

東京大学理学部

Radiation Safety Course, School of Science, University of Tokyo

放射線取扱者講習会 (一般講習会)

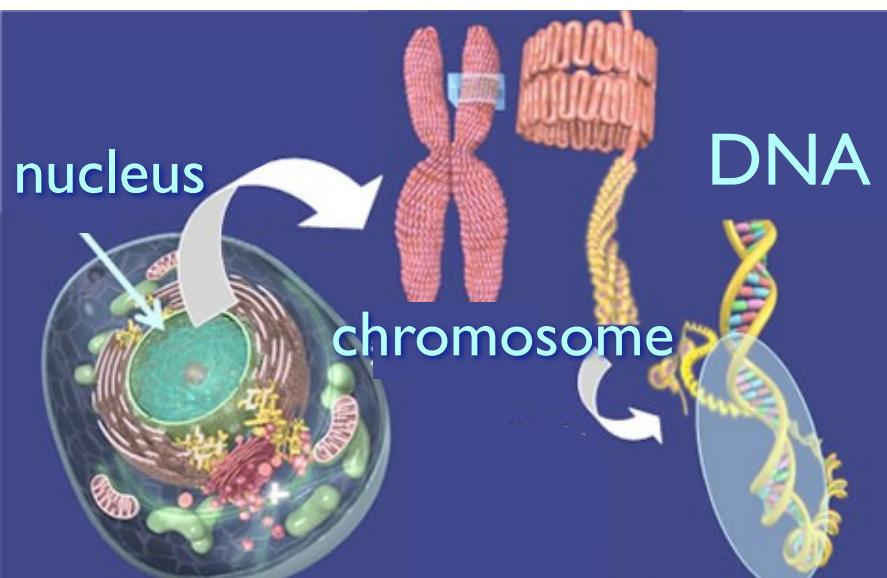
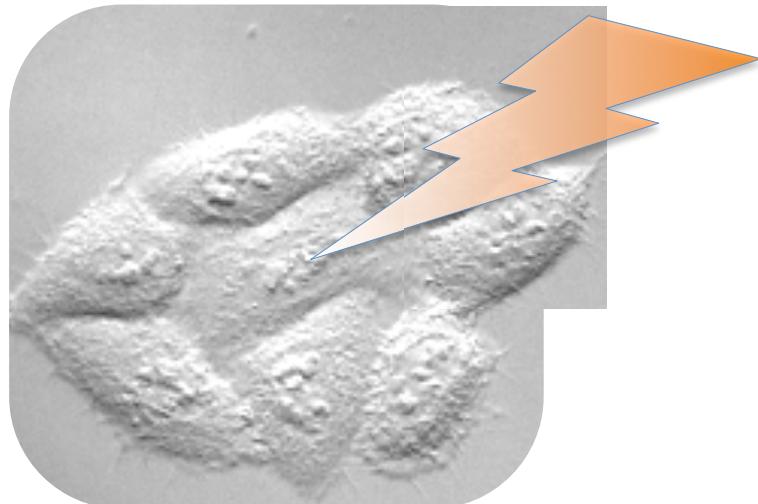
放射線の人体への影響

Biological Effects of Radiation to Human Body

2020年度 前期

Spring–Summer 2020

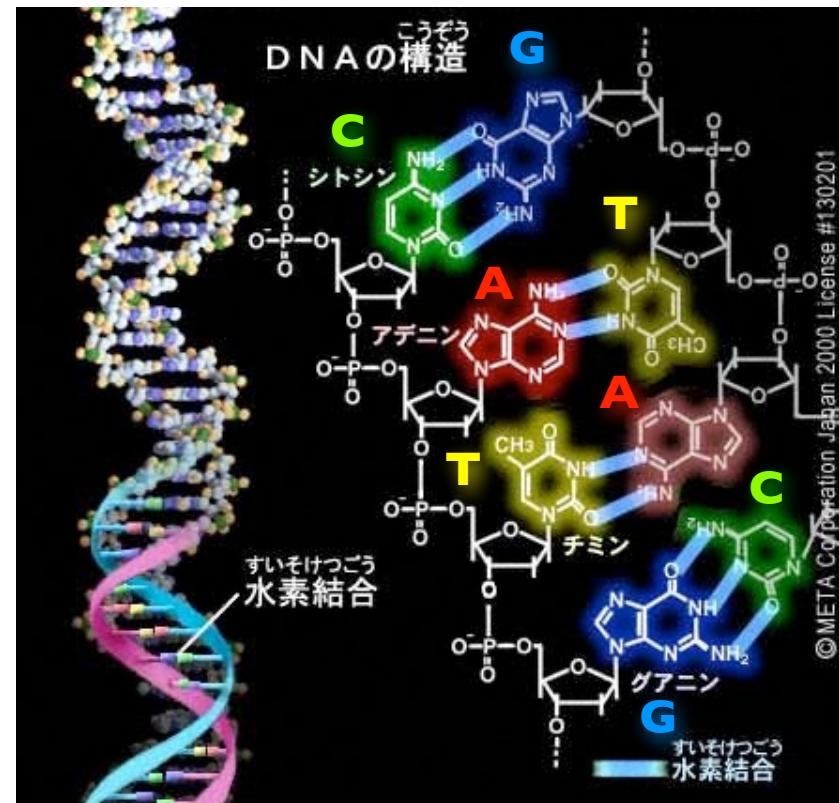
irradiation to cell nuclei



cell (60 Tera) part of them are genes

図1 核、染色体、遺伝子

DNA

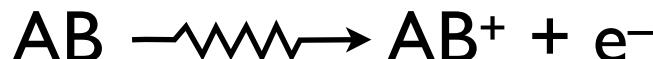


出典：IPA「教育用画像素材集サイト」 <http://www2.edu.ipa.go.jp/gz/>



Elementary reactions induced by radiation

(selected)



ionization



excitation



recombination

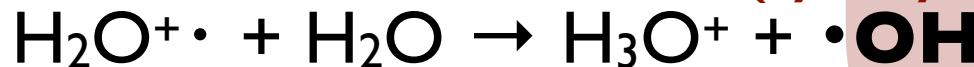


formation of radicals

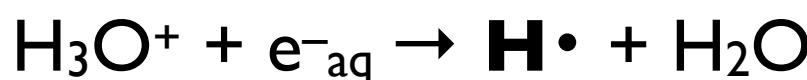
Reactions in water



(hydroxyl radical)



(hydrated electron)



(hydrogen radical)

oxygen effect



(hydroperoxyl radical)



(superoxide anion)

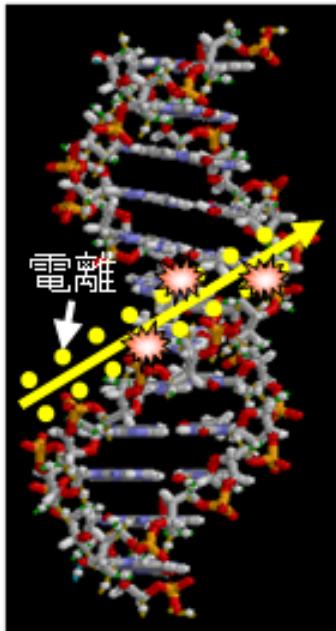


(hydrogen peroxide)

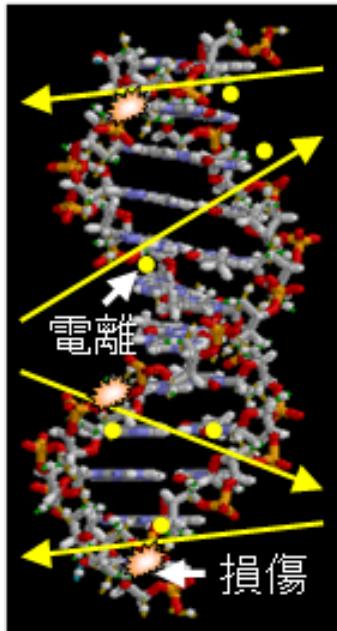
(active oxygen)

DNA damages due to radiation

radicals
(active oxygen)



重イオン
heavy ions



電子
electrons

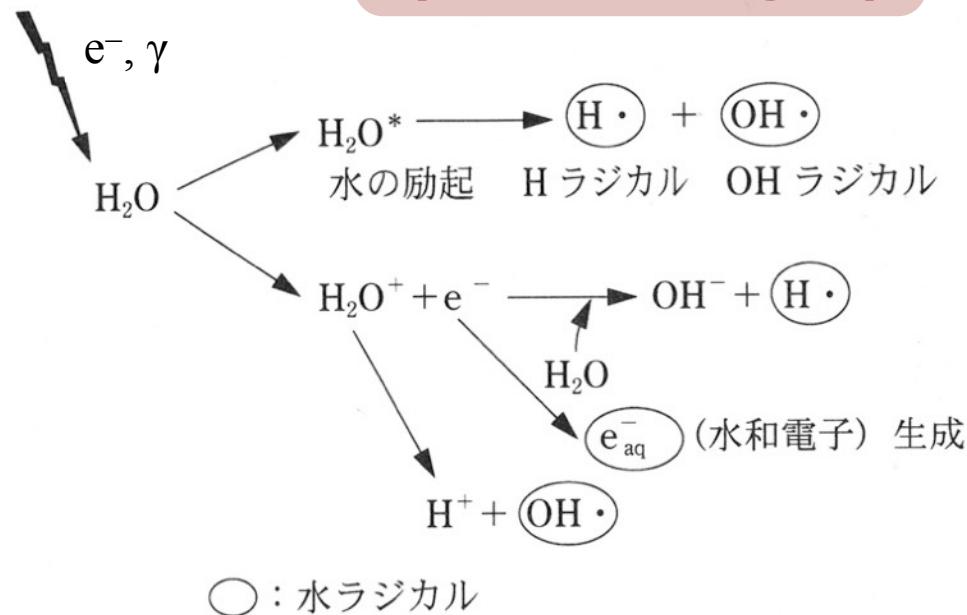


図 6・5 電離放射線による水分子の電離と励起の概略
(書籍「図解 放射性同位元素等取扱者必携」オーム社、より引用)

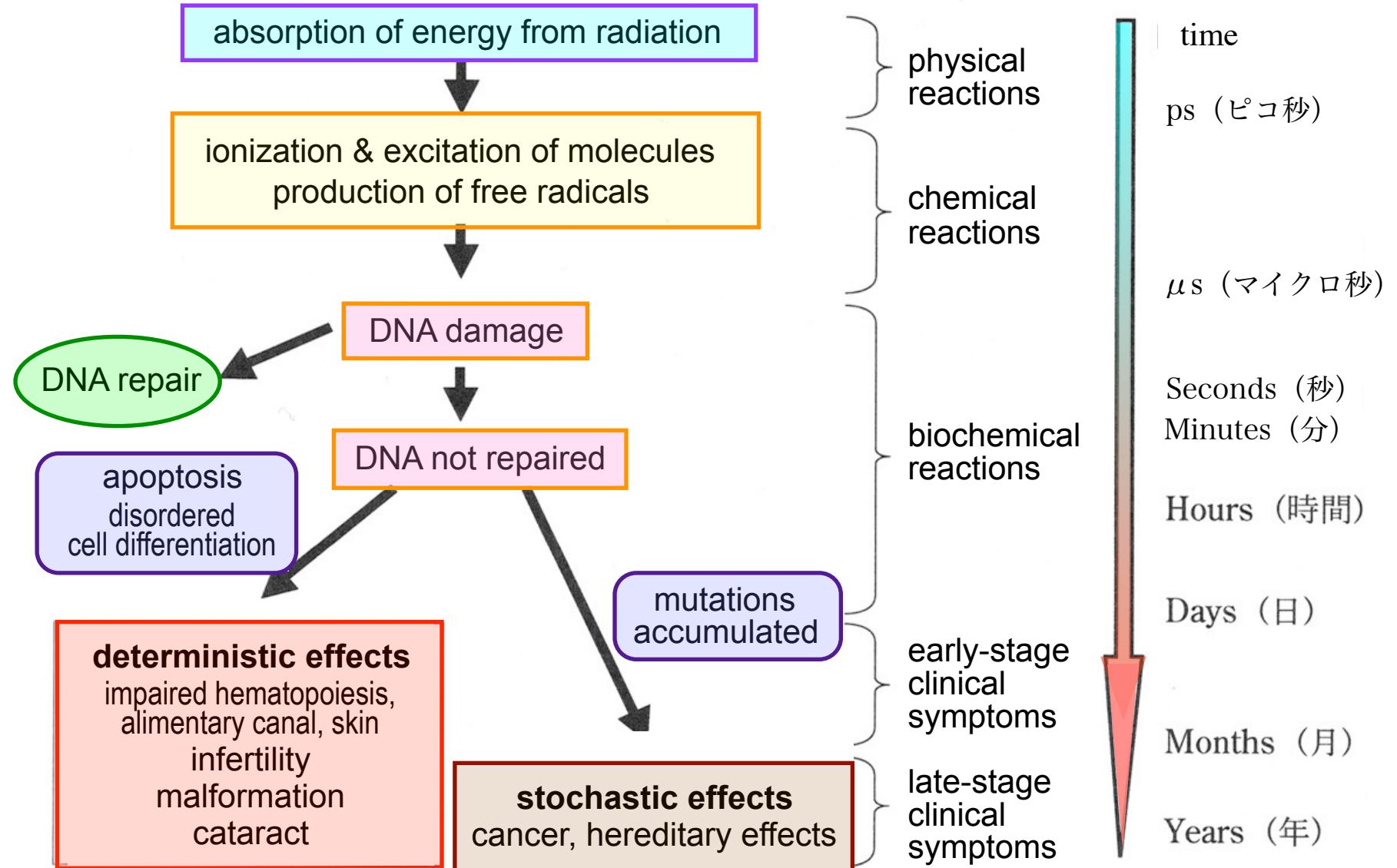
LET : Linear Energy Transfer

Direct effect : direct attack of charged particles to DNA molecules

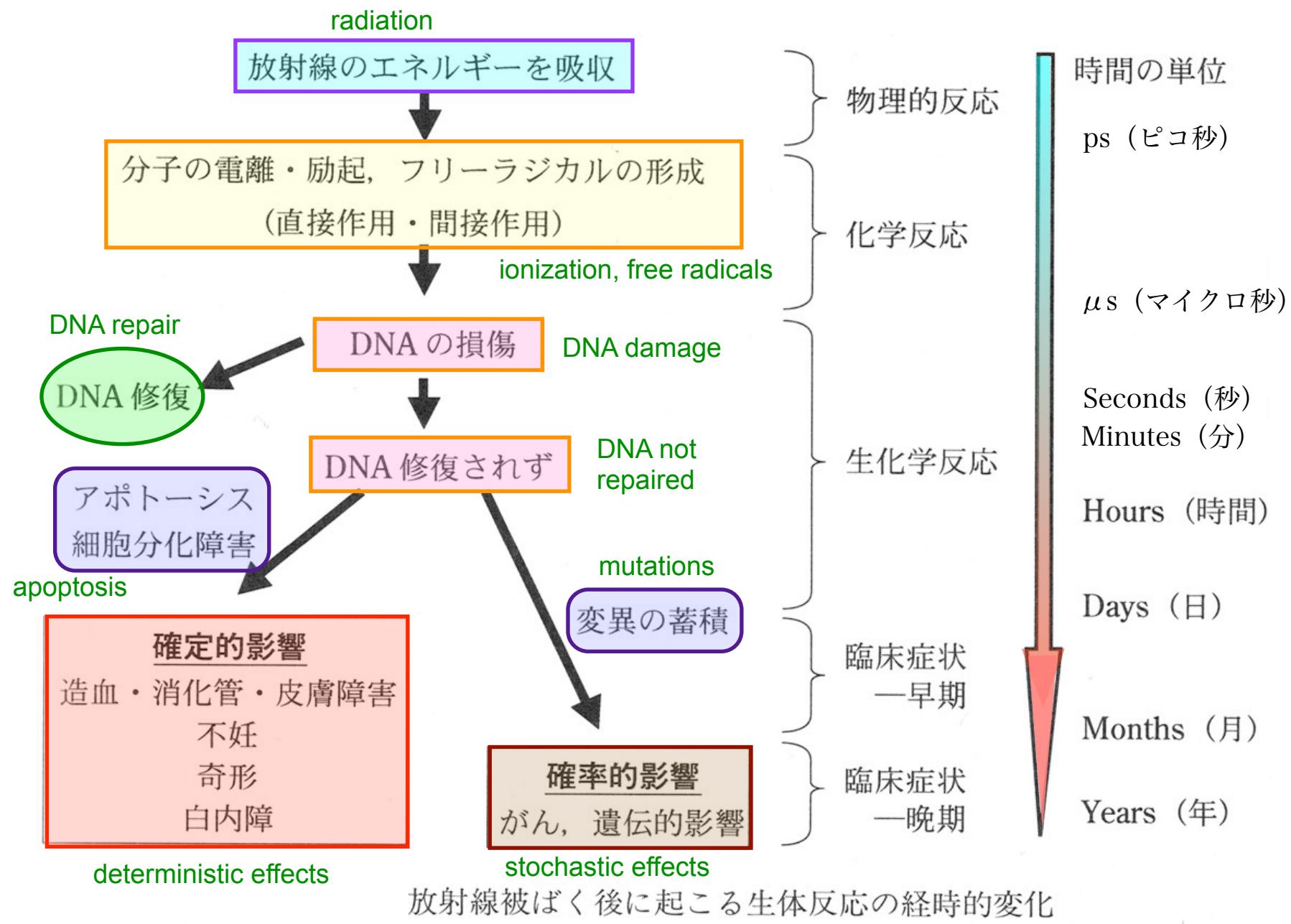
high-LET radiation
 α -ray

Indirect effect : attack to DNA molecules by radicals from ionization of water

low-LET radiation
 β -ray, γ -ray



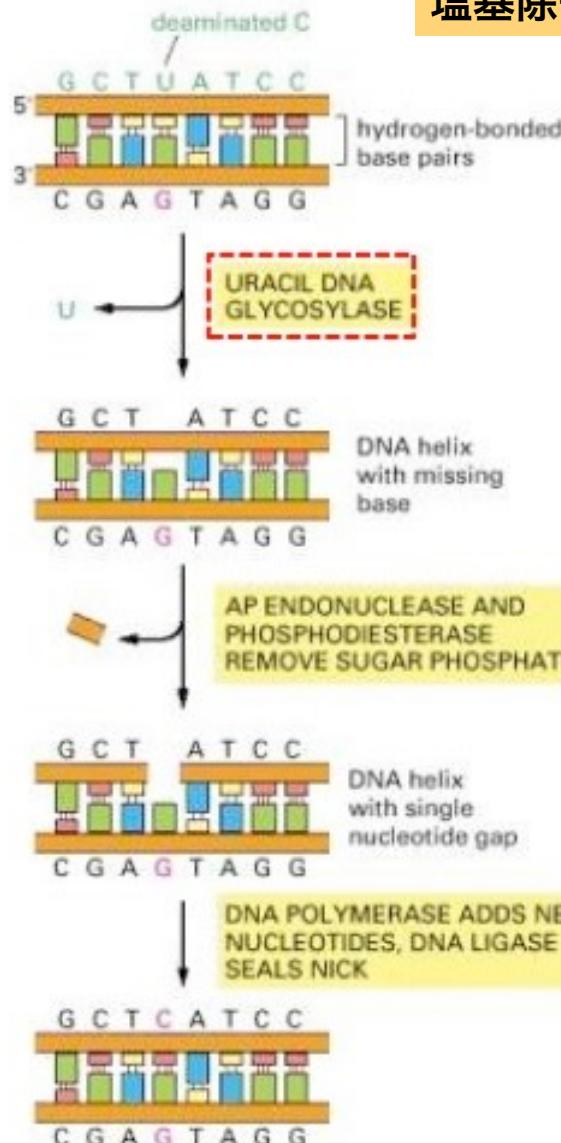
Chronological changes of vital reactions after exposure to radiation.



DNA repair

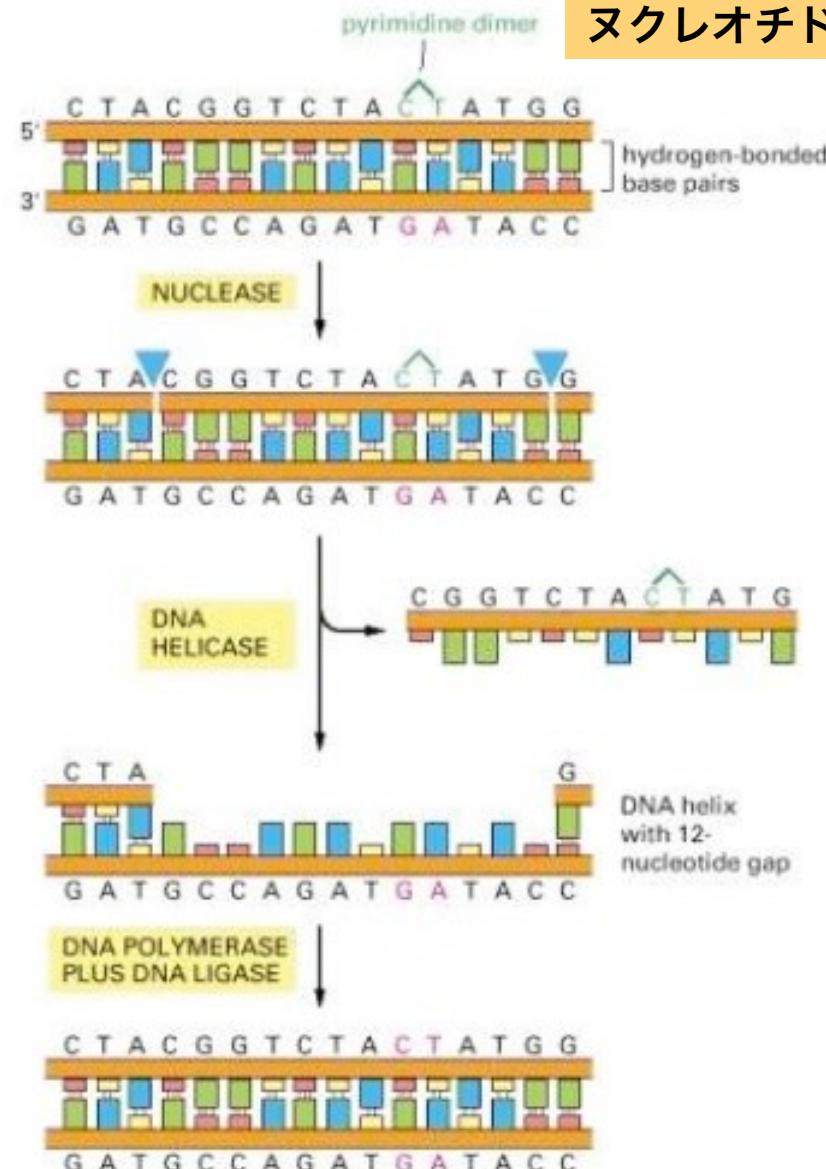
Base excision repair

塩基除去修復



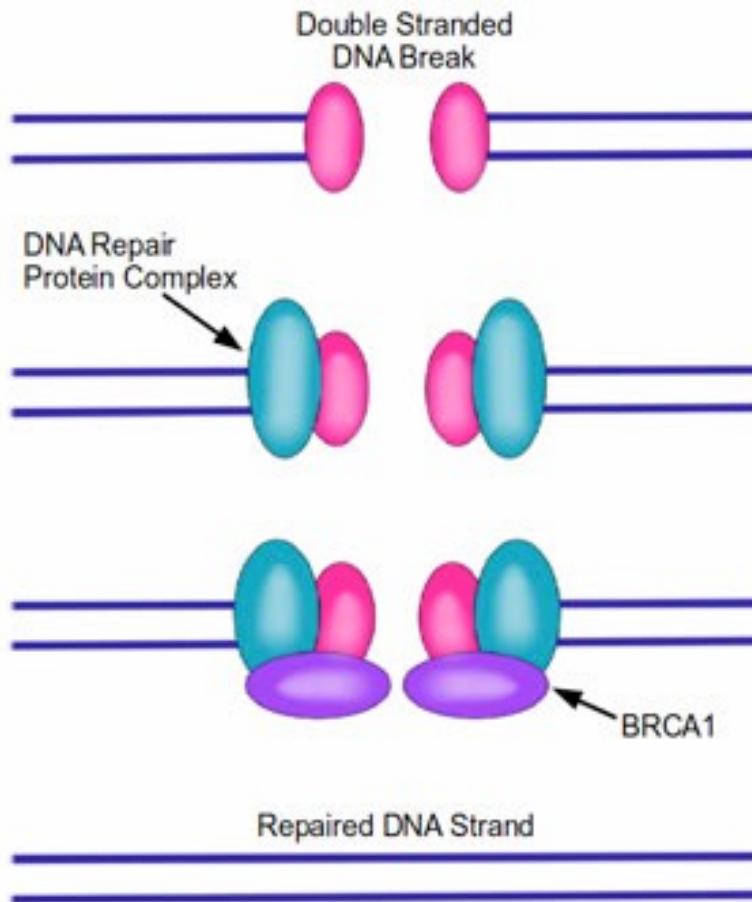
Nucleotide excision repair

ヌクレオチド除去修復

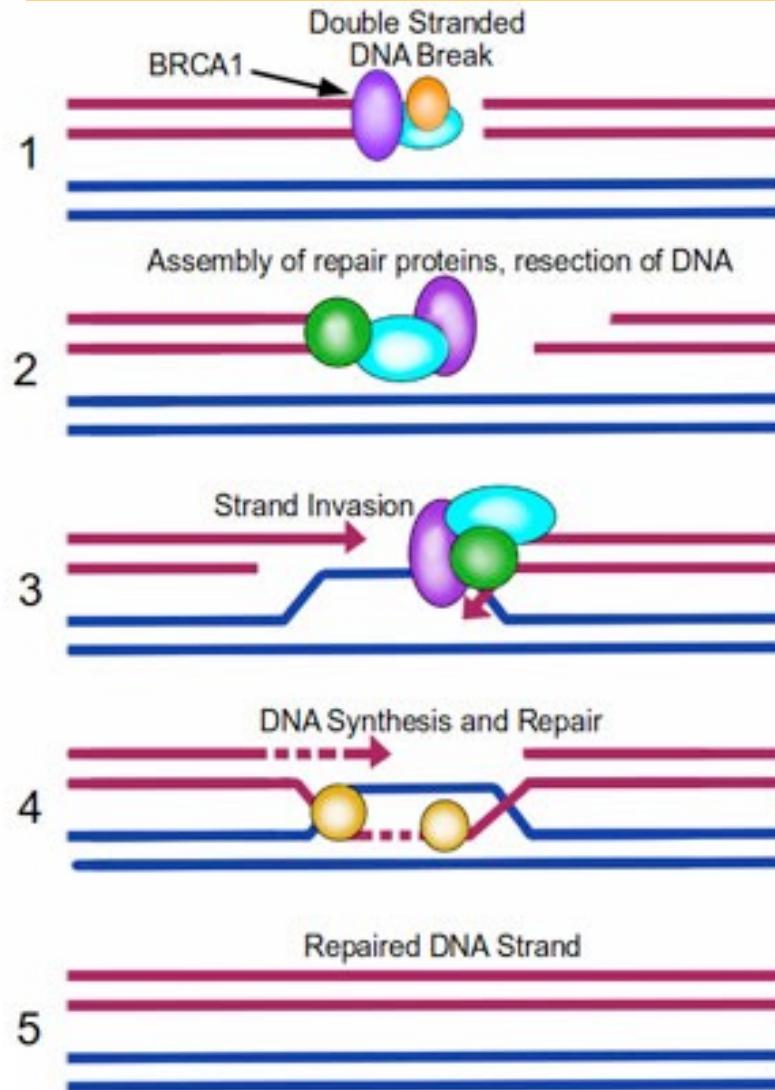


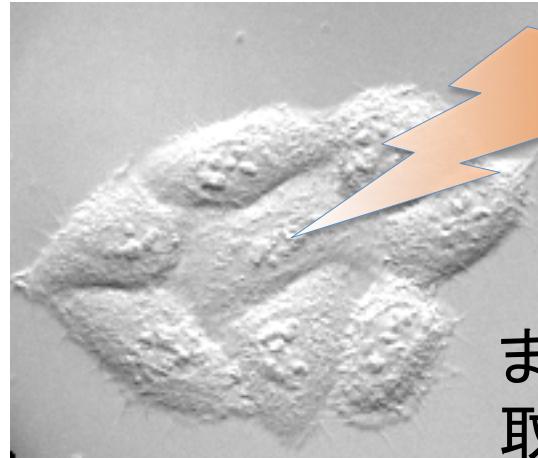
DNA repair for double-strand breaking

Non-homologous End Joining 非相同末端結合修復



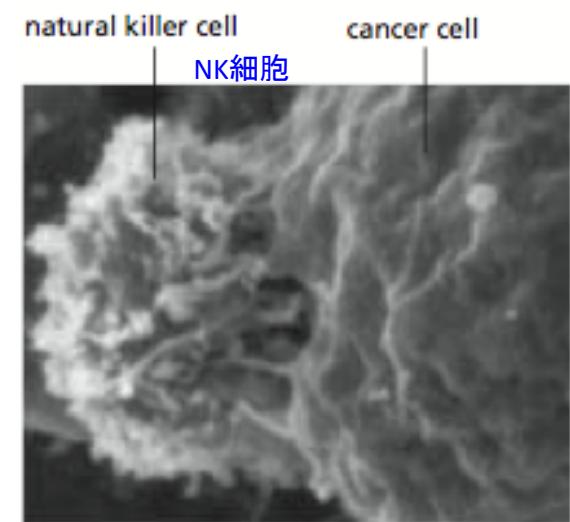
Homologous Recombination DNA Repair 相同組み換え修復





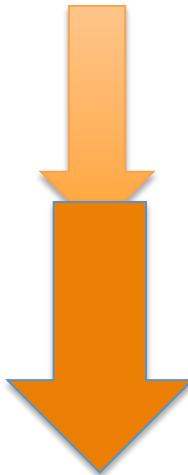
Very rarely removal of damages in the DNA fails and the damages can remain.

まれにDNA分子の傷が取り除けずに残ってしまう



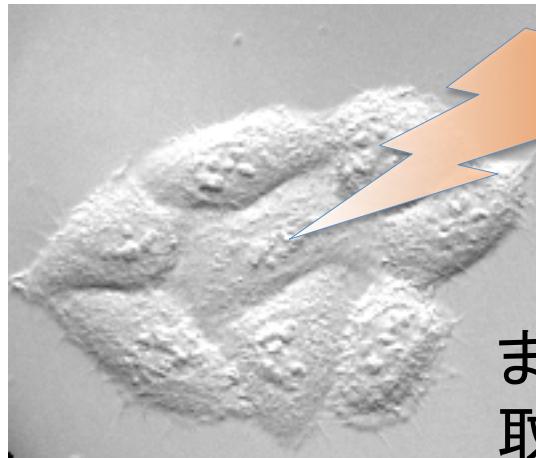
(failure to repair DNA)
修復の失敗

p53 gene
Apoptosis (programmed cell death)
細胞死も起こらない fails to work.



自然免疫系にとらえられる

captured by the natural immune system



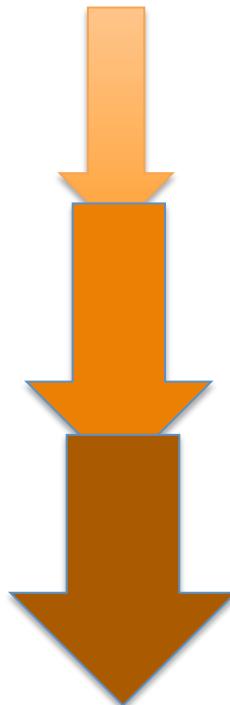
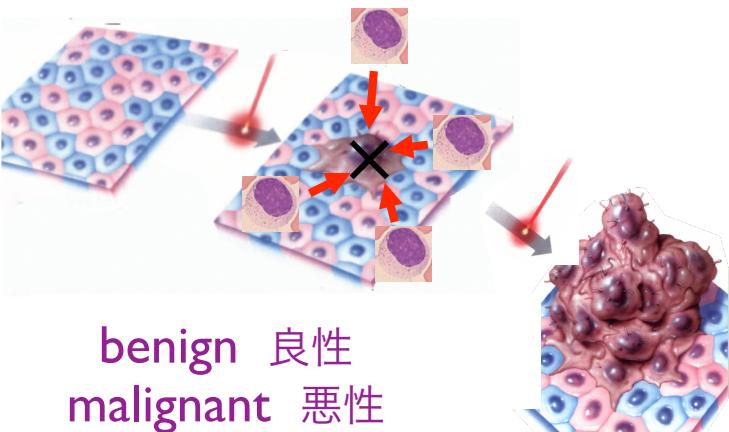
Very rarely removal of damages in the DNA fails and the damages can remain.

まれにDNA分子の傷が取り除けずに残ってしまう

(failure to repair DNA)
修復の失敗

p53 gene
Apoptosis (programmed cell death)
細胞死も起こらない fails to work.

Natural Killer cell fails to capture
NK細胞も取り逃がした those
(自然免疫系) abnormal cells.
(natural immune system)



がん細胞が残ってしまう

One or some cancer cell(s) remain(s) by chance.

放射線被曝の確定的影響

Deterministic effects of radiation exposure

線量閾値あり

with threshold

| 細胞再生系 | 造血組織 | 腸上皮 | 皮膚 | 精巣 | 水晶体 |
|---|--------------------------------------|--------------------------|----------------------------|---------------------|------------------------------------|
| 細胞再生系 幹細胞 幹細胞 芽細胞 (分裂) 機能細胞 (老化) 老熟細胞 (死滅) | 幹細胞 リンパ 桢球 好中性球 赤血球 球(血小板) | 腸上皮 腺窩(幹細胞) 綿毛 | 皮膚 基底細胞(幹細胞) 角質層 | 精巣 幹細胞 精子 | 水晶体 上皮(幹細胞) 水晶体纖維 赤道部 |
| 正常な分化過程 | 4 4 4 4日 | 2日 | 2週間 | 3-4週間 | 1/2-3年 |
| 正常な成熟過程 | 1 7-10 7 100日 | 2日 | | 7-8週間 | |
| 照射による変化 | 免疫力低力 血液凝固時間延長 | 絨毛の短縮と喪失、出血、下痢 | 紅斑、萎縮、潰瘍 | 一時的または永久不妊 | 白内障 |

図1 細胞再生系

(造血組織、腸上皮、皮膚、精巣、水晶体の分化、成熟過程による変化)

[出典]吉井義一:放射線生物学概論[第2版](1922)

Radiation effects to human body

deterministic effects 確定的影響

Radiation causes impediment or disorder of cells and tissues.

Only at high dose (with **threshold**). no effect below **150 mSv**

Criticality of the disease depend on the dose.

(generative cell) **150 – 6000 mSv**

Accute effect : impaired hematopoiesis, alimentary canal, infertility etc.

late effect : cataract. **500 – 5000 mSv** 急性影響：造血障害、消化管障害、不妊（生殖細胞）など
晚発性影響：白内障

Death : half population killed at **4 Gy**, all killed at **7 Gy** (acute exposure).

急性被曝

stochastic effects 確率的影響

Caused by DNA damage of cells due to raditaion.

Most of the damages are repaired, but failure of repair can result in cancer after a long period of time.

The **probability** increases with dose. (**No threshold** is assumed.)

Criticality of the disease is not related with the dose.

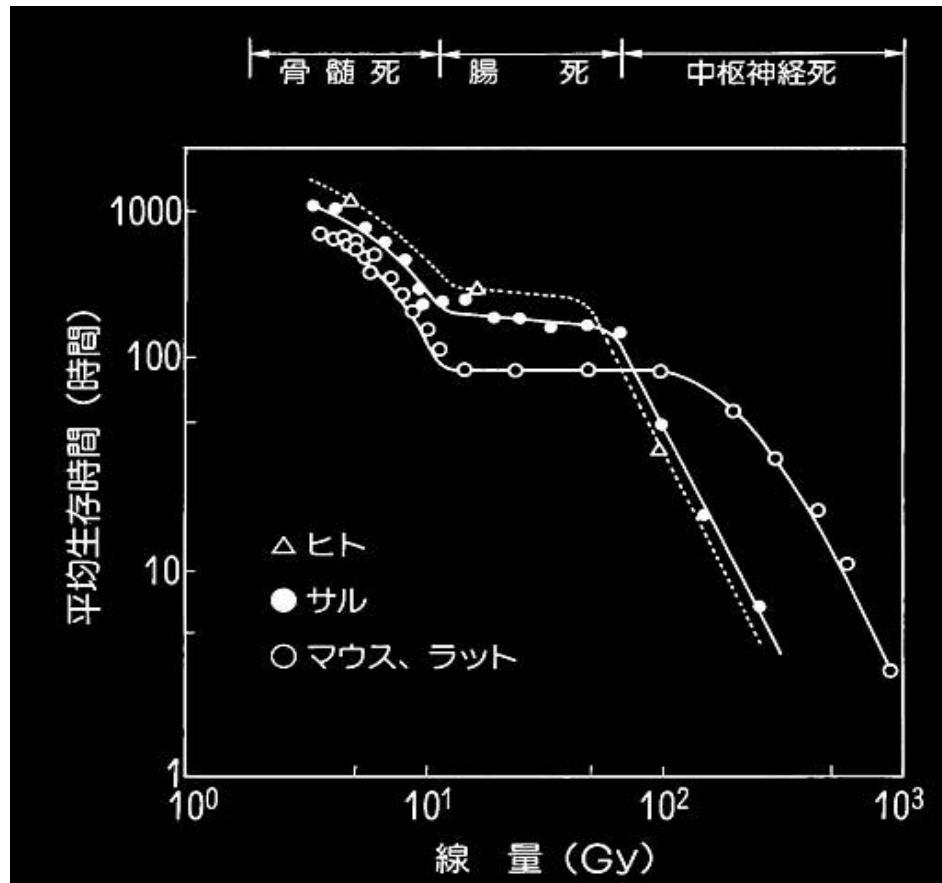
late effect : **cancer** and hereditary effects for germ cells.

(not observed for human) 遺伝的影響はヒトでは観察されていない。

急性放射線障害

Acute radiation syndrome : Death by full-body exposure

全身被曝による死亡



death with impaired hematopoiesis (bone marrow)

骨髓死 4 Gy

death with alimentary canal problem

腸管死 10 Gy

death with problems in the central nervous system

中枢神経死 20 – 100 Gy以上

Accident at JCO company in Tokai-mura village

東海村 JCO 事故

Firemen at Chernobyl NPP Accident

チェルノブイリの消防隊員

Atomic Bomb

原爆

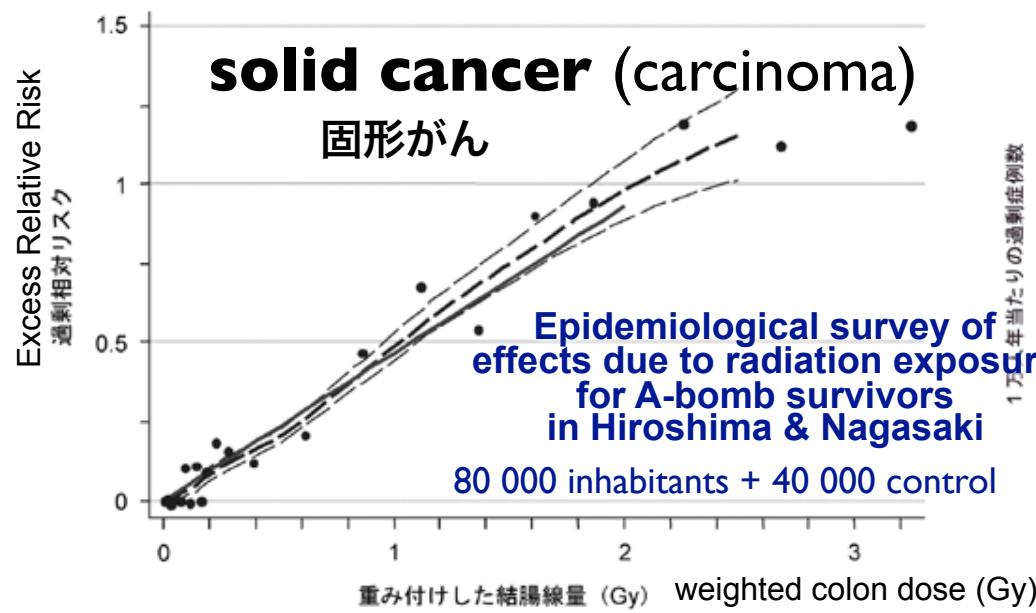


図 LSS (寿命調査) 集団における固体がん発生の過剰相対リスク（線量別）1958–1998年。
太い実線は、被爆時年齢30歳の人が70歳に達した場合に当てはめた、男女平均過剰相対リスク
(ERR) の線形線量反応を示す。太い破線は、線量区分別リスクを平滑化したノンパラメトリックな
推定値であり、細い破線はこの平滑化推定値の上下1標準誤差を示す。

表. LSS集団における固体がん発生のリスク（線量別）、1958–1998年

| 重み付けした 結腸線量 (Gy) | 対象者数 | がん | | 寄与率 |
|---------------------|--------|-------|-------|-------|
| | | 観察数 | 推定過剰数 | |
| 0.005 - 0.1 | 27,789 | 4,406 | 81 | 1.8% |
| 0.1 - 0.2 | 5,527 | 946 | 75 | 7.6% |
| 0.2 - 0.5 | 5,935 | 1,144 | 179 | 15.7% |
| 0.5 - 1.0 | 3,173 | 688 | 206 | 29.5% |
| 1.0 - 2.0 | 1,647 | 460 | 196 | 44.2% |
| >2.0 | 564 | 185 | 111 | 61.0% |
| 合 計 | 44,635 | 7,851 | 848 | 10.7% |

(財) 放射線影響研究所 データ

It is very difficult to deduce decisive conclusions about the effects of low-dose exposure from the result of the epidemiological survey, due to statistical uncertainties.

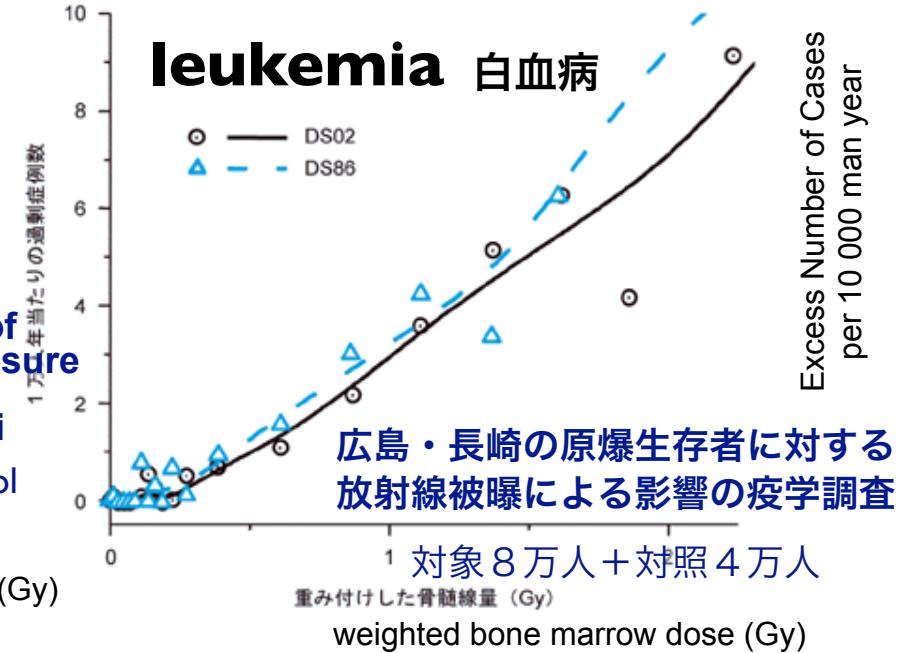


図. DS02とDS86による白血病のノンパラメトリックな線量反応、1950–2000年。
被爆時年齢20–39歳の人の1970年における男女平均リスク。

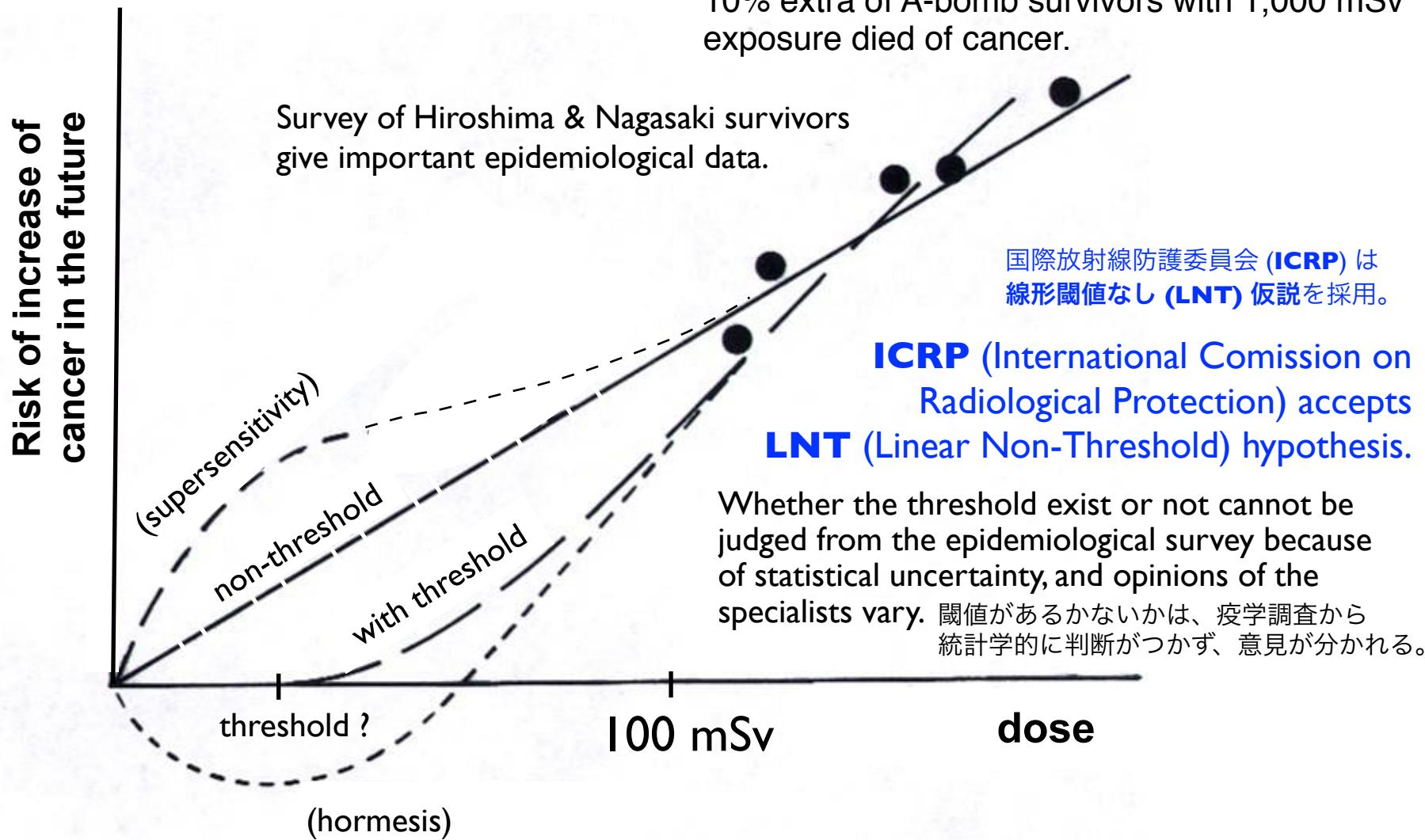
表. LSS集団における白血病による死亡の観察数と推定過剰数、1950–2000年

| 重み付けした 骨髄線量 (Gy) | 対象者数 | 死亡 | | 寄与率 |
|---------------------|--------|-----|-------|------|
| | | 観察数 | 推定過剰数 | |
| 0.005 - 0.1 | 30,387 | 69 | 4 | 6% |
| 0.1 - 0.2 | 5,841 | 14 | 5 | 36% |
| 0.2 - 0.5 | 6,304 | 27 | 10 | 37% |
| 0.5 - 1.0 | 3,963 | 30 | 19 | 63% |
| 1.0 - 2.0 | 1,972 | 39 | 28 | 72% |
| >2.0 | 737 | 25 | 28 | 100% |
| 合 計 | 49,204 | 204 | 94 | 46% |

Risk assessment for effects of low-dose radiation

原子爆弾などにより1,000mSvを被ばくした人全員のうち、10%の人が被曝を原因とするがんで死亡している。

10% extra of A-bomb survivors with 1,000 mSv exposure died of cancer.



Risk assessment for effects of low-dose radiation

原子爆弾などにより1,000mSvを被ばくした人全員のうち、10%の人が被曝を原因とするがんで死亡している。

10% extra of A-bomb survivors with 1,000 mSv exposure died of cancer.

