

新刊書籍 発売！ 2012年10月10日 刊行

「放射線を科学的に理解する — 基礎からわかる東大教養の講義」

鳥居寛之・小豆川勝見・渡辺雄一郎 著
中川恵一 執筆協力

丸善出版 本体 2500円＋税

- 1章 放射線とは？《放射線入門》
- 2章 放射線の性質《放射線物理学 I》
- 3章 原子力発電で生み出される放射性物質《原子核物理学・原子力工学》
- 4章 放射線量の評価《放射線物理学 II》
- 5章 放射線の測り方《放射線計測学》
- 6章 環境中での放射性物質《環境放射化学》
- 7章 放射線の細胞への影響《放射線生物学》
- 8章 放射線の人体への影響《放射線医学》
- 9章 放射性物質と農業《植物栄養学・土壤肥料学》
- 10章 放射線の防護と安全《放射線防護学》
- 11章 役に立つ放射線《放射線の利用・加速器科学》
- Q&A

放射線を理解するには、物理学・化学・生物学・医学・工学など、多くの分野の知識が必要です。しかしこれらすべてを網羅することは難しく、系統立てて学べる機会は非常に少ないのが実情です。

本書は、東京大学教養学部で行われた講義をもとにし、放射線について多角的に学べるよう配慮しています。日常生活や原発事故にかかわる具体的な例を引きながらやさしくていねいに解説しましたので、高校生や一般の方にも広く読んでいただきたいと思います。

<http://radphys4.c.u-tokyo.ac.jp/~torii/lecture/radiolect-kn.html>

放射線

鳥居 寛之
小豆川勝見
渡辺雄一郎 著
中川 恵一
執筆協力

科学的に
理解する

基礎からわかる東大教養の講義

丸善出版

東京大学教養学部 放射線講義 スライドのご案内

ごらんのファイル以外にも、別学期の講義シリーズのファイルがあります。

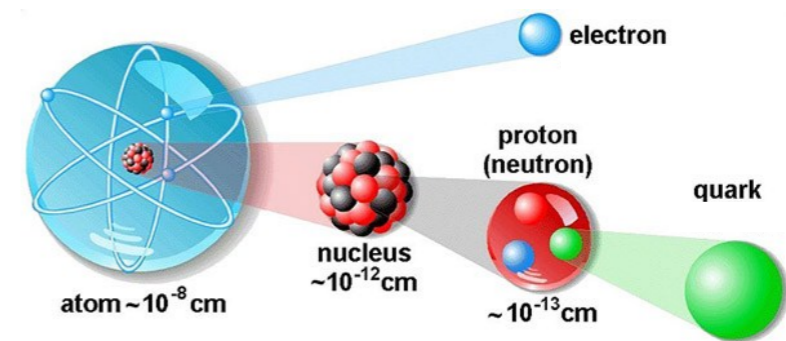
書籍「放射線を科学的に理解する — 基礎からわかる東大教養の講義 —」

とあわせて、どうぞご利用下さい。

<http://radphys4.c.u-tokyo.ac.jp/~torii/lecture/>

2011年度夏学期
自主講義

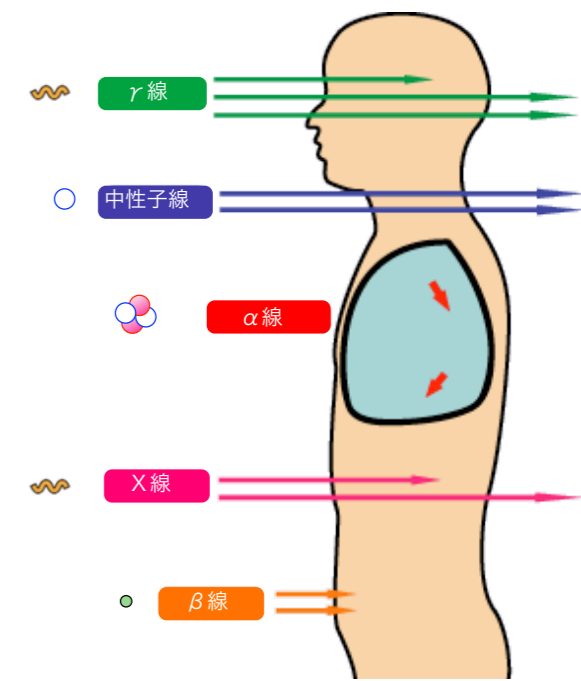
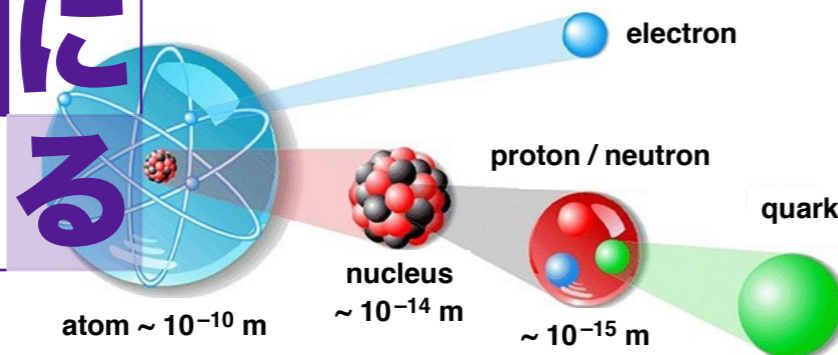
自主講義
放射線学



2011年度冬学期
主題科目テーマ講義

2012年度冬学期
主題科目テーマ講義

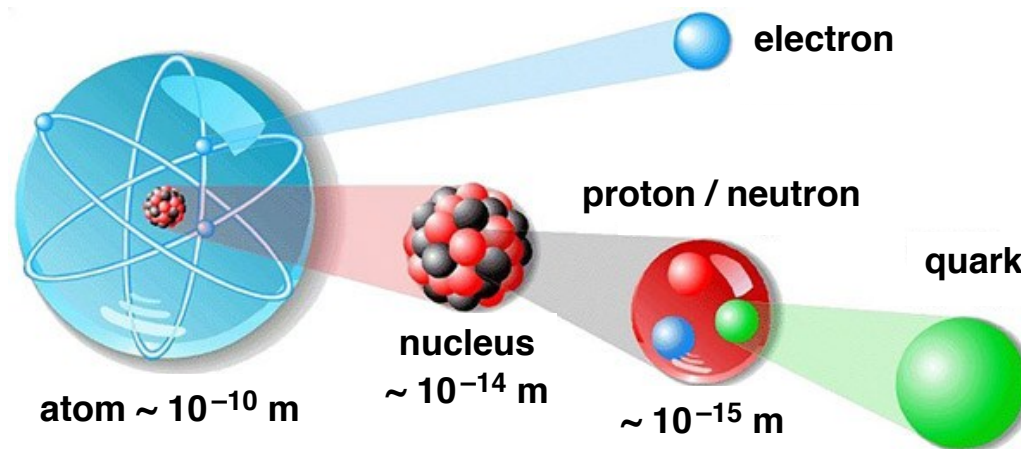
放射線を
科学的に
理解する



2011年度冬学期 主題科目テーマ講義

第5回：2011 / 11 / 4 (金)

放射線を
科学的に
理解する



金曜5限 @ 11号館 1101教室

放射線生物学

渡邊 雄一郎

東京大学 教養学部 / 大学院総合文化研究科

放射線を科学的に理解する

- 10/ 7 放射線入門 【鳥居】
- 10/14 放射線物理学 【鳥居】
- 10/21 放射線計測学 【小豆川】
- 10/28 環境放射化学 【小豆川】
- 11/ 4 放射線生物学 【渡邊】
- 11/11 放射線医学 【中川】
- 11/18 原子核物理学 【鳥居】
- 12/ 2 原子力工学 【石渡】
- 12/ 9 放射線物理学 【鳥居】
- 12/16 環境放射化学 【小豆川】
- 1/10 植物栄養・土壌肥料学 【藤原】
- 1/20 放射線の利用 【渡邊】
- 1/27 加速器科学・まとめ 【鳥居】

鳥居 寛之

小豆川 勝見

渡邊 雄一郎

《教養学部》

中川 恵一 《医学部附属病院放射線科》

石渡 祐樹 《工学系原子力国際専攻》

藤原 徹 《農学部応用生命科学》

ゲスト講師

2011年11月4日

放射能の科学

放射線の生体への影響 放射線防護

教養学部 統合自然科学科
総合文化研究科 生命環境科学系
渡邊雄一郎



質問

広島、長崎に原爆が落ちたあと、除染をしたのか。

広島、長崎に原爆が落ちたあと、何年後から人が住めるようになったのか。

異なる核種の放射線
熱線（高温）

熱線が及ぼした物体・身体への影響

爆心地から遠く離れた場所にあった、丹前や紙に書かれた墨文字等の色の黒い部分が熱線によって瞬時にして焼けてしまいました。また、鉄道線路の木棚も自然発火し、燃えたところもありました。

原爆の熱線は爆心地から約600メートル離れたところでも、摂氏2,000度もあり、この範囲内にあった屋根瓦は、表面が溶けてブツブツの泡状になるという特異な現象が見られました。

原子爆弾の爆発の閃光を爆心地近くにいた人は、黄赤色と感じ、遠くの場所にいた人は、マグネシウムの燃焼のような青白色に感じたと言われています。

この火球から放射された強烈な熱線は、爆心地から半径3.5キロメートルまでの地域にいた人に火傷を負わせました。特に、1.2キロメートル以内にいた人は身体の内部組織にまで大きな障害を受け、このため、数日のうちに死亡する人が続出しました。

広島のア子爆弾から放出された放射線

広島の原子爆弾の原料には、ウランが使用されていきました。爆弾に詰められていたウラン約50キログラムのうち、わずか1キログラムが核分裂しました。爆発により発生したエネルギーの約15%が放射線でした。放射線は、原子爆弾の核分裂と同時に、瞬間的に放出されました。この放射線を「初期放射線」といいます。また、爆発後、当分の間、地上には大量の「残留放射線」がありました。

残留放射線は人体に強く影響を及ぼしました。その後、残留放射線は急速に減少し、1週間後には約100万分の1になりました。現在では、原子爆弾の爆発により生じた残留放射線が人体に及ぼす影響は全くありません。

放射線は遺伝子などに傷をもたらす
低線量被ばくによる影響
細胞には修復能力がある

ただし修復能力にも限界がある

低線量でも確率論的にその傷が残り、
癌につながる可能性が残る。

これが確率論的になる話

発がんリスク

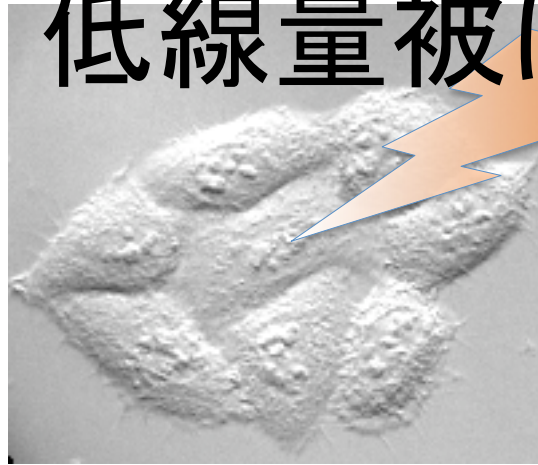
低線量被ばくによる影響



多くの体積をしめる**細胞質**に
ヒットして、生体分子を傷つけ
ても新たに合成される

影響を引きずらない

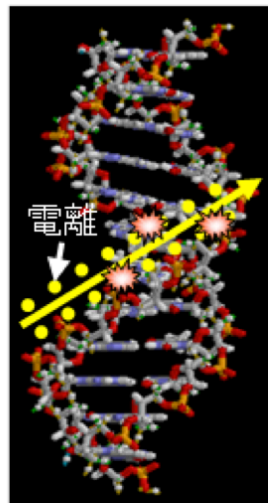
低線量被ばくによる影響



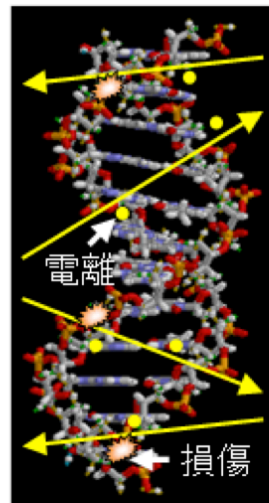
核 にヒットすると、DNA分子を傷つける

影響がのこる

放射線によるDNA損傷



重イオン



電子

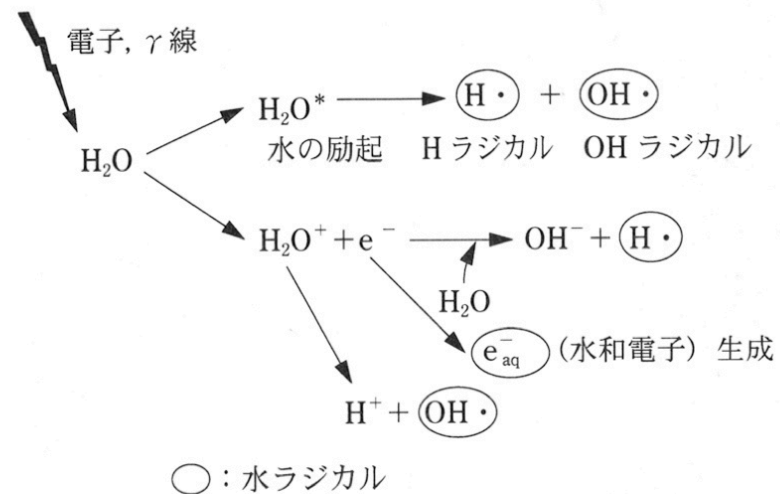


図 6・5 電離放射線による水分子の電離と励起の概略

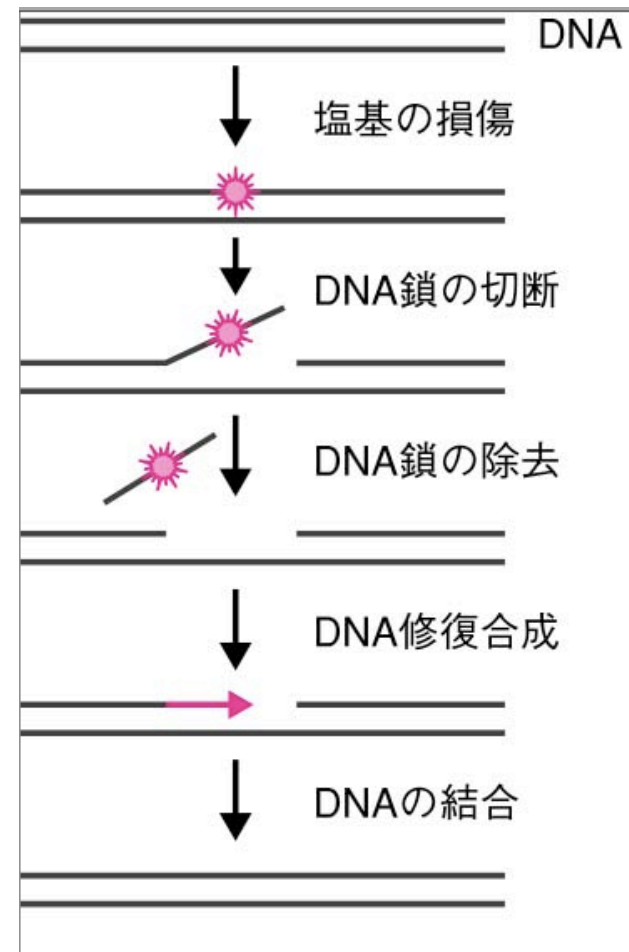
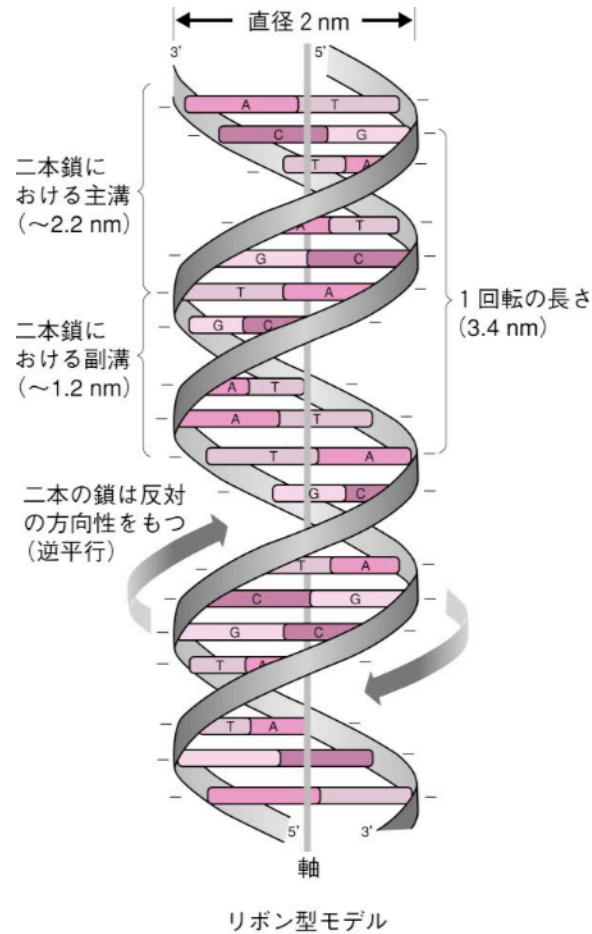
LET : 線エネルギー付与

放射線の直接作用 : 荷電粒子が直接 DNA 分子を叩く **高 LET 放射線**

と間接作用 : 水の電離で生じるラジカルが DNA 分子に作用

低 LET 放射線

放射線によるDNA損傷

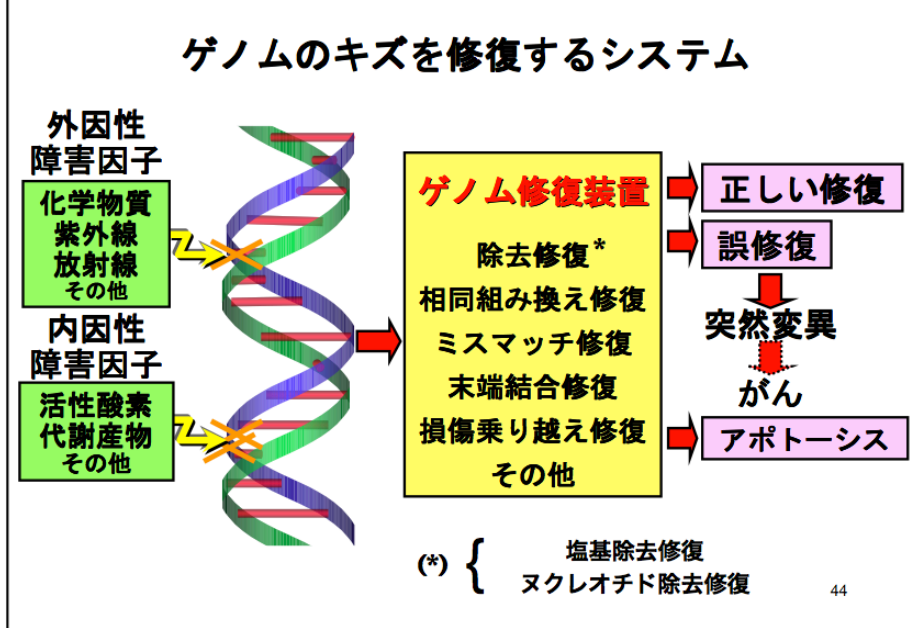
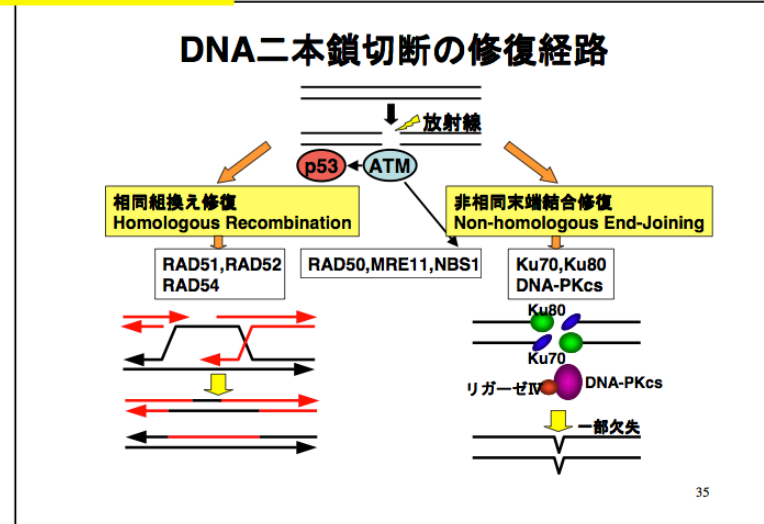
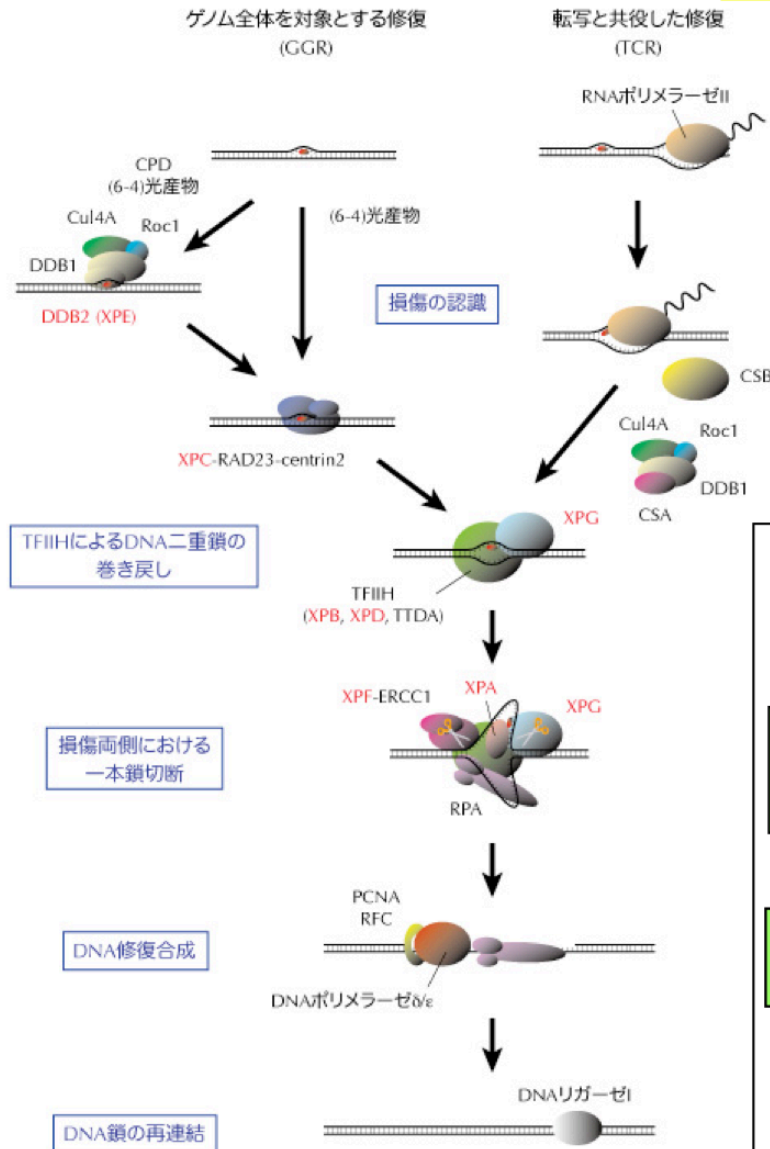


生物にはDNAの損傷を直す機構がある。→不可逆的に全て残るわけではない

間違えたDNA、傷ついたDNAの修復

ヌクレオチド除去修復

DNA 修復



修復能力がないと 通常環境で普通に生活していても がんになる

例えば 紫外線でも損傷を受けるが、
その損傷を直す機能が失われた病気など知られている

色素性乾皮症(XP)

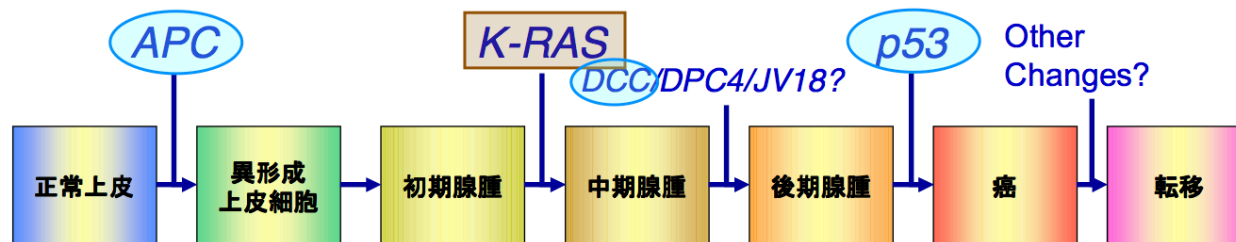
遺伝子の傷がもつ影響

- いわゆる癌がうまれてしまう
- 癌遺伝子が突然生まれる？

遺伝子の傷がもつ影響

- 癌遺伝子とはどのようなものか？

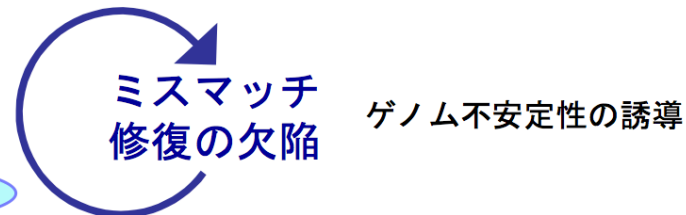
癌遺伝子ハンティングの歴史



多段階発がん仮説

がん = 細胞の異常増加

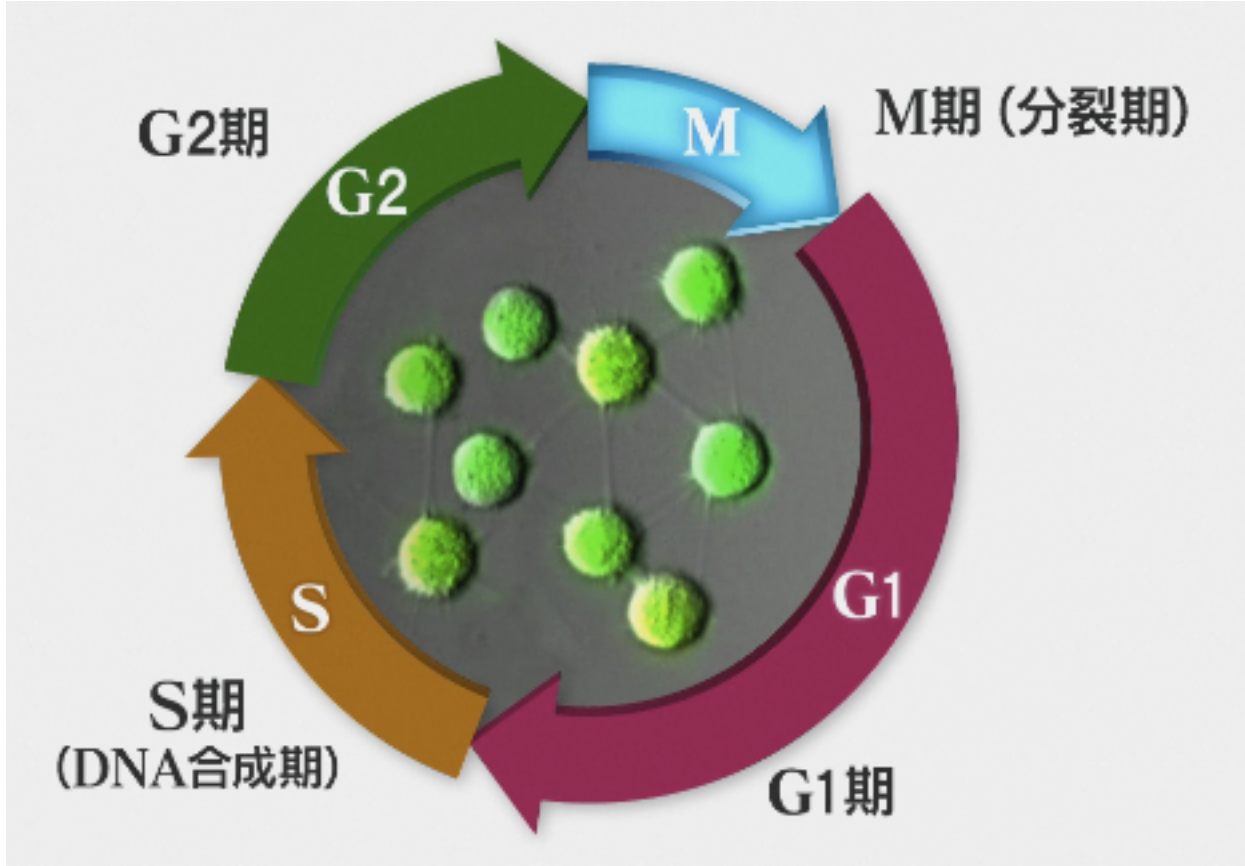
がん遺伝子 **がん抑制遺伝子**



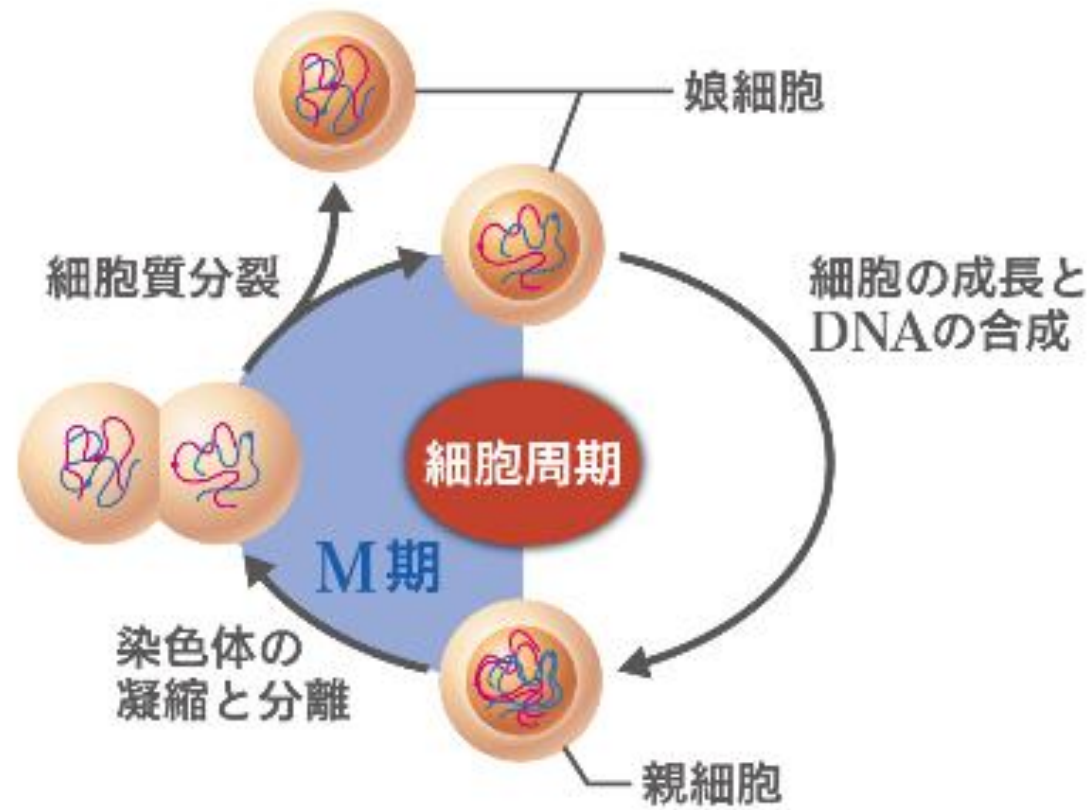
- 放射線による直接電離、および水のイオン化で生じるラジカルはたしかに DNA に損傷を与える（おそらく線量に比例）。なかでも二本鎖切断が特に問題となる（高LETを与えるα線、中性子線は生物学的効果大きい）。
- しかしそもそも DNA 損傷は化学物質など放射線以外の要因によっても、また普段の DNA 複製の際の複製エラーでも生じている。
- ヒトを含む生物の細胞には、DNA 損傷に対する多種多様な修復機能が備わっている。
- それら DNA 修復遺伝子自体が損傷を受けると修復機能が低下するが、DNA 損傷が残ってもすぐガンになるのではなく、細胞がガン化するのは多段階のガン遺伝子（アポトーシス(細胞死)に關与する p53 がん抑制遺伝子を含む）に次々に突然変異が生じた場合。
- 一方で、DNA 修復遺伝子に異常のある病気の方は、通常の人よりはるかにガンにかかりやすい。（色素性乾皮症、運動失調性毛細管拡張症、ナイミーヘン切断症候群など）

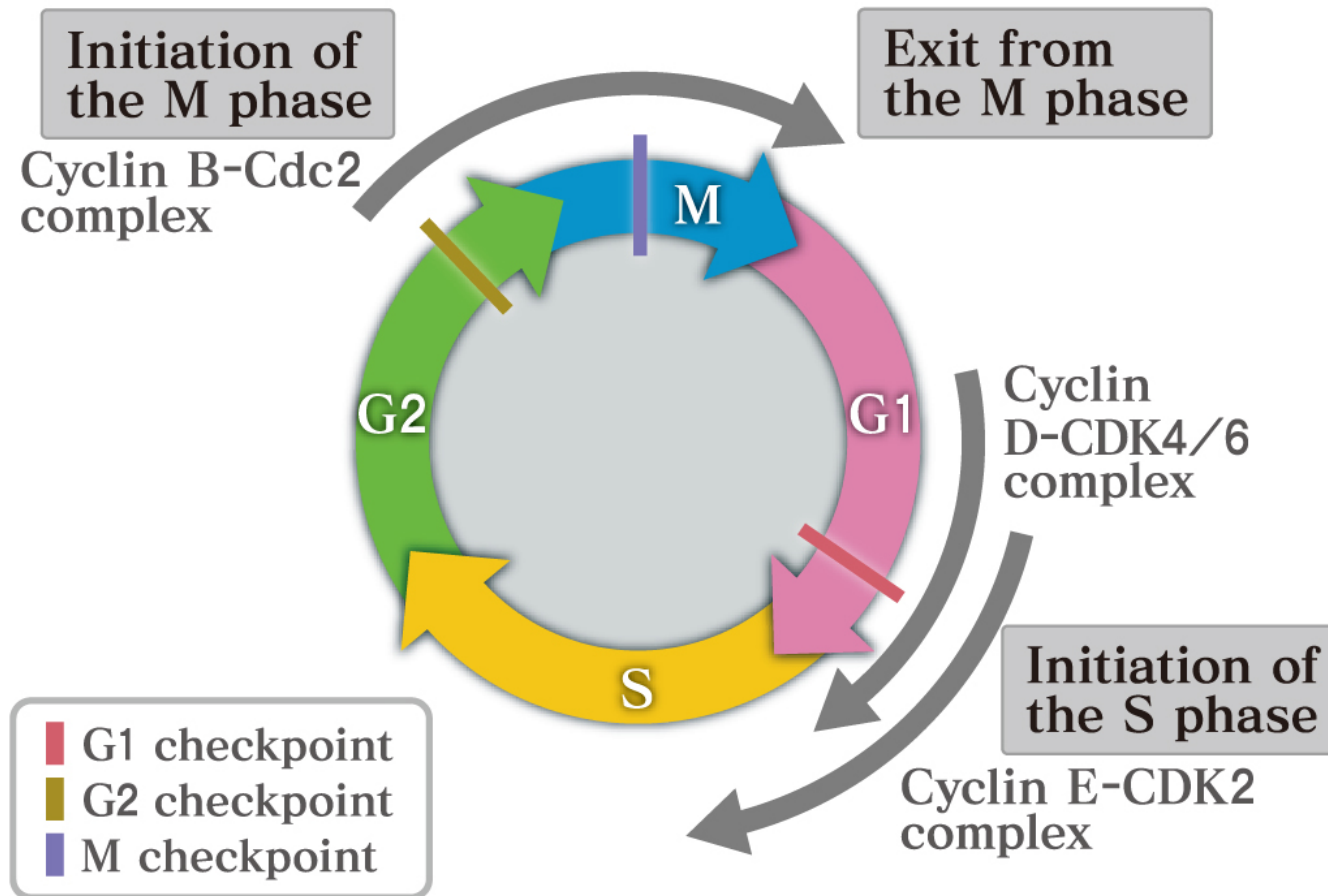
細胞周期とは

- 細胞に
- 秩序ある変化が周期的に起こって
- 初めて細胞が増殖する。



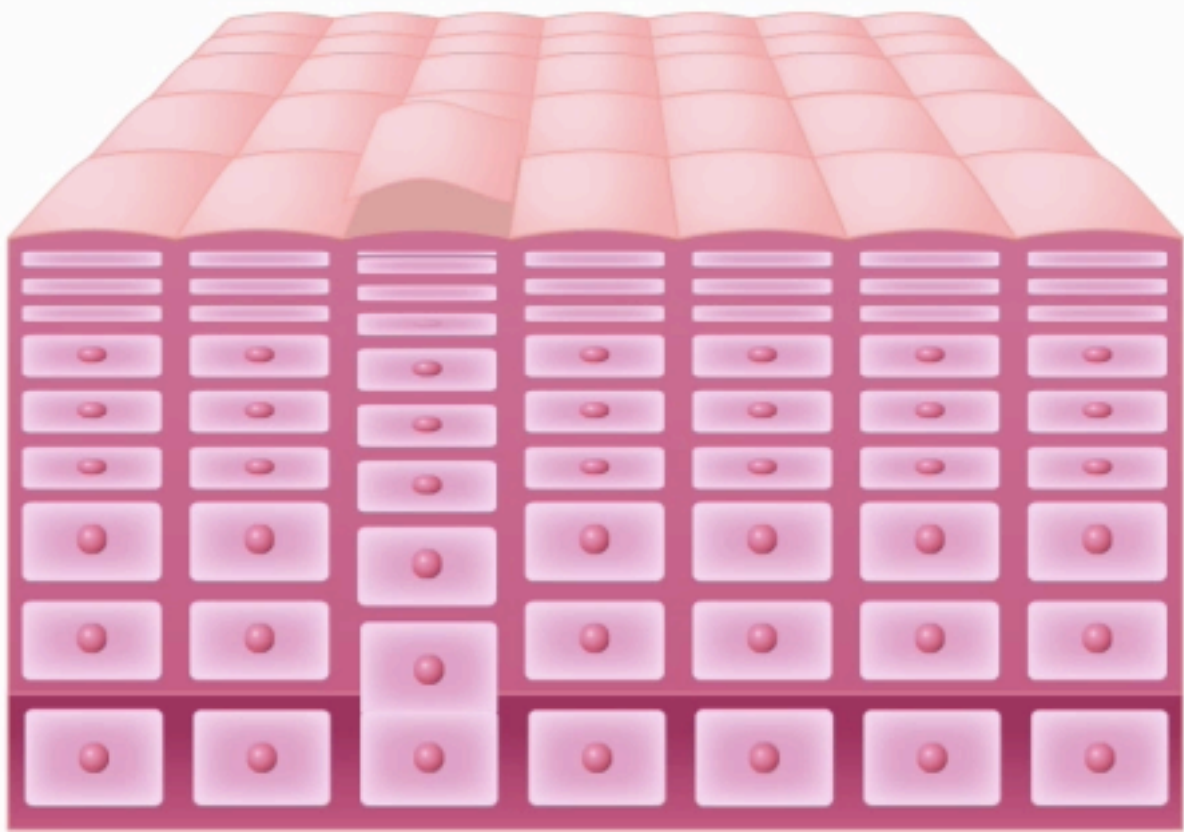
DNA複製が正常に行われないと、 細胞分裂自体が進行しない





© University of Tokyo

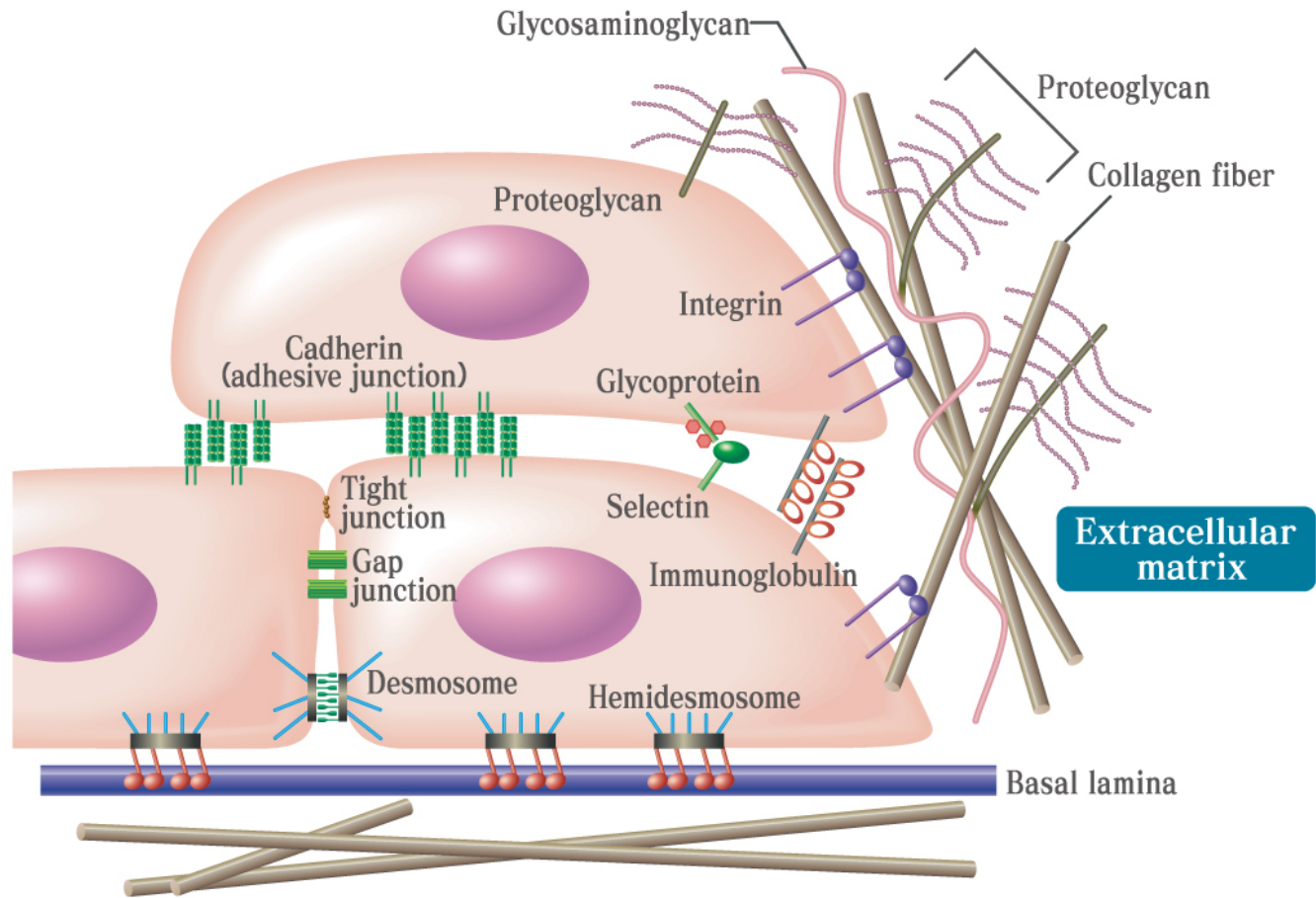
多くの素材が以下のサイトにあります
<http://csls-db.c.u-tokyo.ac.jp/index.html>

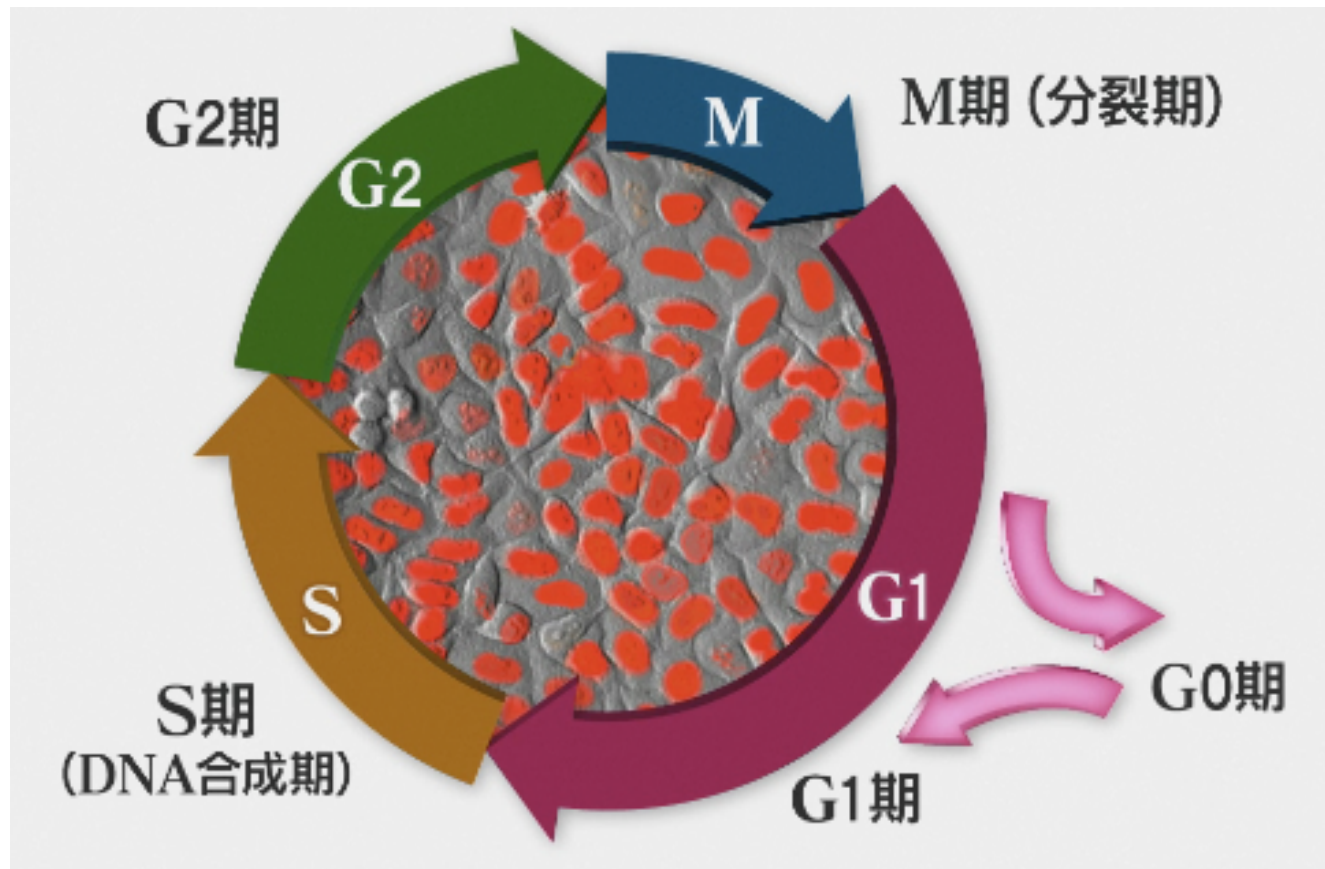


組織内の細胞は

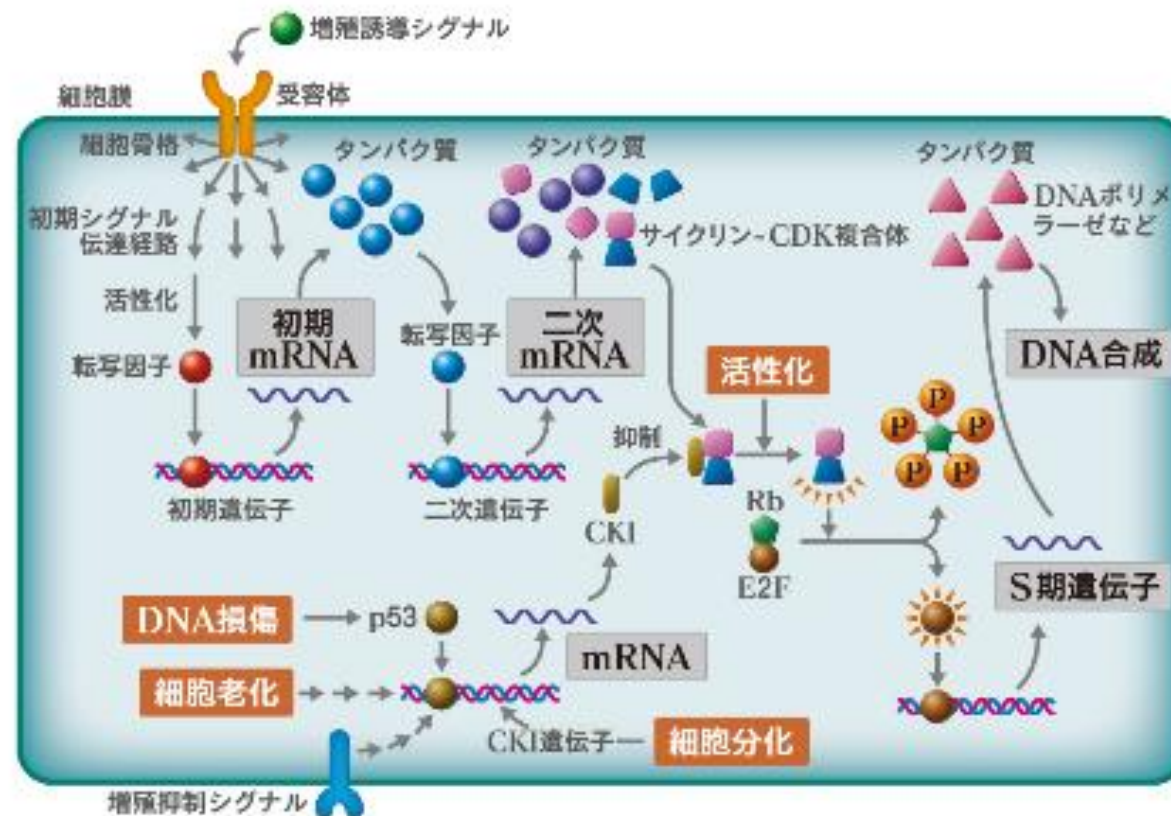
- 細胞は
- 周囲の環境状況を把握、協調して
- 周囲の組織、器官と仲良く納まっている。

正常細胞は周囲の仲間と コミュニケーションしている



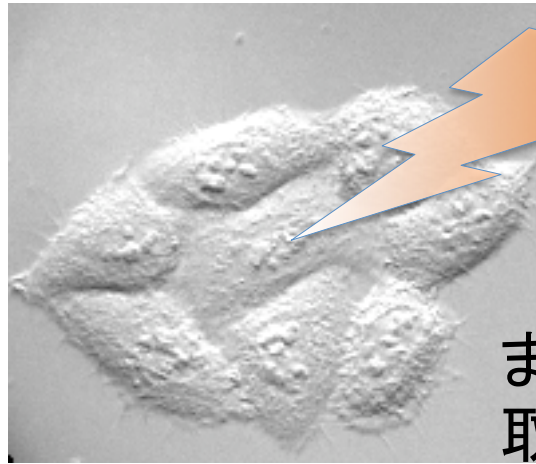


DNA損傷→P53が見つける 細胞周期の進行を調節する



© University of Tokyo

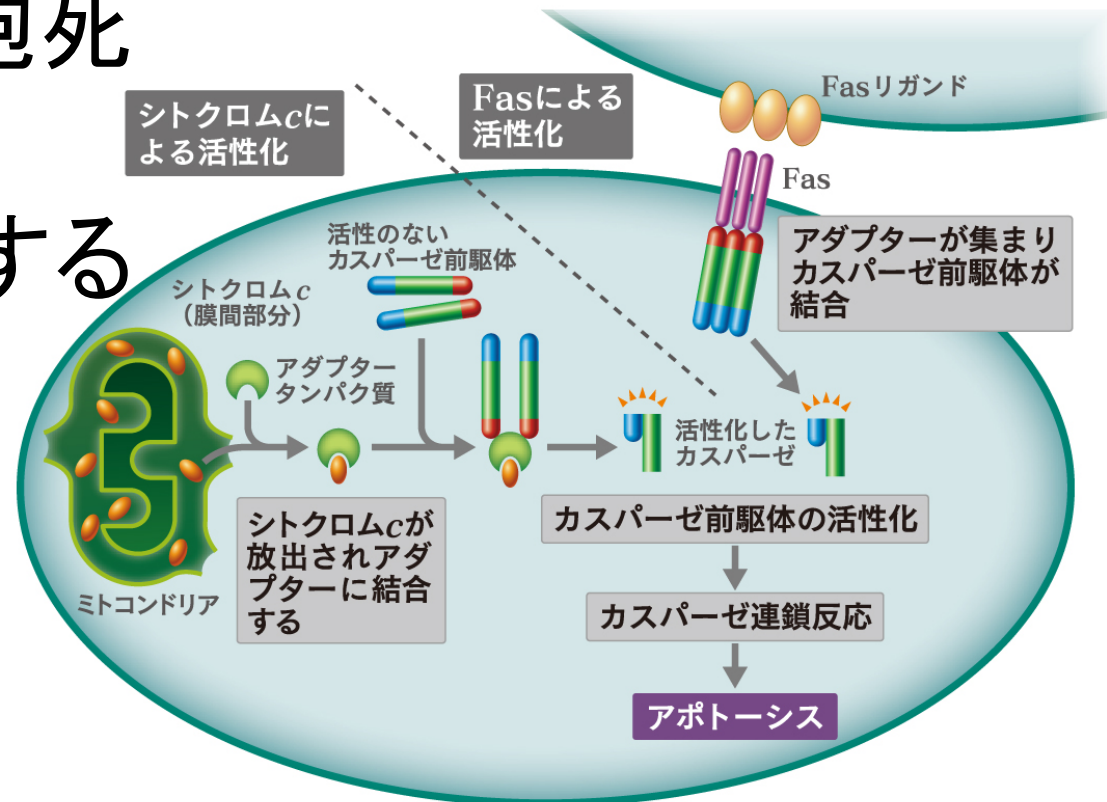
細胞周期の進行を調節する

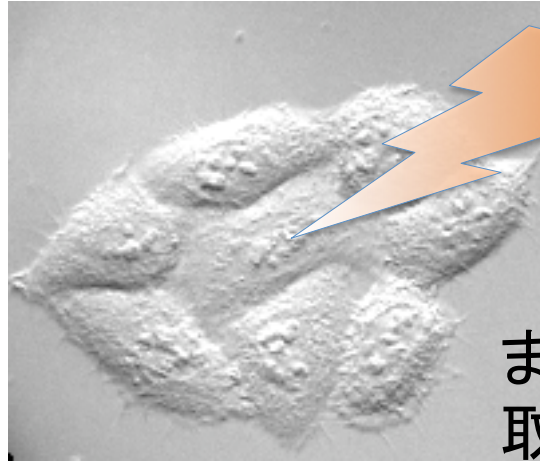


まれにDNA分子の傷が
取り除けずに残ってしまう

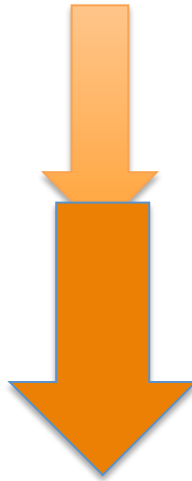
プログラム細胞死

細胞が自爆する





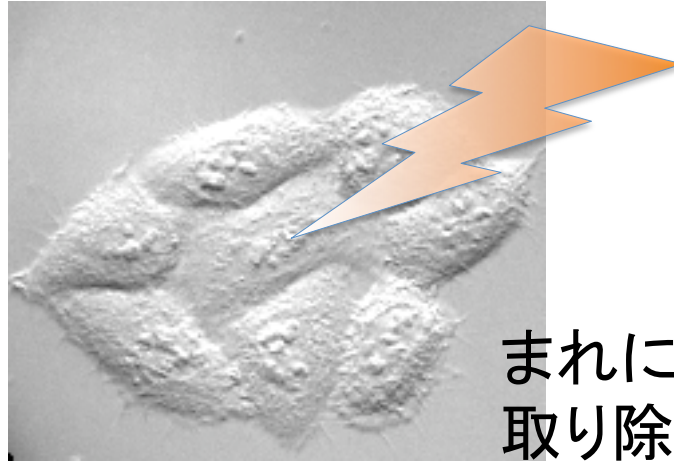
まれにDNA分子の傷が
取り除けずに残ってしまう



修復の失敗

細胞死も起こらない

自然免疫系にとらえられる

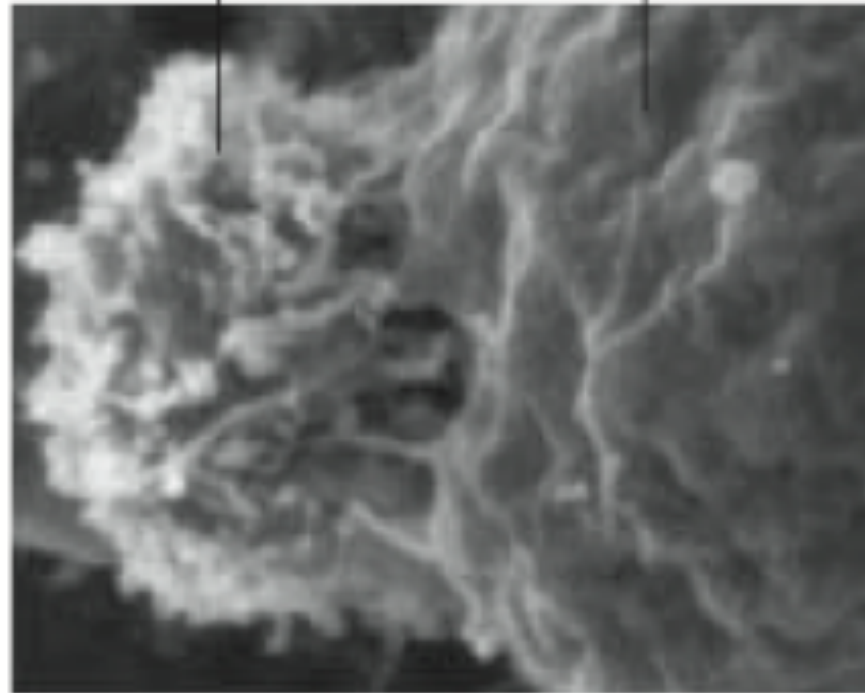


まれにDNA分子の傷が
取り除けずに残ってしまう

natural killer cell

cancer cell

NK細胞



自

る



The Nobel Prize in Physiology or Medicine 2011

Bruce A. Beutler, Jules A. Hoffmann, Ralph M. Steinman

The Nobel Prize in Physiology or Medicine 2011	▼
Bruce A. Beutler	▼
Jules A. Hoffmann	▼
Ralph M. Steinman	▼



Photo: The Scripps Research Institute

Bruce A. Beutler



Photo: CNRS Photo Library/Pascal Disdier

Jules A. Hoffmann

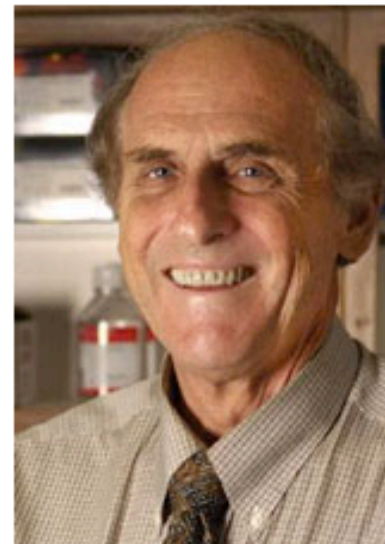
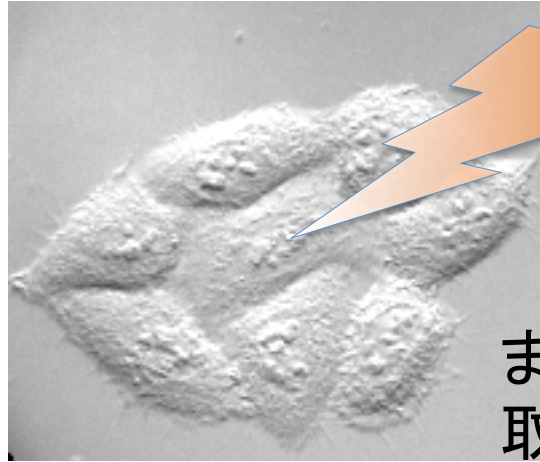


Photo: Rockefeller University Press

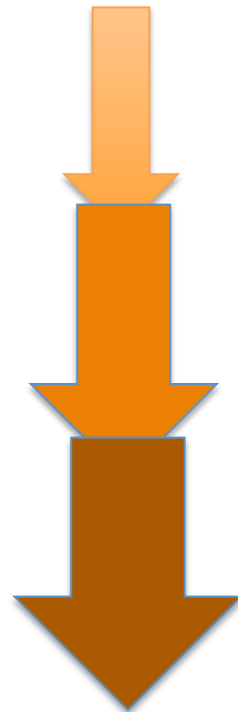
Ralph M. Steinman

The Nobel Prize in Physiology or Medicine 2011 was divided, one half jointly to Bruce A. Beutler and Jules A. Hoffmann *"for their discoveries concerning the activation of innate immunity"* and the other half to Ralph M. Steinman *"for his discovery of the dendritic cell and its role in adaptive immunity"*.

自然免疫



まれにDNA分子の傷が
取り除けずに残ってしまう



修復の失敗

細胞死も起こらない

NK細胞も取り逃がした

がん細胞が残ってしまう

がん細胞にも2種類

benign

良性

malignant

悪性

浸潤性

平成22年度日本人推計死亡数

死因	死亡数
悪性新生物	352 000
心疾患	189 000
脳血管疾患	123 000
死亡数	1 194 000

これがいわゆる癌

29.5%が 癌で死亡

発がん率

いろいろとデータはあるが、一例

+ 0.5 % / 100 mSv

平成22年(2010)人口動態統計の年間推計(厚生労働省)
日本人の死因のうち、癌によるもの (悪性新生物)

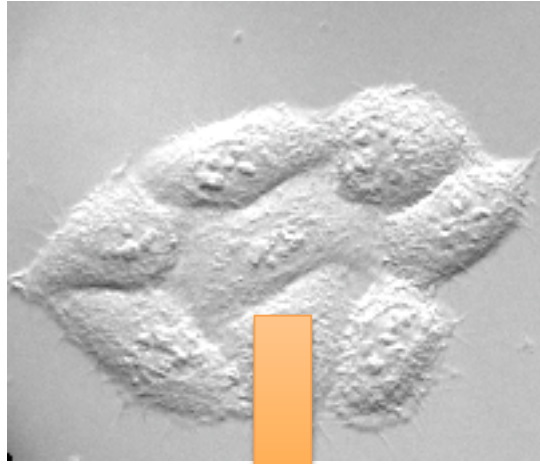
29.5 % この値に上乘せ 30.0 %

放射線 ?

地球、宇宙に生きている以上、いつも
自然放射線を被曝している

オゾン層は宇宙線をカットしてくれている

そのレベルと比較してどうなのか



修復の失敗

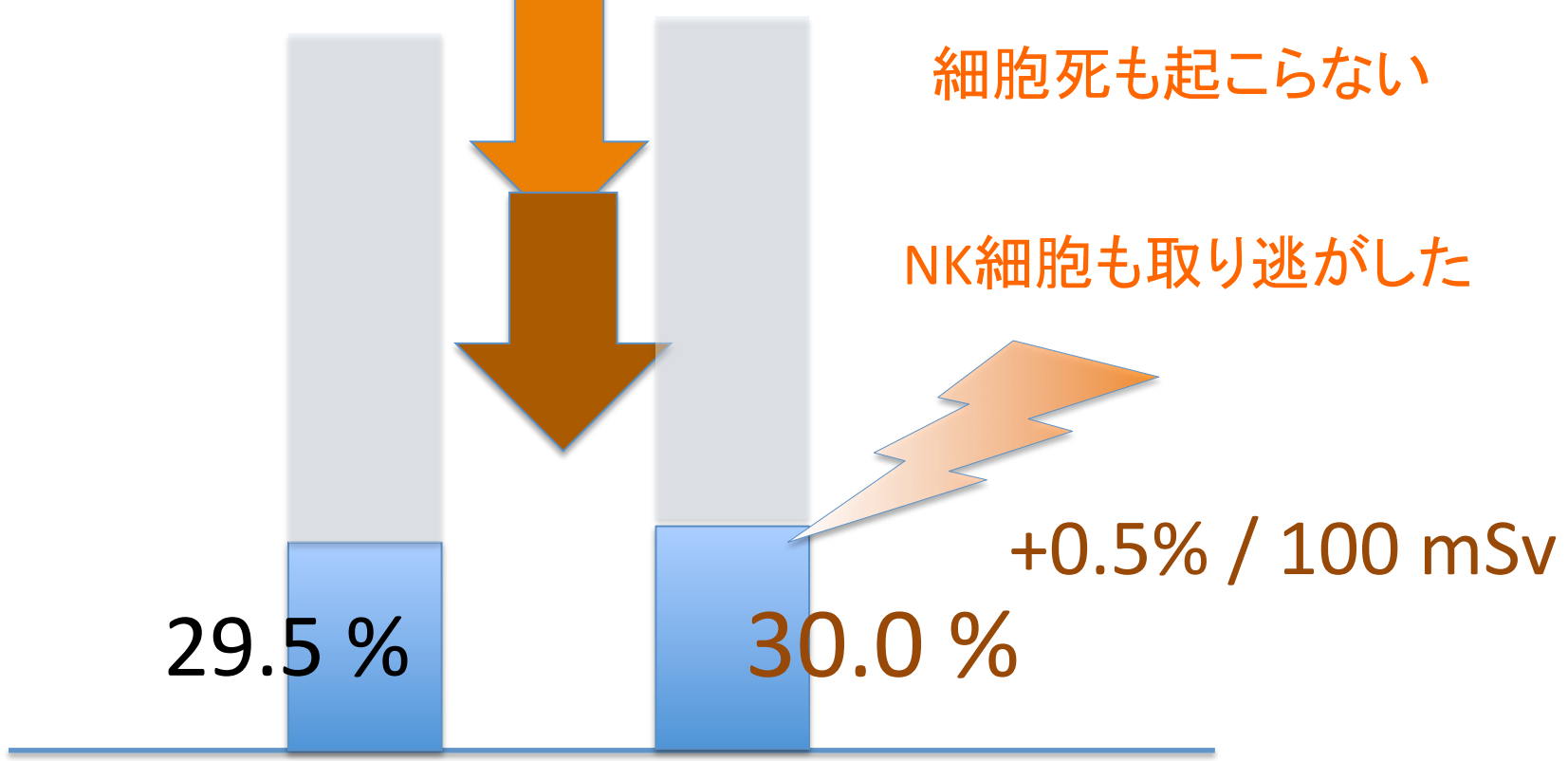
細胞死も起こらない

NK細胞も取り逃がした

29.5 %

30.0 %

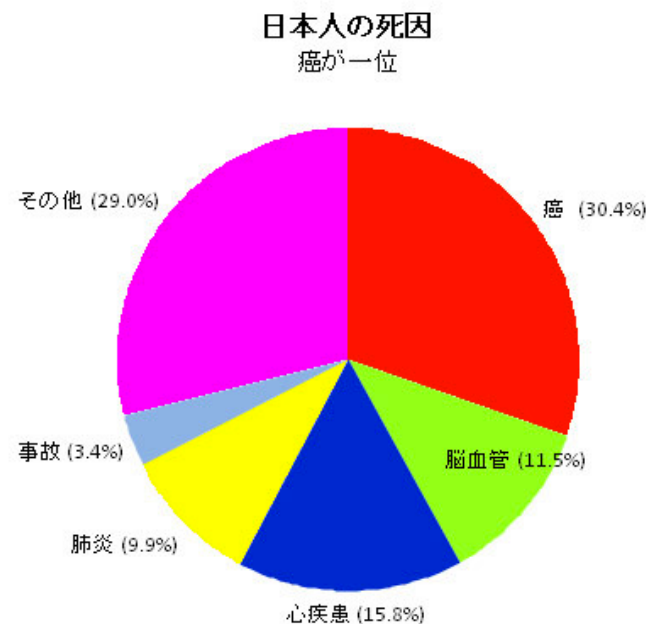
+0.5% / 100 mSv



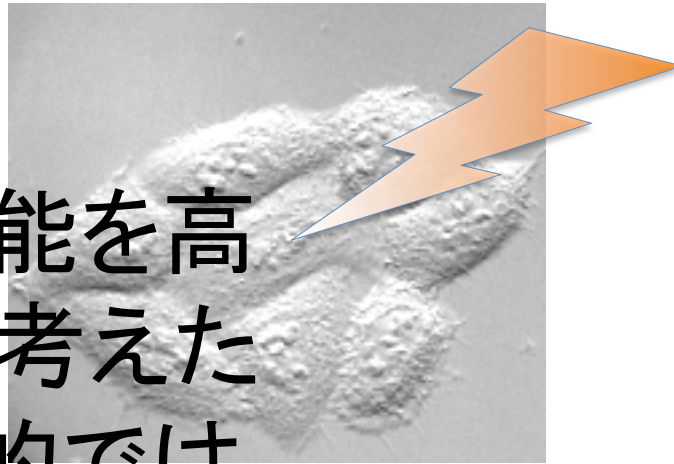
自分がその不運にあたららないことを確認したい という欲望

運命をしろということとは、
7割の方にとっては
心疾患、脳血管疾患、肺炎、
で xxx 歳で死ぬということを
告知すること。

事故、感染症は外的要素が高いので
考慮できませんが。



こうした機能を高
めることを考えた
方が建設的では
ないか

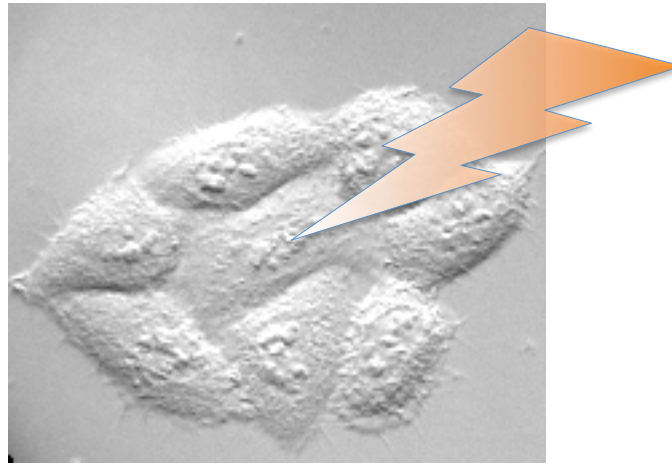


修復の失敗

細胞死も起こらない

NK細胞も取り逃がした

がん細胞が残ってしまう



発がんリスク

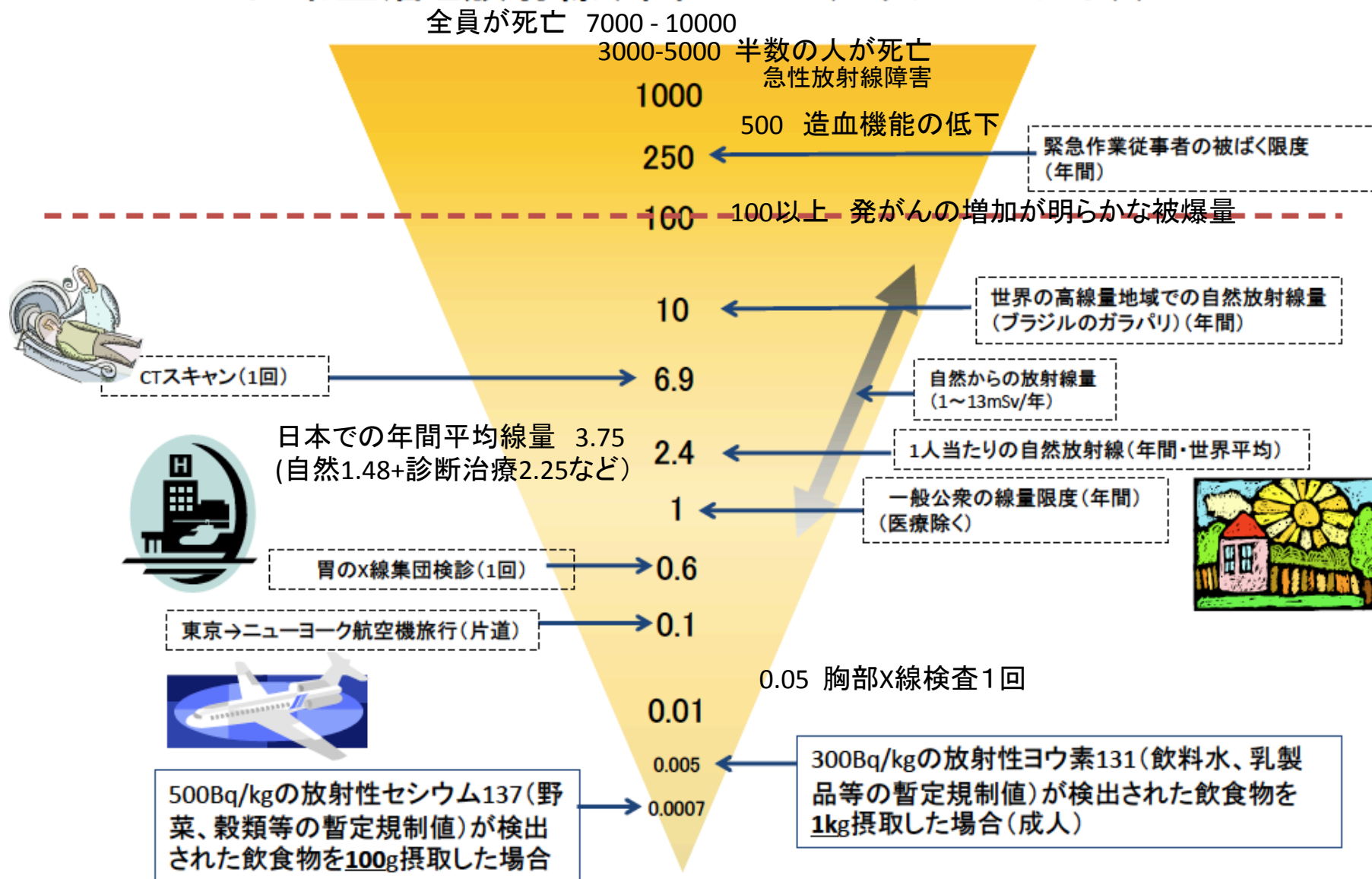
たばこ	1.6倍
酒(2-3合/日)	1.4倍
やせすぎ	1.29倍
肥満	1.22倍
運動不足	1.15-1.19倍
高塩分食品	1.11-1.15倍
野菜不足	1.06倍

修復能の亢進

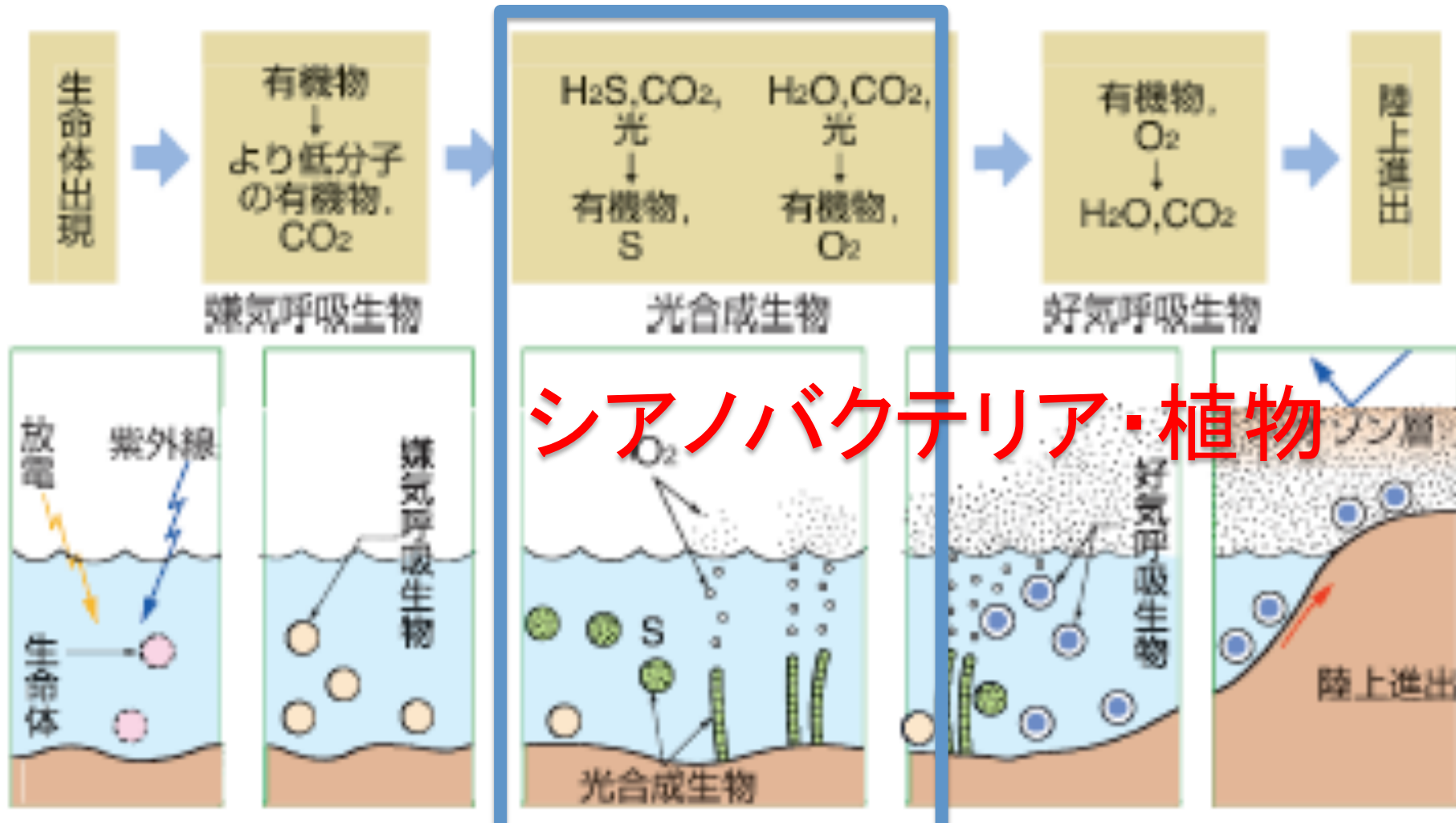
癌細胞の細胞死誘導

NK細胞の能力亢進

日常生活と放射線(単位:mSv(ミリシーベルト))



光合成によって酸素が生まれた



シアノバクテリア・植物

遅れて、天然の遮蔽板ともいえるオゾン層も生まれた

地球と生命の歴史

- 地球の誕生 46億年
- 最初の生命 38億年
- 大気に酸素 20~10億年
オゾン層もできる, CO₂も減る
- 地上に生物 5~6億年

植物、シアノバクテリアが地球環境を変えてきた

地球環境を左右するヒトの誕生 15万年前

産業革命からどの位の時間か？

自然界から年間数ミリシーベルトの放射線を浴びている

宇宙から 0.3

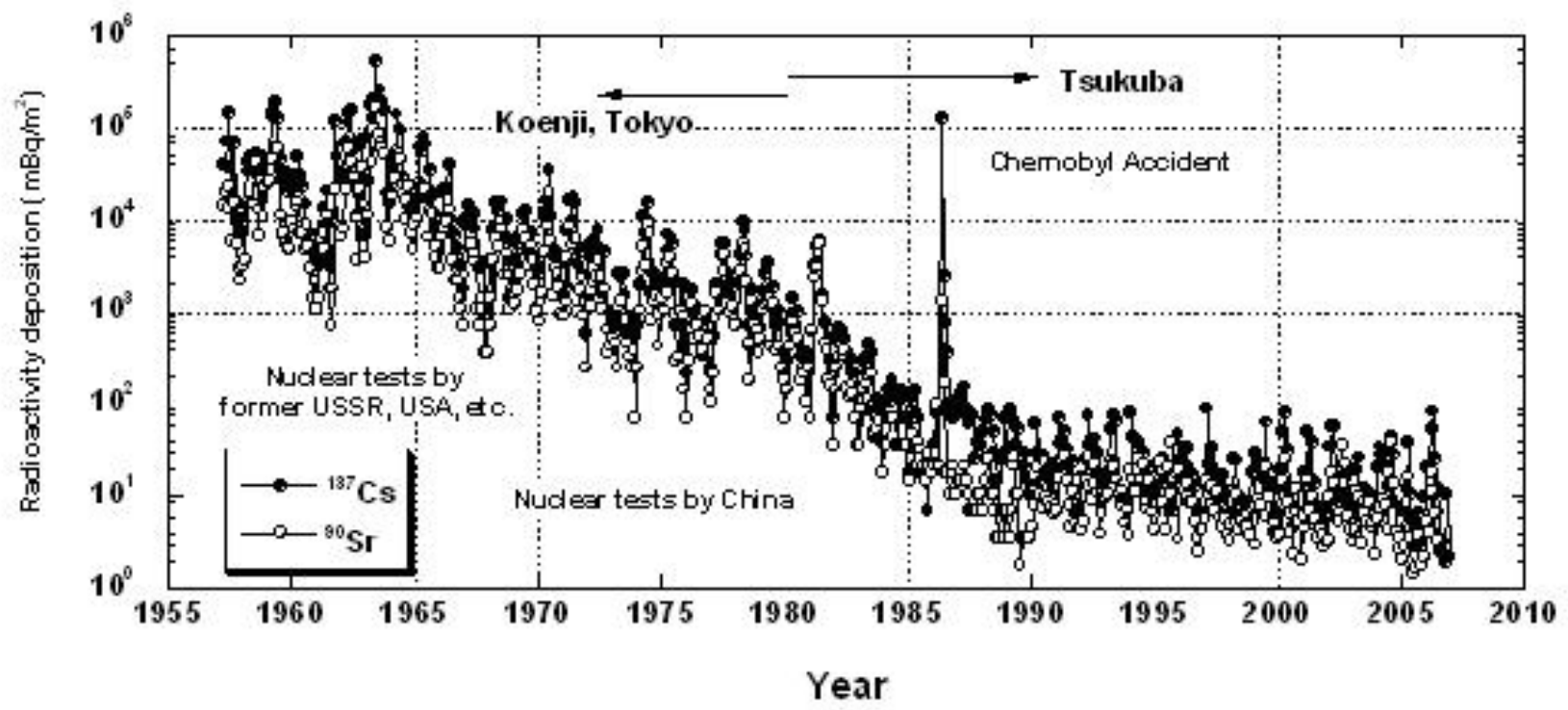
食物から 0.4

呼吸から 0.4

大地から 0.4

年間 約 1.5 mSV

現在の放射能レベルについての考察



^{40}K などは自然にもとから食品に
含まれている

食品には従来から自然に
ある程度放射能が含まれている
われわれ人体にももともと

4000 Bq / body

今の放射能レベルをどうとらえるか

Hiroshima A-bomb

Nagasaki A-bomb 負の遺産

高線量被爆なので参考になりにくい

Chernobyl 負の遺産

骨髄腫は予想より少ない

小児性甲状腺癌は平均より高い

喫煙、飲酒のほうが発がんリスクをあげる

外で運動せず、野菜を食べずによるマイナス面も

＜食品衛生法に基づく飲食物に関する暫定規制値について＞

この暫定規制値を上回る食品について、食用に供されることがないよう販売その他について措置されることとなります。暫定規制値のうち、放射性ヨウ素と放射性セシウムに関する暫定規制値は以下のとおりです。

濃縮も考慮されている

対象	放射性ヨウ素(混合核種の代表核種: ¹³¹ I)
飲料水	300Bq/Kg
牛乳・乳製品(注)	
野菜類(根菜、芋類を除く。)	2000Bq/Kg
魚介類	

(注)100Bq/kg を超えるものは、乳児用調製粉乳及び直接飲用に供する乳に使用しないよう指導すること

対象	放射性セシウム
飲料水	200Bq/Kg
牛乳・乳製品	
野菜類	500Bq/Kg
穀類	
肉・卵・魚・その他	

単位の違い

マイクロシーベルト と マイクロシーベルト/時



μSv

積算放射線量



$\mu\text{Sv} / \text{h}$

単位時間あたりの放射線量

低線量被爆による影響

生活環境、食品による影響を考えるのはこちら

具体的には新聞に出たデータで見てもみよう

表示桁の違い

マイクロシーベルト と ミリシーベルト

$$1 \text{ mSv} = 1000 \text{ } \mu\text{Sv}$$

シーベルト と ミリシーベルト

$$1 \text{ Sv} = 1000 \text{ mSv}$$

東京にいるとしての議論

Fukushima Daiichiから

筑波	170 km
東京	240 km

原発からの放射線が直接飛んでいるわけではない
Fallout (放射性降下物) によるもの