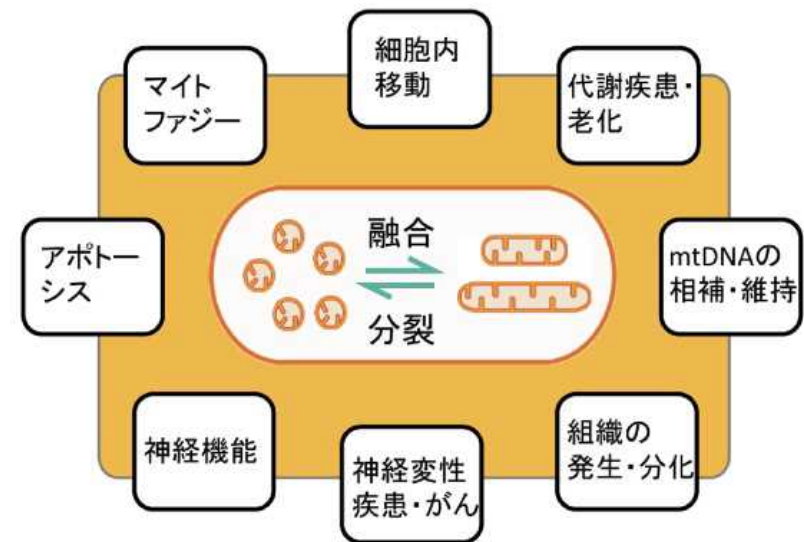
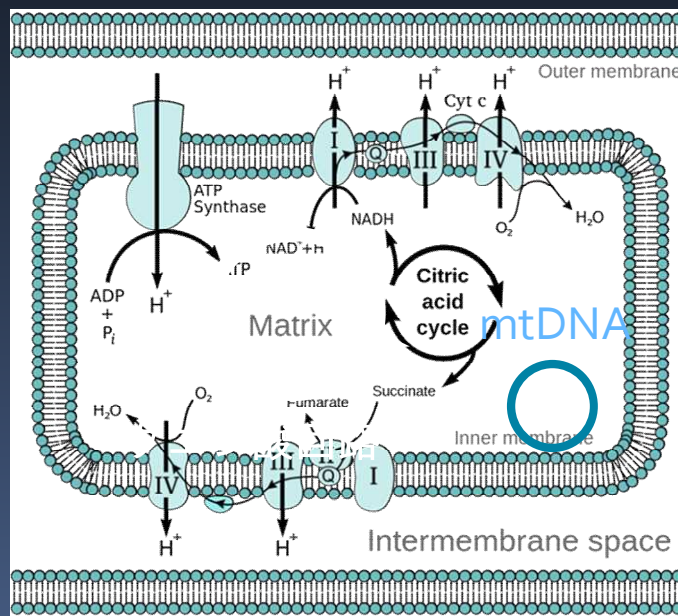


図2 ■ ミトコンドリア融合と分裂が関与する生理機能

融合と分裂を介したミトコンドリアの特性変化は、さまざまな生命機能の発現に関与すると考えられている。たとえば、分裂による断片化は、神経細胞におけるミトコンドリアの局所的な配置を促す。また融合によるミトコンドリアの均質化により、変異が蓄積したmtDNA活性が相補される。

「科学と生物53(1)：27-33 (2015) ミトコンドリアの融合と分裂：その意義と制御機構 伴匡人、後藤雅史、石原直忠」より

# ミトコンドリアのエネルギー産生



ミトコンドリアの構造とエネルギー代謝  
出典：ミトコンドリア—Wikipedia  
<http://ja.m.wikipedia.org/wiki/ミトコンドリア>

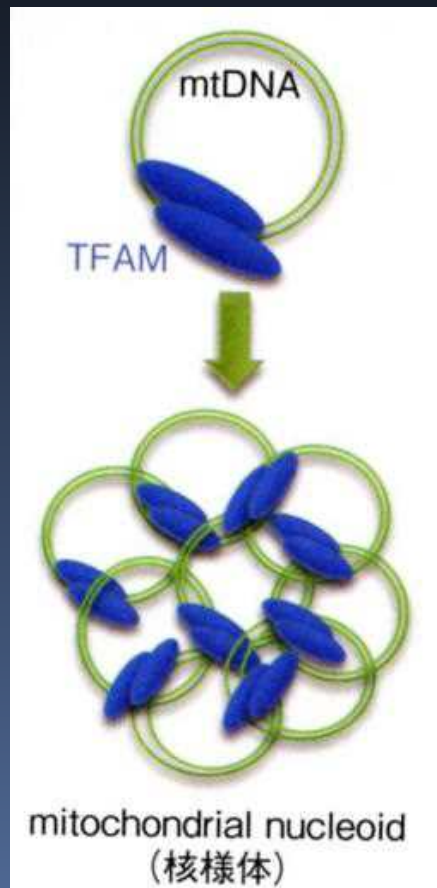
外膜：膜透過装置があり、細胞質で合成された前駆タンパク質などを選択的に取り込む

内膜：電子伝達系

マトリックス：TCA回路、数百種類の酵素タンパク質、mtDNAやそれに関与する分子

細胞内で合成されるATPのほとんどがミトコンドリア内において合成される

# ミトコンドリアDNA(mtDNA)



- ミトコンドリアは独自のゲノム、ミトコンドリアDNA (mtDNA) を有する。
- ヒトのmtDNAは、16569塩基対、一周5 $\mu$ mほどの環状二本鎖でTFAMというタンパク質などと結合し“核様体”を形成
- 一つのミトコンドリア内には、2～10個ほどのmtDNAが存在
- 1細胞内には数百～数千コピーのmtDNAが存在することになる。

ミトコンドリアDNAと核様体形成

出典：医学のあゆみvol.260 No.1 22ページ

# mtDNA変異と遺伝

- mtDNAは、核DNAと異なり、イントロンがなく突然変異は蛋白をコードするDNA配列を直撃、かつヒストンもないため、修復も不完全。
- mtDNAの複製は卵母細胞を通じてのみ子孫に伝えられ、遺伝子の組換えは起こらない。mtDNAの変異は、その母系家系づたいに経時的に蓄積されていく。
- 新たにミトコンドリア変異が生じたとき、細胞内には、変異タイプと正常タイプの両方のDNA配列をもつミトコンドリアが混在するため、致死的な変異でも存在し続けることになる。
- mtDNAの変異の有無や変異の比率は細胞ごとに異なる。症状が現れる閾値は、個体、器官、組織により異なる。
  - ・ 変異ミトコンドリアと正常ミトコンドリアの割合が次世代でどうなるかは不確実。

# ミトコンドリア機能異常による 発病の原因は主に3つ

①mtDNA変異が酸化リン酸化を障害した場合  
⇒ATP産生が低下

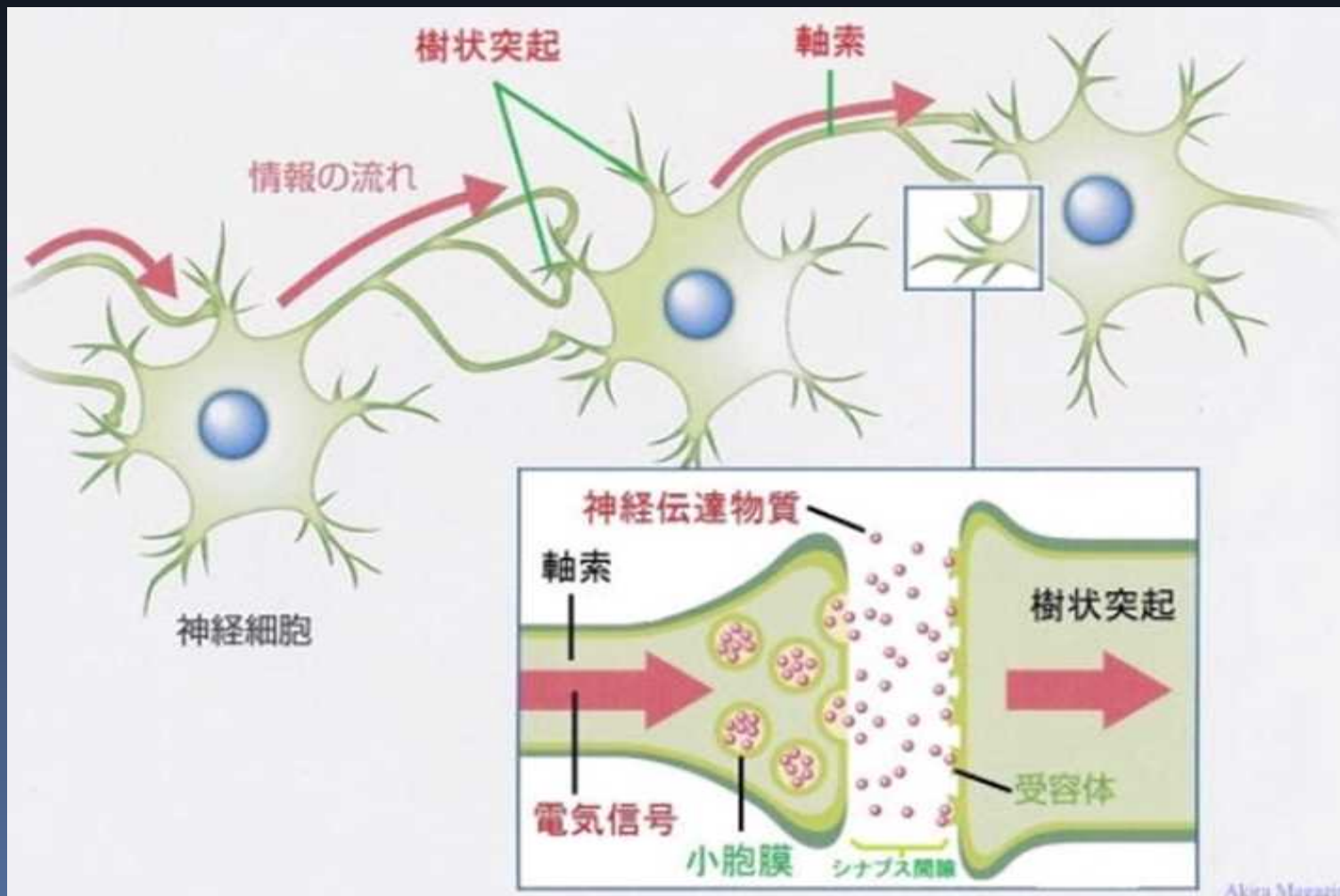
②反応性が高い活性酸素（過酸化水素 $\text{H}_2\text{O}_2$ やヒドロキシラジカル $\cdot\text{OH}$ ）の産生

⇒DNAやタンパク、脂質を損傷

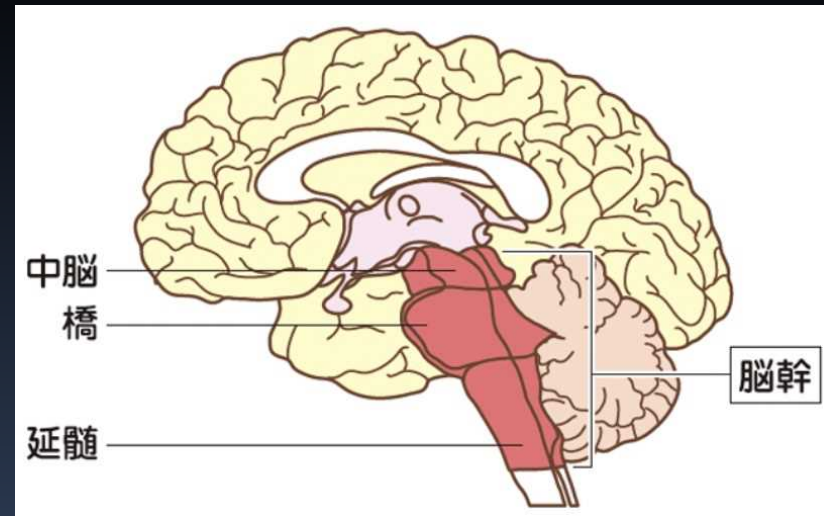
③ミトコンドリアがアポトーシス（細胞死）促進因子などを放出

⇒アポトーシス（細胞死）経路が進行

# 神経細胞の構造



# パーキンソン病 の病態



- 中脳黒質のドパミン含有神経細胞が障害され、ドパミンが欠乏することにより、「手足の震え、筋肉のこわばり、歩行障害」などの運動障害にて発症する進行性の神経変性疾患。
- 病理学的には神経封入体（Lewy小体）を伴う黒質（中脳）や青斑核（橋）の神経細胞脱落が特徴

# パーキンソン病病態へのミトコンドリアの関与

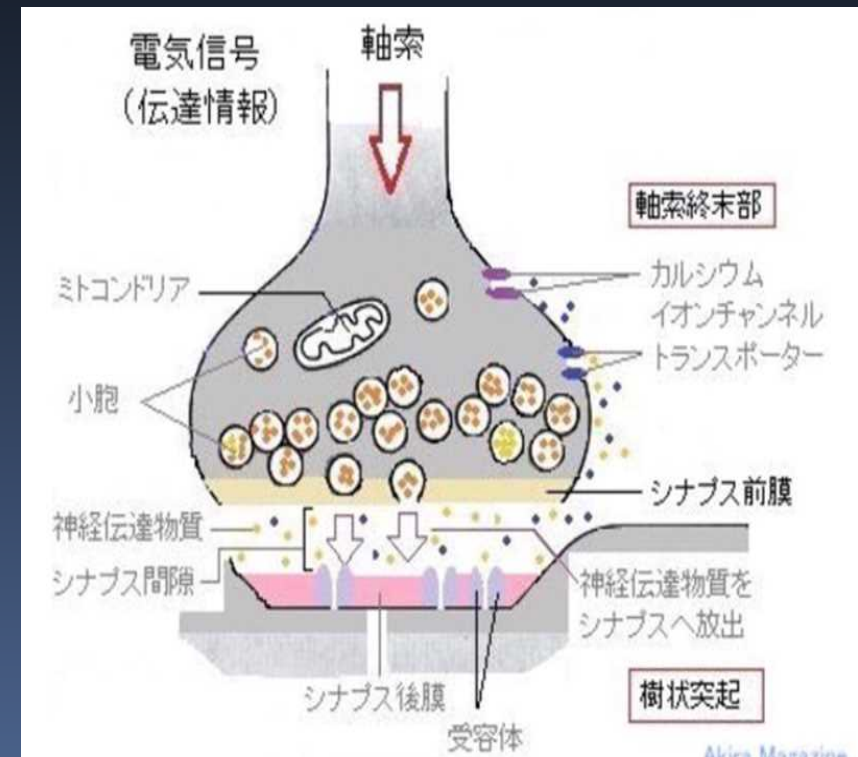
## パーキンソン病患者の脳の病変部位

①ミトコンドリア内膜上の呼吸鎖複合体 I の酵素活性低下が顕著

②黒質ドーパミン神経で、ミトコンドリアDNAの欠失や置換が高頻度

## 家族性パーキンソン病 (10%)

ミトコンドリアの品質管理に関わる遺伝子異常が確認されている。



# パーキンソン病の遺伝的素因を持つ人が環境因子の蓄積によって発病する？



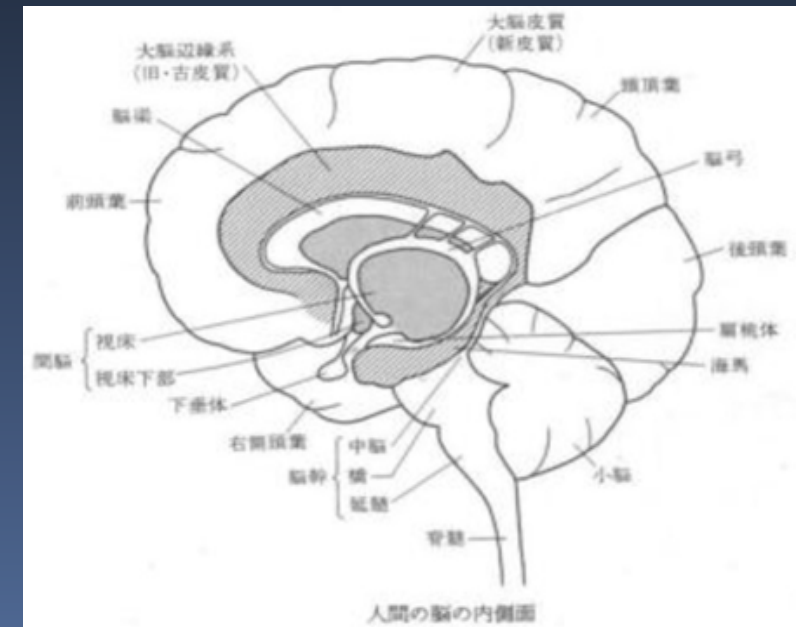
図 1 ドパミン神経ミトコンドリアの脆弱性仮説

Parkinson病で変性する黒質ドーパミン神経の特徴として、L型Caチャンネルによる自律的神経活動、鉄の沈着、ドパミン産生があげられ、これらは、ドパミン神経の高酸化ストレス環境の要因となる。慢性的な酸化ストレスはミトコンドリアを傷害し、傷害を受けたミトコンドリアは活性酸素種（ROS）を発生。ROSはさらに酸化ストレスを惹起し、負のスパイラルを形成。

出典：医学のあゆみ  
2017.1/7 Vol.260 No.1  
p.86

# アルツハイマー病とは

- 進行性の認知機能低下を臨床学的特徴とする神経変性疾患で、記憶や思考能力がゆっくりと障害され、最終的には日常生活の最も単純な作業を行う能力も失われる。
- 病理学的特徴は、新皮質、海馬及び他の皮質下領域などの記憶に関わる脳部位での老人斑( $\beta$ アミロイドの蓄積)や神経原線維変化などの異常構造物の出現

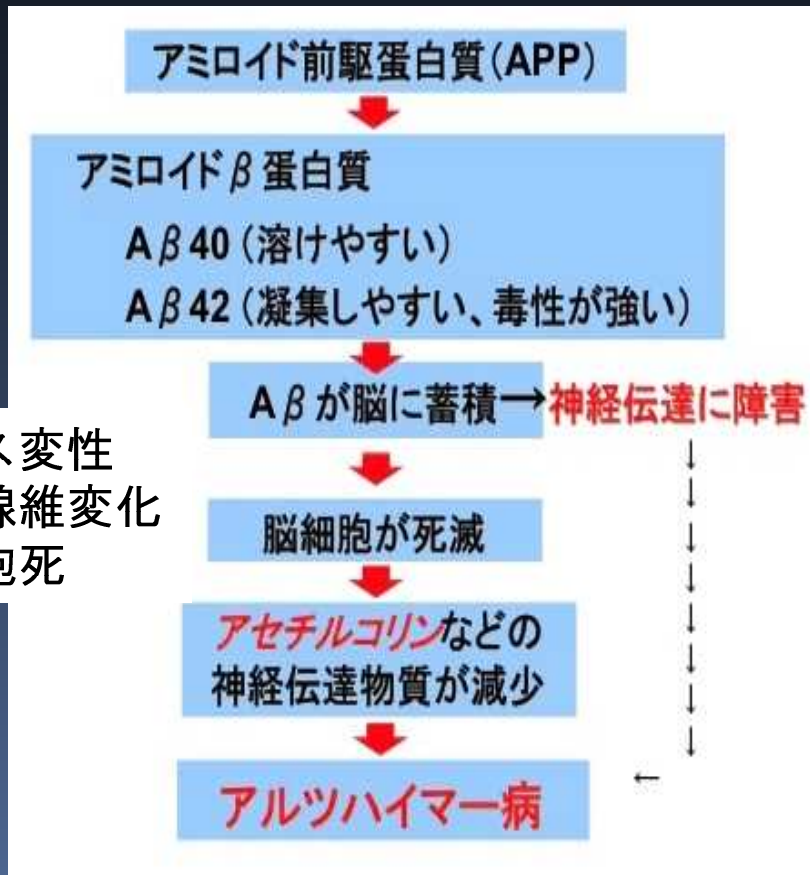


脳の構造 出典：認知科学No8

<http://milan.elec.ryukoku.ac.jp/~kobori/resumu/cog/OLD/cogo8>

# アミロイドカスケード仮説

シナプス変性  
神経原線維変化  
神経細胞死



名城大学比較認知科学研究所・薬品作用学研究室の図より引用

## アルツハイマー病患者の脳では インスリンシグナルが破綻している

① インスリンはグルコースを細胞内にもたらし、インスリンが低下するとグルコースをうまく取り込めない。

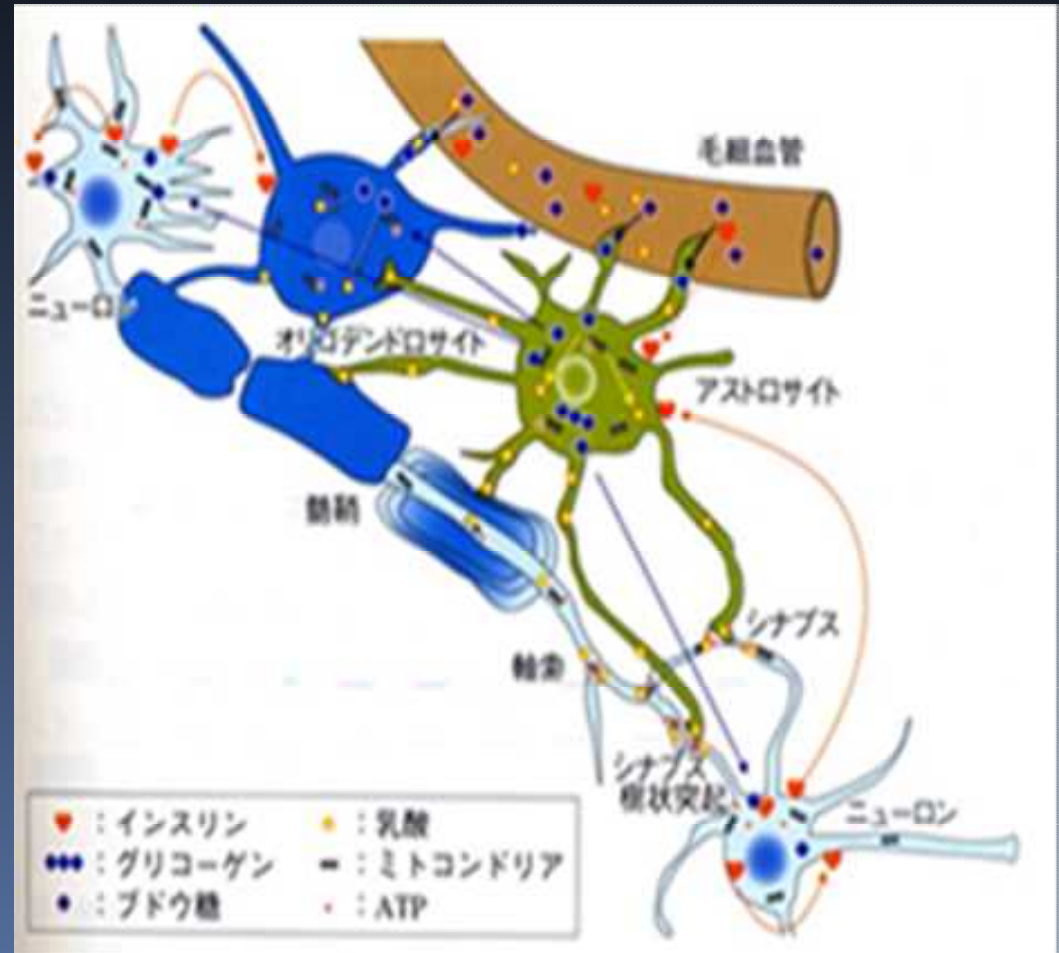
→ミトコンドリアでエネルギー産生ができない

② インスリンシグナルはリン酸化されたタンパクのリレーで伝えられるが、可溶性タンパクの異常リン酸化によりミトコンドリア輸送が特異的に阻害される。

# ミトコンドリア機能不全から アルツハイマー病発症へ

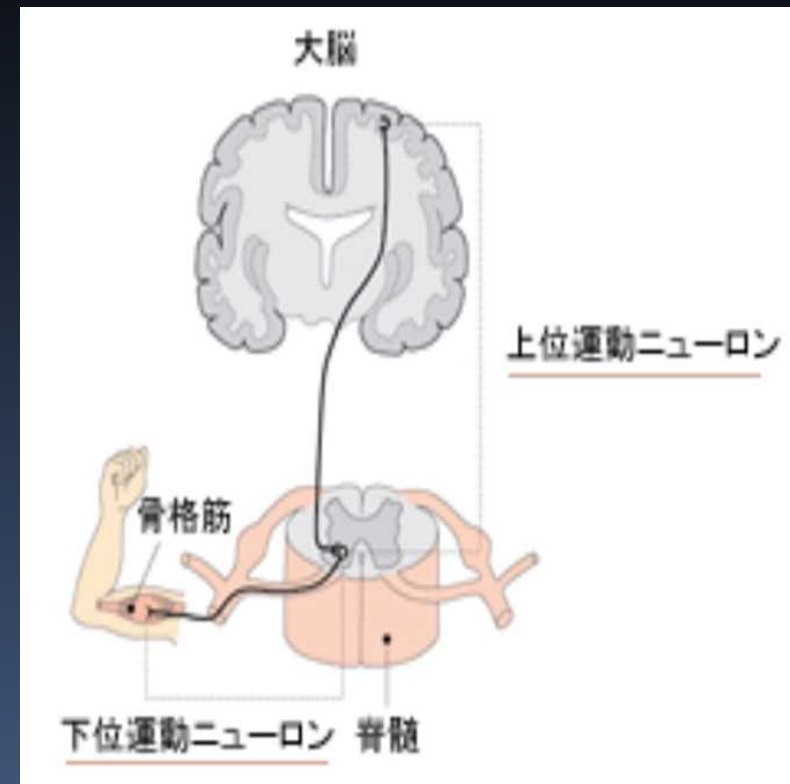
アルツハイマー病患者  
の脳では、インスリ  
ンシグナルが破綻  
⇒ニューロンのミトコ  
ンドリア機能不全  
⇒神経細胞のエネルギ  
ー枯渇と酸化ストレ  
ス亢進  
⇒神経変性

脳組織におけるエネルギー供給体制  
(神経軸索内でもミトコンドリア輸送)  
出典：酸化ストレスの医学 改訂第2版  
(診断と治療社) p. 221



# 筋萎縮性側索硬化症 (ALS)とは

■大脳皮質運動野に存在する上位運動神経及び下部脳幹運動神経核、脊髓前核に存在する下位運動神経が特異的に障害される進行性の神経変性疾患。上位運動神経障害により、深部腱反射の亢進、病的反射、痙縮などの症状、下位運動神経の障害により進行性の筋力低下、筋萎縮を呈する。筋萎縮は徐々に全身に広がり、歩行障害、言語障害、嚥下障害、呼吸障害に及ぶ。



ALS用語集より

[http://www.als.gr.jp/public/glossary/glossary\\_002.html](http://www.als.gr.jp/public/glossary/glossary_002.html)

# 家族性筋萎縮性側索硬化症ALS (全体の10%)

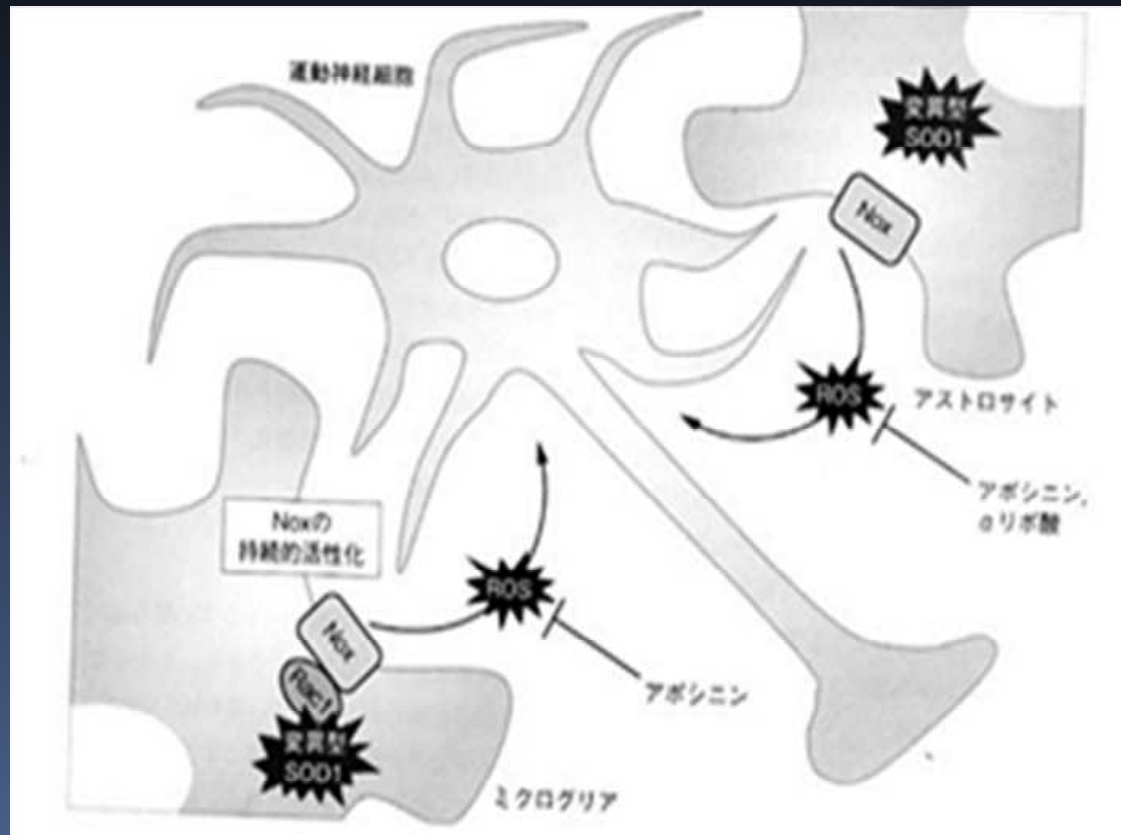
家族性ALSの約20%がスーパーオキシドムターゼ<sub>1</sub>遺伝子 (SOD<sub>1</sub>) に変異を有する。

SOD<sub>1</sub>：活性酸素を消去する抗酸化酵素

変異型SOD<sub>1</sub>は、凝集性が高く神経細胞内に蓄積し、特にミトコンドリア外膜や膜間腔に集積

変異型SOD<sub>1</sub>が発現したグリア細胞では、活性酸素制御が効かないため、持続的に活性酸素種を産生

# 家族性ALSにおける神経細胞損傷



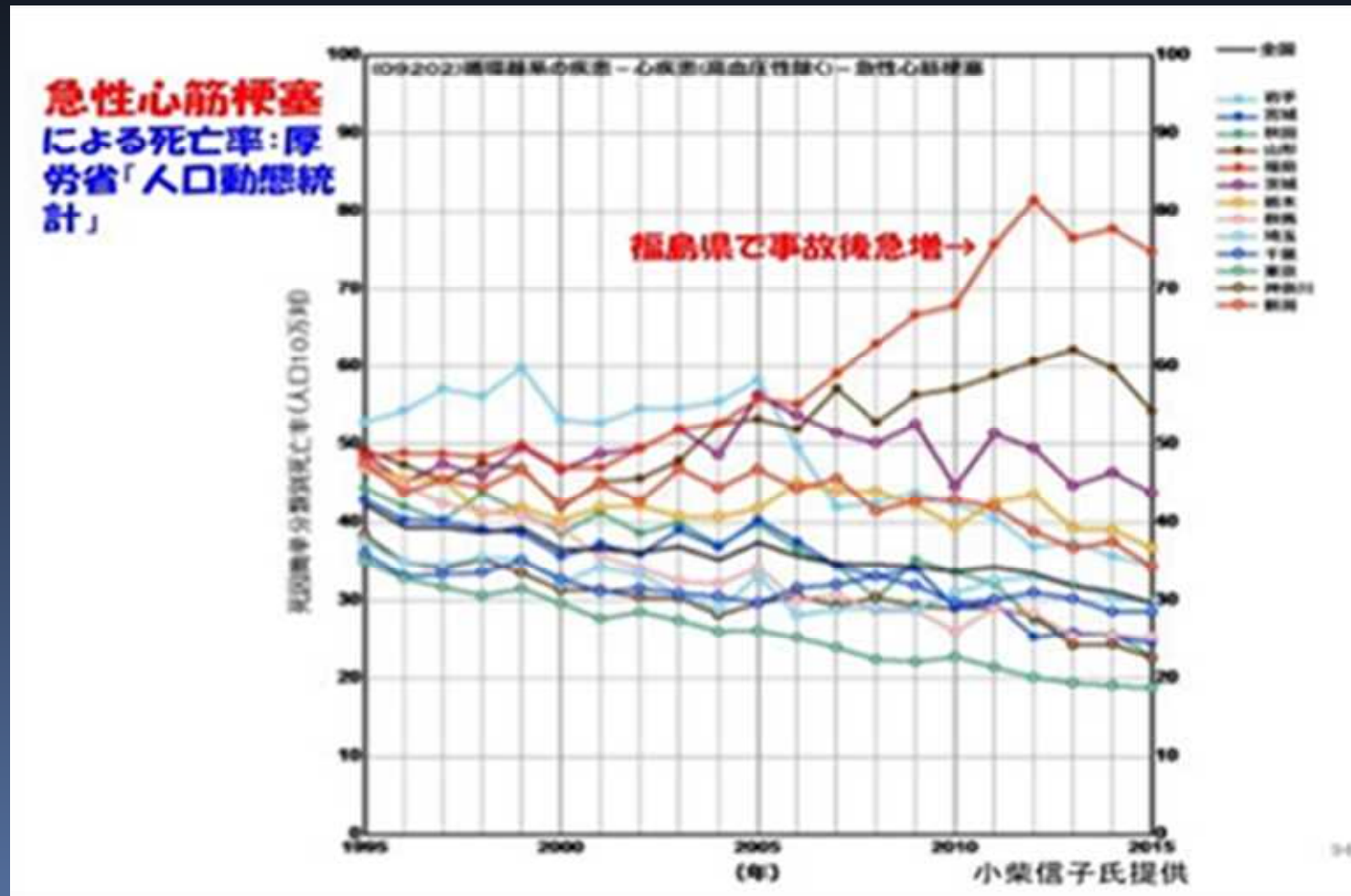
グリア細胞の変異型SOD1によるROSを介した運動神経細胞毒性発揮機構

出典：実験医学 Vol.30 No.7 (増刊) 2012 p.181

Nox：生体内で  
活性酸素種を産  
生する酵素群

脳細胞におい  
て、変異型  
SOD1はNoxを介  
して活性酸素  
ROSを産生、運  
動神経細胞毒性  
を発揮する

# 原発事故後の 福島県における急性心筋梗塞による死亡率の増加



(厚労省人口動態統計より小柴信子氏が作成)

# 心筋症とミトコンドリアの関与

- 心筋細胞は、その個体が生命として活動している限り休むことなく弛緩と収縮を繰り返し、常に多くのATPを必要としているため、ミトコンドリアを多く含む。

- 心不全において

- ①病態形成、進展に活性酸素によるミトコンドリア機能不全が関与（ミトコンドリア内膜及びmtDNAの傷害）

- ②mtDNAの質的および量的障害が、病態に関連

# 不全心筋のミトコンドリアにおける 活性酸素産生の悪循環

不全心筋のミトコンドリア  
で産生された活性酸素は、  
心筋細胞のミトコンドリア  
自身、特にmtDNAを損傷

mtDNA数  
減少

mRNA低下  
複合体酵素活性  
低下

電子伝達障害→さらなる活性酸素産生

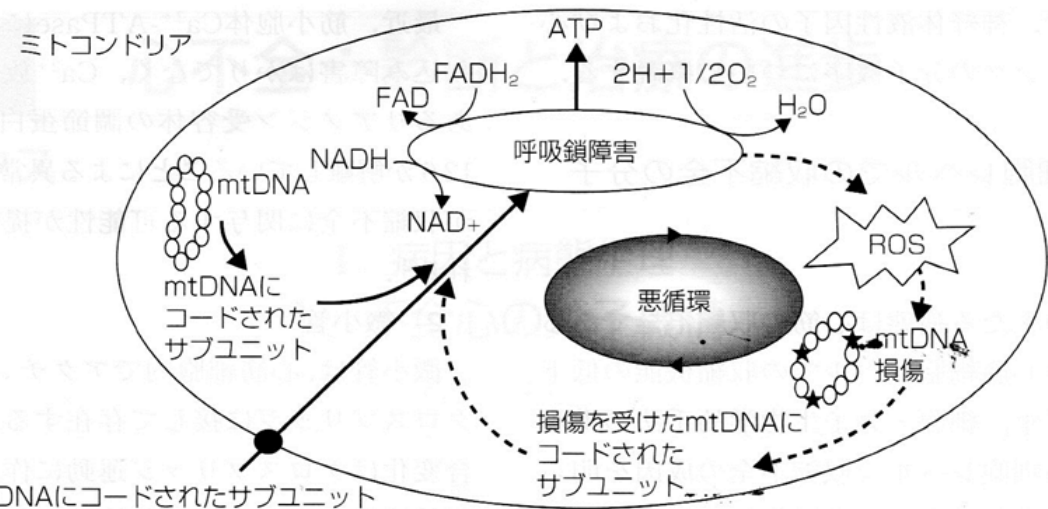
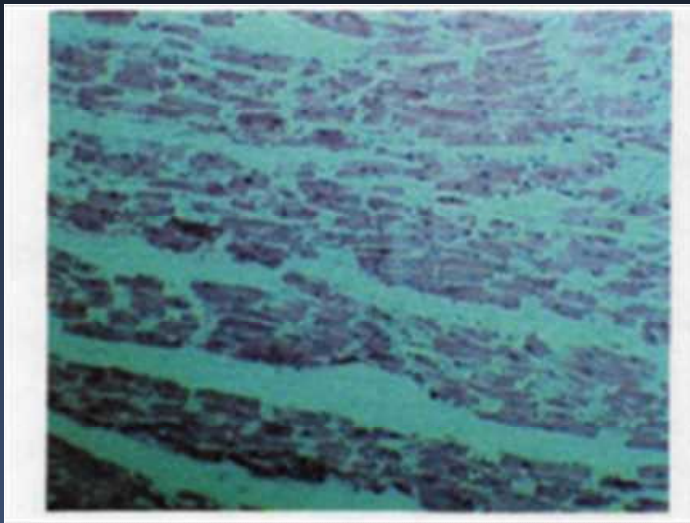
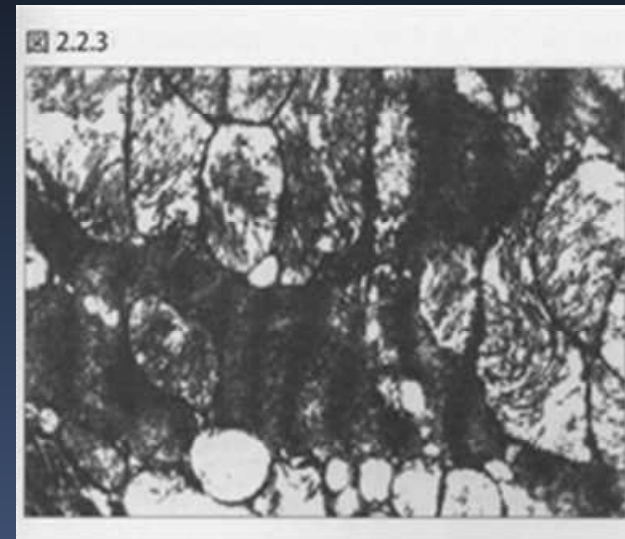


図2. ミトコンドリアにおける活性酸素種 (ROS) 産生とmtDNA・機能障害の関係を  
示す模式図

# チェルノブイリ事故後の心筋病変

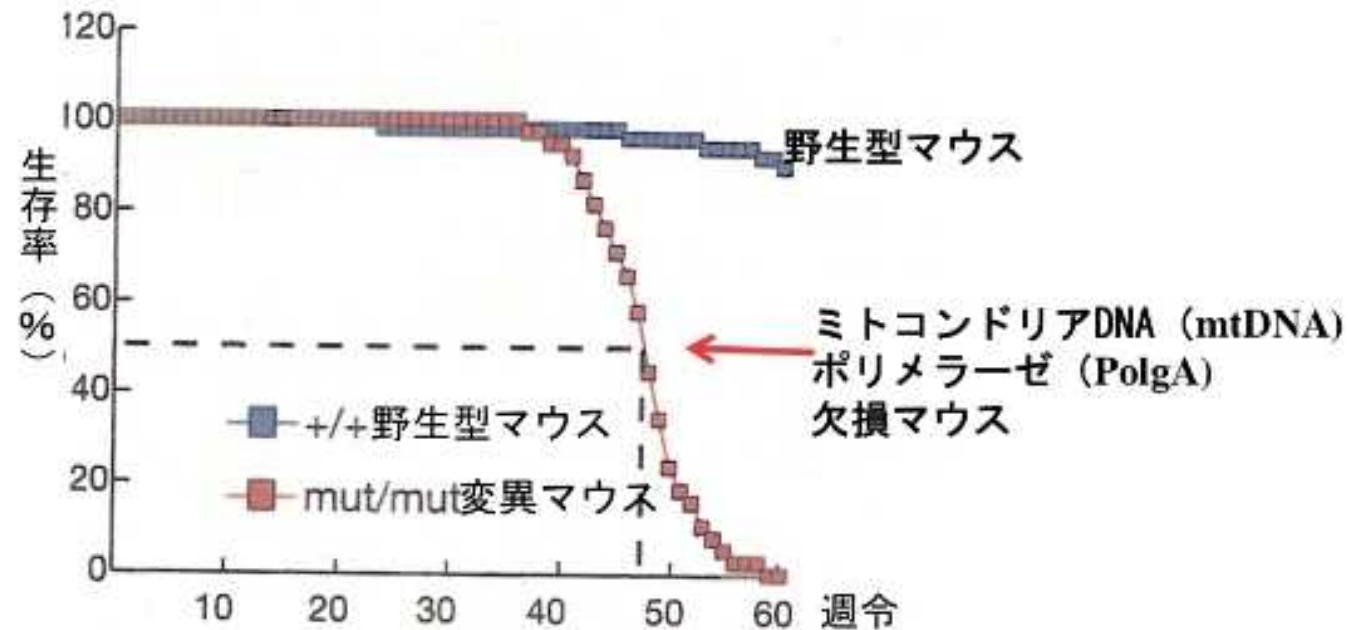


突然死した40代男性の心筋細胞  
びまん性心筋異常  
心筋細胞のジストロフィー病変と  
壊死による組織間浮腫や筋線維分  
裂



白ラットの心筋細胞（体内セシウ  
ム $45\text{Bq/kg}$ ）  
心筋萎縮病変、ミトコンドリア膨  
隆、筋小胞体浮腫

## ミトコンドリアDNAの変異蓄積による老化



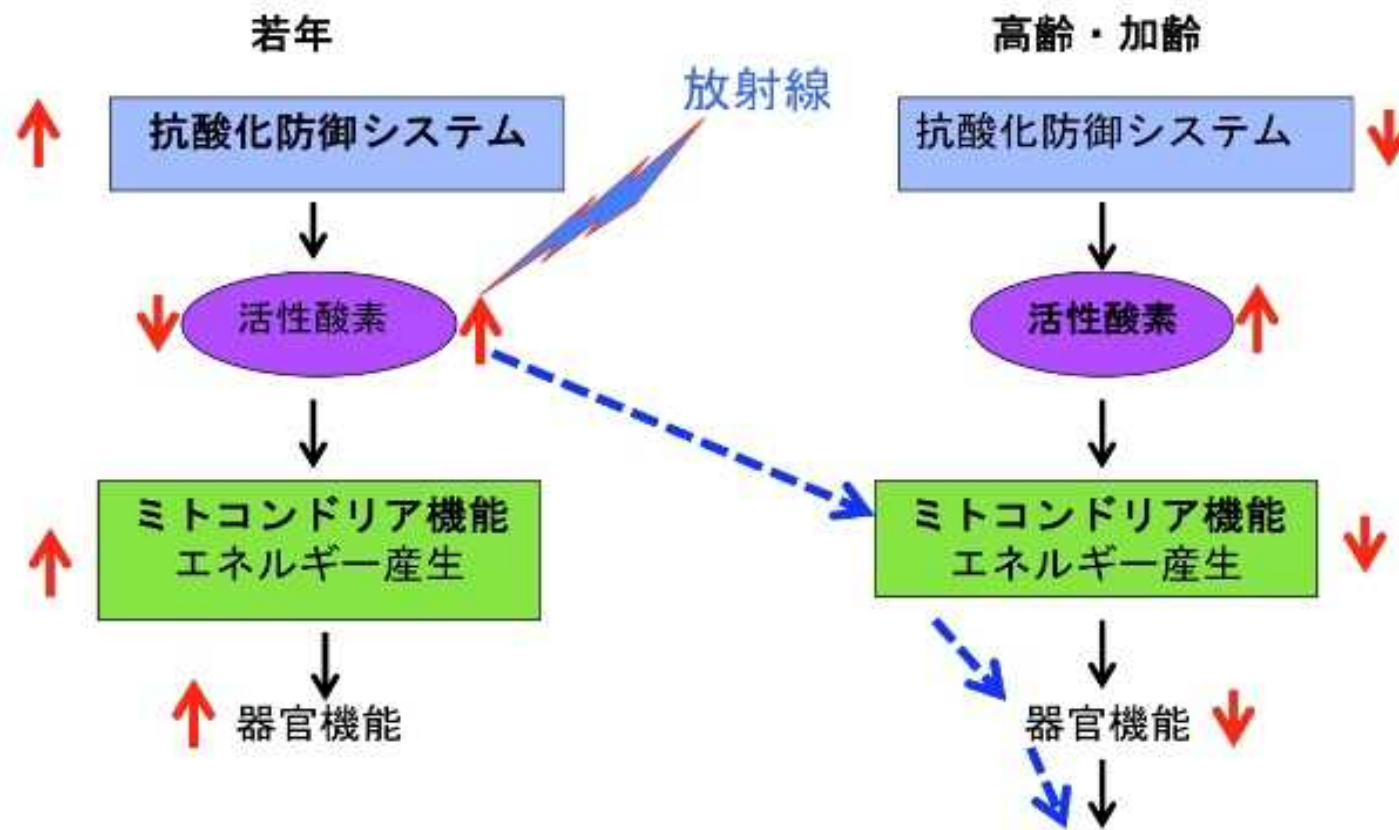
ミトコンドリアDNAに変異蓄積が5倍  
心不全による死亡の増加 → 寿命は1/3

Trifunovic A et al. Nature 429 417, 2004

(崎山比早子氏講演「放射線による老化の促進-無視されてきた非ガン性疾患-」PPTより)

(崎山比早子氏講演「放射線による老化の促進-無視されてきた非ガン性疾患-」PPTより)

## ミトコンドリアと老化のまとめ

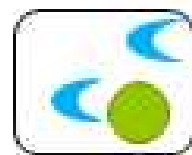


老化：がん、神経の変性、骨粗鬆症、動脈硬化、高血圧、糖尿病、白内障等々

# 医療問題研究会の松本有史氏からの提起 代謝疾患としてのガン

## 核-細胞質移植実験

Front.Cell Dev.Biol.2015.seyfriedより



正常細胞



ガン細胞



正常細胞質 +  
ガン細胞核



ガン化しない



ガン細胞質 +  
正常細胞核



ガン細胞であり続ける

(医問研 松本有史氏PPTを一部変更して掲載)

# ガン細胞におけるDNA変異は 二次的な変化？

慢性炎症



場の乱れ（細胞質内の様々）

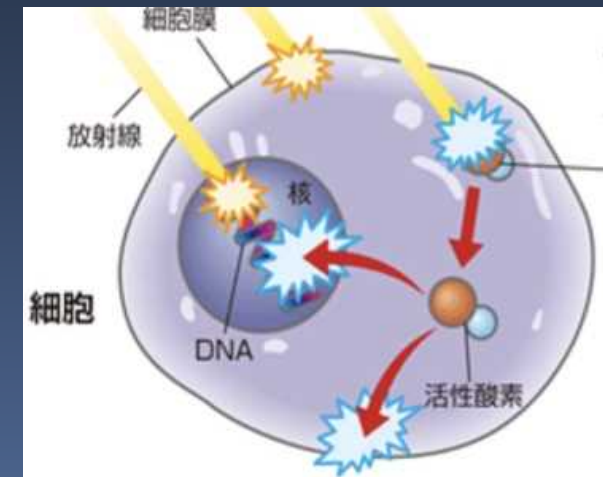


ミトコンドリア機能異常



遺伝子発現変化 → ガン発症？  
(エピジェネティックな変化)

Thomas N.Seyfried 「Cancer as a  
mitochondrial metabolic  
disease」  
Frontiers in Cell and  
Developmental Biology, 2015



# まとめ

- ① 放射線によって傷害されるのは、細胞質内の水やミトコンドリア、酵素、細胞膜、核DNAなど、すべてである。
- ② したがって、放射線によって発症する病気はガンのみでなく、様々な疾患が起こり得る。放射線によって、どのような病気を発症するかは紙一重の違い？個人の弱い部分がやられる？
- ③ もともと持病のある人は、それがより悪化する可能性がある。

# 引用・参考文献

A・V・ヤブロコフほか「調査報告 チェルノブイリ被害の全貌」岩波書店2013

医問研 「根拠に基づいた医療を」2018/7

吉川敏一監修「酸化ストレスの医学」改訂第2版 診断と治療社 2014

ユーリ・I・バンダジェフスキー「放射性セシウムが与える人口学的病理学的影響  
合同出版 2015

ユーリ・I・バンダジェフスキー「放射性セシウムが人体に与える医学的生物学的影响」合同出版 2011

日本内科学会雑誌 vol.94 No.2 Feb10,2005 vol.100 No.8, 2011

日本内科学会雑誌 vol.104 No.8,2015 Vol.101 No.2 2012

週刊 医学のあゆみ vol.260 No.1 2017 1/7 vol.257 No.5 2016 4/30 医歯薬出版

実験医学 増刊 vol.30 No.17 2012 羊土社

米川博通「生と死を握るミトコンドリアの謎」技術評論社 2015

ハリソン内科学 第1版 メディカルサイエンスインターナショナル2003

田熊一徹ほか「ミトコンドリア障害と神経系のアポトーシス・アルツハイマー病解明へのアプローチ」日薬理誌 134,180-183 2009

永井真貴子ほか「筋萎縮性側索硬化症の病態解明と治療戦略」北里医学2012；42：85-93

高良良輔編「神経変性疾患のサイエンス」南山堂 2007

一瀬白帝、鈴木宏治編著「図説 分子病態学」中外医学社 1995 ほか