

# DNAリテラシー

—進化・突然変異育種・  
ゲノム編集作物・ガン—

# 1.DNAを知る 種が存在すること



生命誌研究館HPより転載

DNAは複製され子孫に受け継がれる

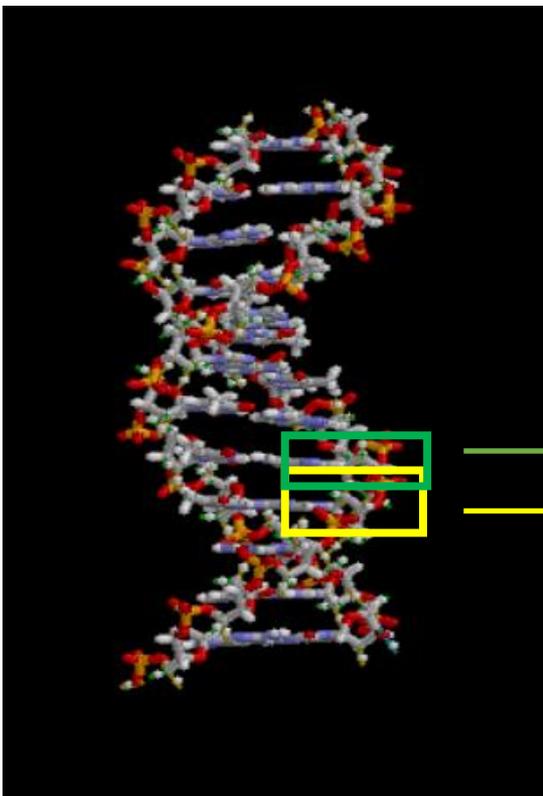


DNAの複製の確率の大小比較

正確な複製     $\gg$  変化  $\gg$     生き残れる変化

$10^{-7}$

新種登場には時間がかかる



出典  
ウィキペ  
ディア

デオキシヌクレオチド  
(持つ塩基で4種類)  
ヒト 30億×2組  
細菌 400万



## 4種類の文字でのたんぱく質の設計記録簿

DNAって何？

- フルネームはデオキシリボ核酸（化合物）
- ヒトの塩基対は30億×2組（60億文字相当）
- 4種類の塩基でどんなたんぱく質を作るかを指定

「DNAの予期せぬ化学反応」は「設計図のでたらめな変更」



DNAという化学物質で遺伝子が記録され、  
DNAが各種のタンパク質を作る指令を出す

生物の種や形態などはたんぱく質で決まる



**DNA**が生物の種や形態などを決める

# 細菌の一種の塩基配列の部分（全体は数百万）

ENA|MH492133|MH492133.1 Xanthomonas euvesicatoria strain A1715 chromosomal replication initiator protein (dnaA) gene, partial cds. : Location:1..718

CCTTGGCCAACGCCATCGCCACCTGGCGCGGGCGCGCCAGCGAGCGGGTGCGCCGCTTGG  
ACAGCAGGTCCTTCATCTGCAGGCCGTAGTAATCGGCCACGGTCTTCTGGATATTGGGAA  
TGCCGATCGCCTGTTGCTGGGCGCGCAGCAAATCGCGCAGCGTCTCCTGGGCAAATTCCA  
CCGTGATCGAGCGGCCGGT**GAA**AGTTGGCGCGCGCCACCAGGGTGTGAGCGCGCCTTCCA  
GGTCGCGCACGTTGGAGCGCATCTTCTTGGCGATCAGGAATGCCACGTGTCGCGGGAATTT  
CGGCGCCGCGCTCGC **GAA** グルタミン酸 iTCCGGCG  
GATCGATCGCCACCG. AGGCCCT  
CCACTTCGCGCGGGTAGCGGTGCGAGGTCAGGATGATCTGCTGGCGGCCATCGAACAGCG  
CGTTGAAGGTGTGGAAGAACTCTTCTGGGTGCGGTCTTGCCGGCGAAGAACTGGATGT  
CGTCGATCAGCAGCGCATCGATCTGCTGGAAGTGGCGCTTGAAGTGGTCCATCGCCTTGT  
CCTGCAGCGCCCGGATCATCGCGCTGAAGAACTGTTCCGAACGCAGGTACATCACCTTGG  
CGGCCGGATTGGCCTGACGCAGCGCATTGCCGGCCGCGAACATCAGGTGGGTCTTGCC



A,T,G,C の4文字で構成

出典：ENAのHP

3塩基でひとつのアミノ酸（たんぱく質の材料）を指定

## 4種類の塩基

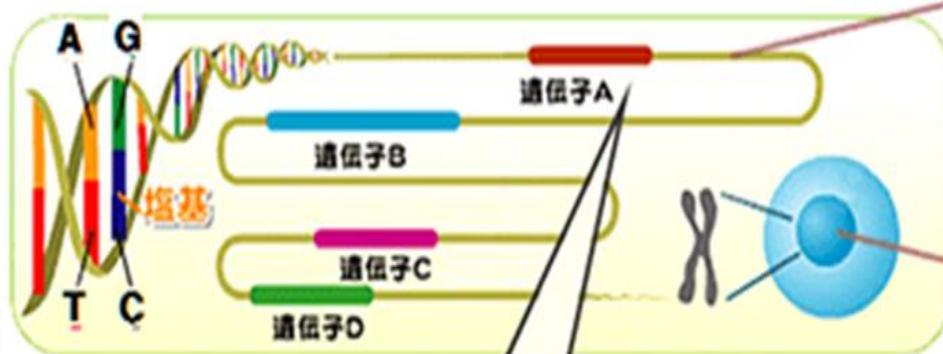
A (アデニン)

T (チミン)

G (グアニン)

C (シトシン)

の並び順が  
タンパク質の設計図

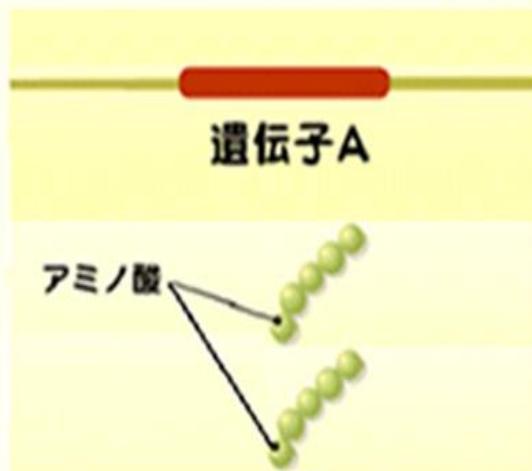


## DNA

太さ 0.000002ミリメートル  
髪の毛の40000分の1くらい

## 核

DNA がしまわれているところ



遺伝子の A、T、G、C の情報に従って、  
アミノ酸の種類、並び順が決まります。



アミノ酸が順番につながって、  
タンパク質ができます。

# 用語「DNA」の使い方

生物種の根幹を決める部分

1. 太古の昔に誕生した1種類の生物から多様な生物へと進化した（多様な生物＝多種類のDNA）
2. サルとヒトのDNAは1%しか違わない（ヒトが $2n=46$  チンパンジーが $2n=48$ なのに!?)
3. それぞれの生物種は、それぞれ同じDNAを持つ
4. ひとりのヒトが持つ37兆の細胞はみな同じDNAを持っている
5. 親と子は、よく似たDNAを持っているから似ている
6. 新型インフルエンザのRNAは変異をしたため以前のワクチンが効かない（ウイルスではDNAのかわりにRNAを使う種も多い）
7. がん細胞は、正常細胞と違うDNAを持っている

全DNA

特定の部分

# 細菌の一種の塩基配列の部分（全体は数百万）

ENA|MH492133|MH492133.1 Xanthomonas euvesicatoria strain A1715 chromosomal replication initiator protein (dnaA) gene, partial cds. : Location:1..718

```
CCTTGGCCAACGCCATCGCCACCTGGCGCGGGCGCGCCAGCGAGCGGGTGCGCCGCTTGG
ACAGCAGGTCCTTCATCTGCAGGCCGTAGTAATCGGCCACGGTCTTCTGGATATTGGGAA
TGCCGATCGCCTGTTGCTGGGCGCGCAGCAAATCGCGCAGCGTCTCCTGGGCAAATTCCA
CCGTGATCGAGCGGCCGGTGAAGTTGGCGCGCGCCACCAGGGTGTTGAGCGCGCCTTCCA
GGTCGCGCACGTTGC
CGGCGCCGCGCTCGC GAA   グルタミン酸   ;GAATTT
GATCGATCGCCACCG. AAG   リシン           ;TCCGGCG
CCACTTCGCGCGGGT AAG   リシン           AGGCCCT
CGTTGAAGGTGTGG/ AGT   セリン           ;ACAGCG
CGTCGATCAGCAGCG AGT   セリン           TGGATGT
CCTGAGCGCCCGGATCATCGCGCTGAAGAACTGTTCCGAACGCAGGTACATCACCTTGG
CGGCCGGATTGGCCTGACGCAGCGCATTGCCGGCCGCGAACATCAGGTGGGTCTTGCC
```



出典：ENAのHP

3塩基でひとつのアミノ酸 → どこから読むかで情報が変わる

DNAに  
プログラム  
外の化学反応が  
起こった  
ら

## 塩基が1つ2つ欠けたら

- 下流のアミノ酸の指定が無意味
- 生存に不利

## 塩基の入替

- 必要なアミノ酸ができない
- 生存に不利

## (3 n) 塩基の挿入

- 既存のシステムに攪乱を起こす
- 生存に不利

# DNAの変化はほとんどが生存に不利

複製ミスは  
1細胞で数千/日

•ヒトの細胞は37兆

ほとんどが  
修復成功

•ヒトは複数の修復  
機構を持っている

修復を失敗したら  
アポトーシス

ごく一部が  
共存する

生物が細胞の  
寿命を大きく  
超えて生きて  
いることは、  
遺伝子の複製  
が成功してい  
ることを示唆  
している

# DNAの複製の特徴

DNAの複製はプログラムされた一連の化学反応

- ①生物種が存在するという事は
- ②進化にかかる時間が長大ということは



- ①DNAの複製はほとんど完全
- ②複製ミスが生存することはとてもまれ

# 「命の設計図 DNAを知る」 まとめ

- DNAは化学物質である
- DNAは4種類の塩基の配列で情報を記録している
- DNAがプログラムされていない化学反応をすると情報が変わり、生存に不利になるのが普通
- 種が存在するのは、DNAの強力な修復システムとアポトーシスのシステムで、ほとんど完全な複製が成功しているから

# 2 DNAを知る 進化・品種改良

## 進化

DNAが変化して、  
自然の状態ですべての世代  
交代できる場合

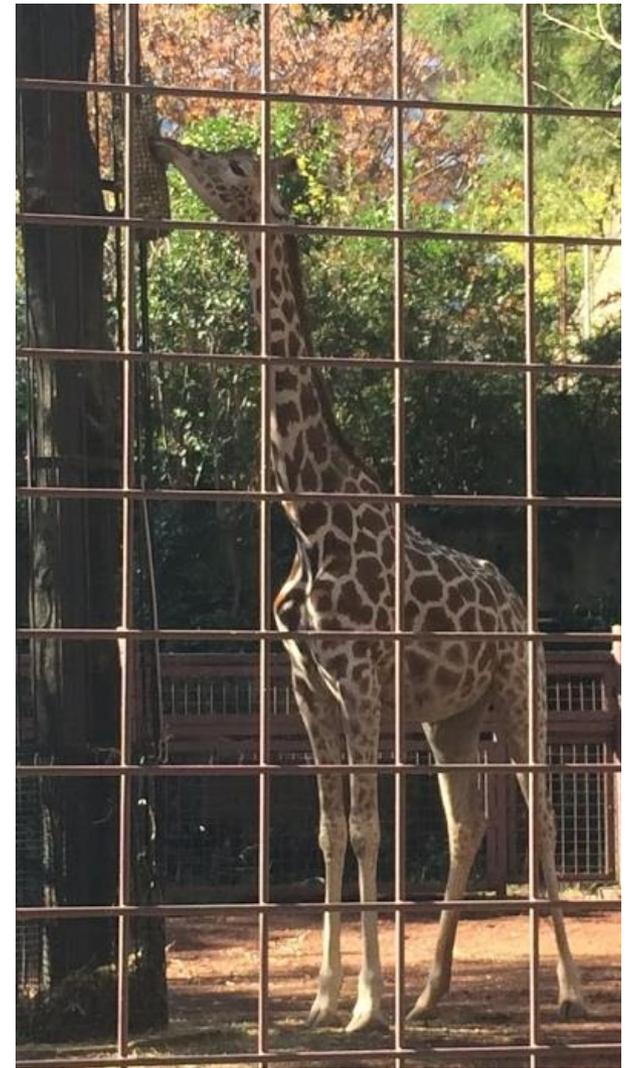
## 品種改良

人間にとって有用な  
生き物を作る  
(DNAを変化させる) 場合  
世代交代は問わない

羊は古代メソポタミア (BC7000から6000) から家畜化 (品種改良)。品種改良は100年単位  
放射線育種は1958年から実績あり (日本)。

# 共通祖先から進化

キリン  
と  
オカピ



上野動物園で

首が長くなる変化と循環器系の変化が同時に起こる偶然が必要？

# 遺伝情報の変更 → DNAの化学反応

ランダムに引き算  
(特定の機能を壊す)

- 放射線・化学物質
- 発がん物質
- 自然でも起こる現象の確率を上げる
- ゴールド20世紀など
- 成功例は多くない

放射線育種

特定の場所で引き算 (特定の機能を壊す；特定位置を酵素で切断)

- ゲノム編集 (大学の研究室でできる)
- 自然でも起こる現象を自然より非常に高い確率で起こす
- 肉厚真鯛、ソラニンのないジャガイモなど

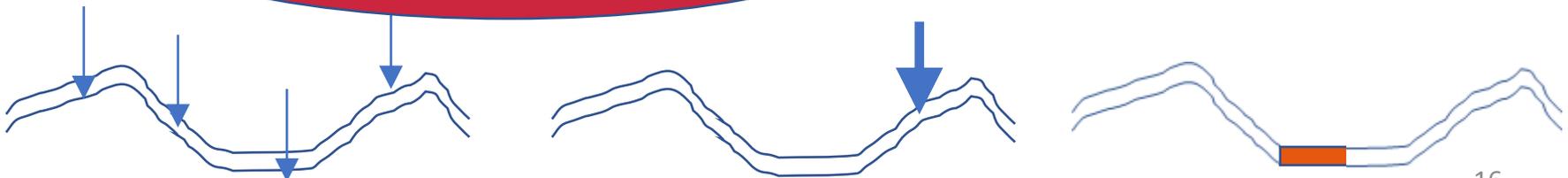
ゲノム編集

足し算

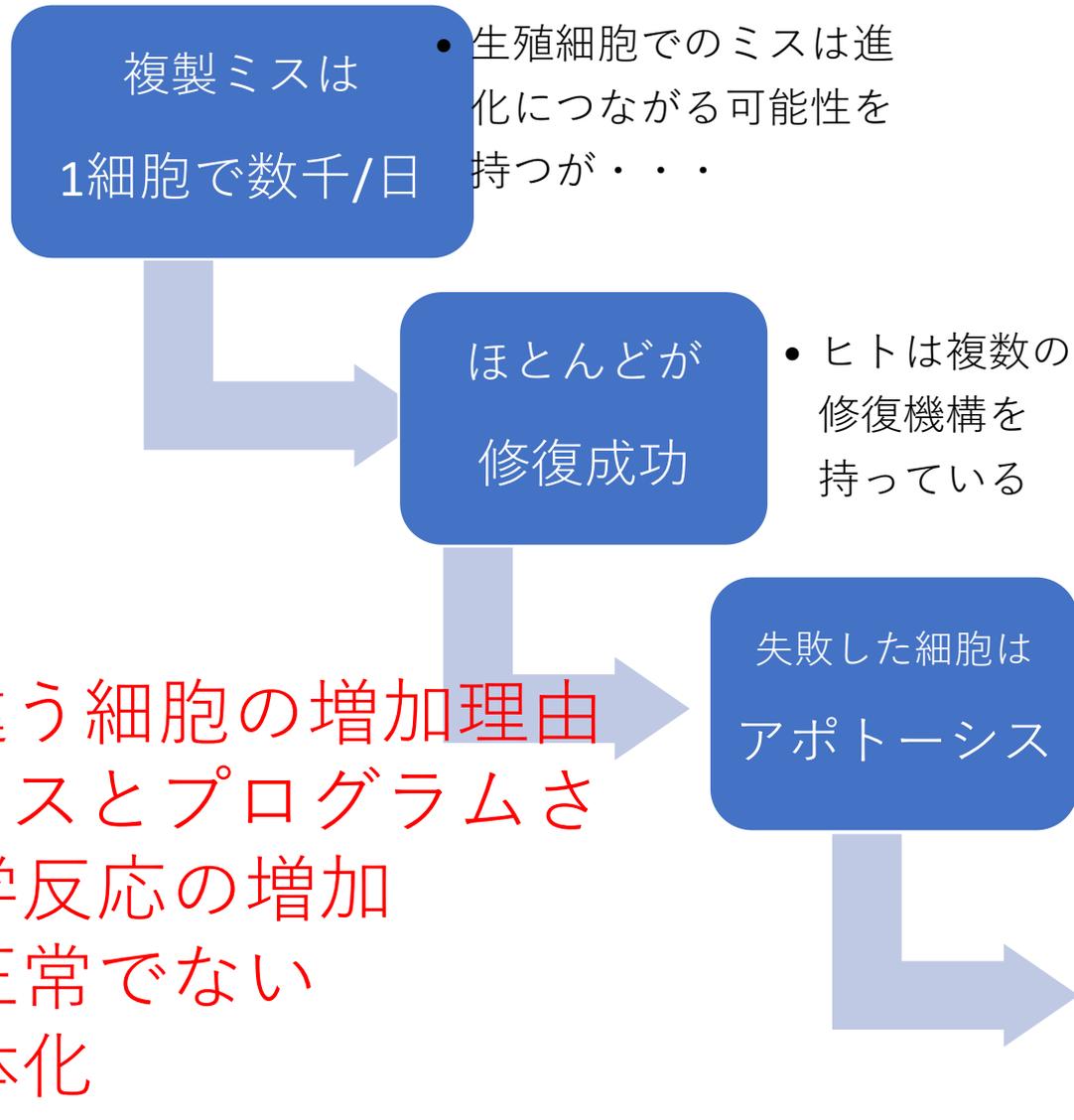
- 余分な情報も入るかも
- 自然には起こらない
- 農薬耐性作物、収量の多い作物など

遺伝子組換え

持っていた機能を壊すのみ



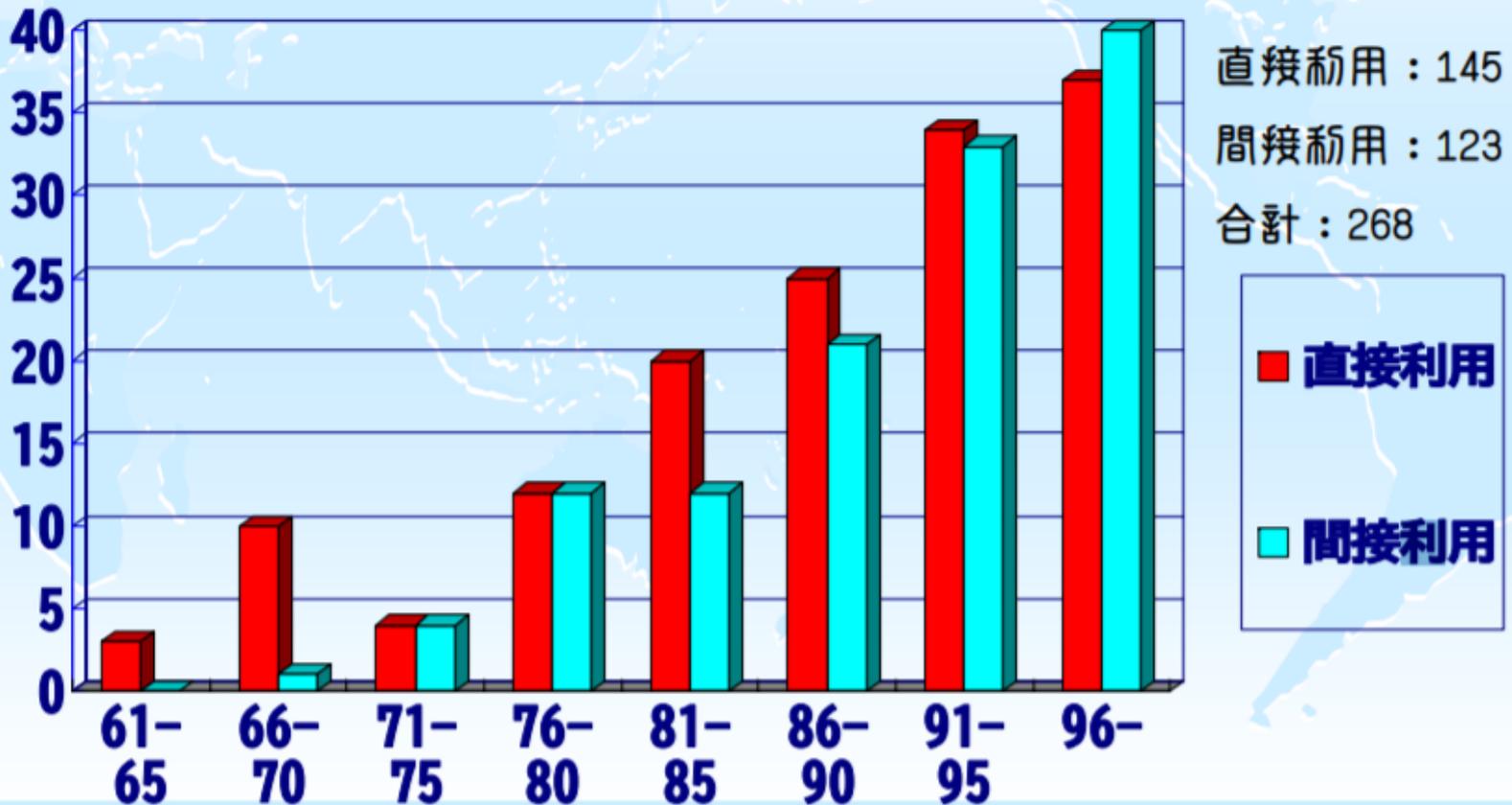
# DNAの変化はほとんどが生存に不利だから



もとのDNAと違う細胞の増加理由

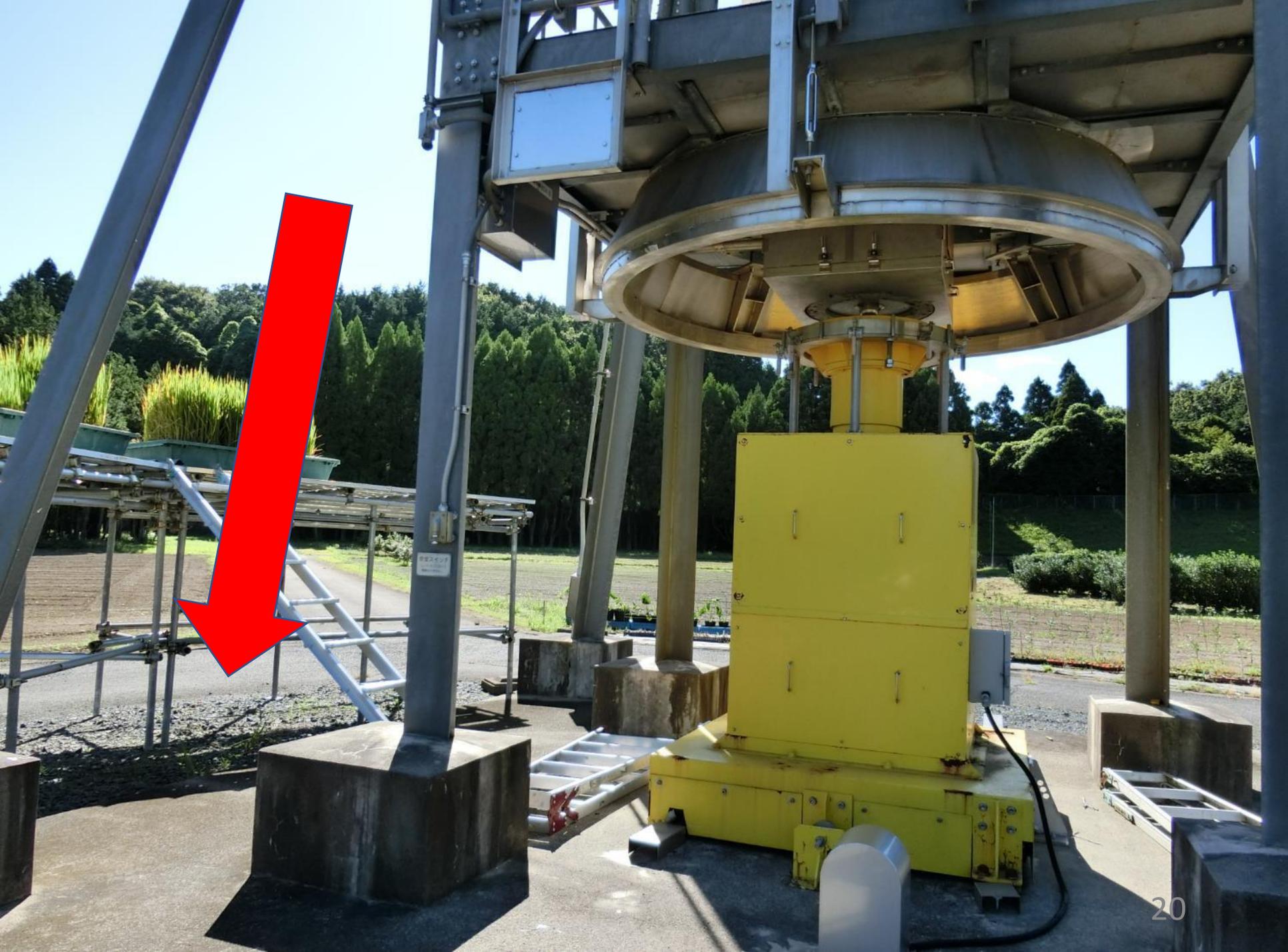
- ① DNAの複製ミスとプログラムされていない化学反応の増加
- ② 修復機構が正常でない
- ③ 免疫系の弱体化

# 日本でこれまでに突然変異育種法 で作りに出された品種の数



# ガンマフィールドド（中心に放射線源）





いろいろなDNAの複製の確率の大小比較

正確な複製 ≫ 変化 ≫ 生き残れる変化

放射線を  
浴びた草

草を食べ  
るバッタ

バッタを  
食べる鳥

生き残り、かつ毒性を持つ変化の可能性はほぼない  
生き残り、かつ有益な変化の可能性も同様

**新しいものを得るのではなく、  
持っていた機能を失う**



# ゲノム編集作物（タイプ-1）とは

**NGGCCAGGCGCGA（Nは任意の塩基）はどこにある？**

CCTT**GGCCAA**CGCCATCGCCACCT**GGC**GCG**GGC**GCGCCAGCGAGCG**GGT**GCGCCGCTT**GG**  
ACAGCA**GGT**CCTTCATCTGCAG**GGCC**GTAGTAATC**GGCCACGGT**CTTCT**GGATATTGGAA**  
TGCCGATCGCCTGTTGCTG**GGC**GCGCAGCAAATCGCGCAGCGTCTCCTG**GGC**AAATTCCA  
CCGTGATCGAGC**GGCCGGT**GAAAGTT**GGC**GCGCGCCACCAG**GGT**GTTGAGCGCGCCTTCCA  
**GGT**CGCGCACGTT**GG**AGCGCATCTTCTT**GGC**GATCAG**GA**AATGCCACGTCGTCGGGAATTT  
C**GGC**GCCGCGCTCGCGTGCCTTGGCCAGCACCAT**GGCC**GCGCG**GGT**TTTCGAAGTCC**GGCG**  
GATCGATCGCCACCGACA**GGCC****CAGGCCAGGCGCGACT**TCAG**GGC**GCG**GGCT**CCAG**GGCC**CT  
C**CA**CTTCGCGCG**GGT**AGC**GGT**CGCAG**GGT**CAG**GGAT**GATCTGCT**GGC****GGCC**ATCGAACAGCG  
CGTTGAA**GGT**GT**GG**AAGAACTCTTCTG**GGT**GC**GGT**CCTTGCC**GG**CGAAGAACT**GGAT**GT

実際は、

- ①**NGG**の下流**20**塩基をガイドとして切断場所を特定
- ②修復酵素が修復
- ③正しく修復できなかったものを試験栽培で選ぶ  
(自然でも起こる過程だが、自然より高頻度で起こるとは言え低確率)

# 進化・品種改良のまとめ

- DNAが変化して、かつ、違う生物種が生まれる確率  
 $0 \approx \text{自然} \ll \text{放射線育種} \ll \text{ゲノム編集} \ll 1$
- 突然変異育種やゲノム編集での化学反応は、自然で起こる反応と区別できないが、反応の時間スケールだけが大きく違う。  
自然に生まれたものである特定外来生物と同じく生態系に影響を及ぼす可能性を考慮する必要がある。

3 DNAを知る  
発ガン

遺伝子の変化で発がんする

# がんの増加理由

- ①DNA複製ミスと予期せぬ化学反応の増加
  - ①－1 単位時間当たり（放射線・紫外線・化学物質）
  - ①－2 時間の経過（年を重ねる）
- ②修復機構が正常でない
  - ②－1 修復機構関連のDNA部位自身が修復ミスまたは無効化されている
  - ②－2 細胞老化により機能が低下している
- ③免疫系の弱体化

# 先進7カ国の死亡統計 (WHOのWorld Health Statistics 2007による)

	死因割合 (%) (2002)	平均寿命 (歳) (2005)		年齢調整死亡率 (標準人口10万人あたり) (2002)			
	がん	男	女	感染症 (うち肺炎)	心血管疾患 (うち虚血性 心疾患)	がん	障害 (うち自殺)
日本	32	79	86	37(29)	106(33)	119	39(19)
米国	23	75	80	27(11)	188(106)	134	47(10)
カナダ	29	78	83	17(10)	141(81)	138	34(11)
英国	25	77	81	51(46)	182(99)	143	26(8)
フランス	29	77	84	21(14)	118(37)	142	48(13)
ドイツ	27	76	82	19(11)	211(96)	141	29(11)
イタリア	27	78	84	15(10)	174(68)	134	29(5)

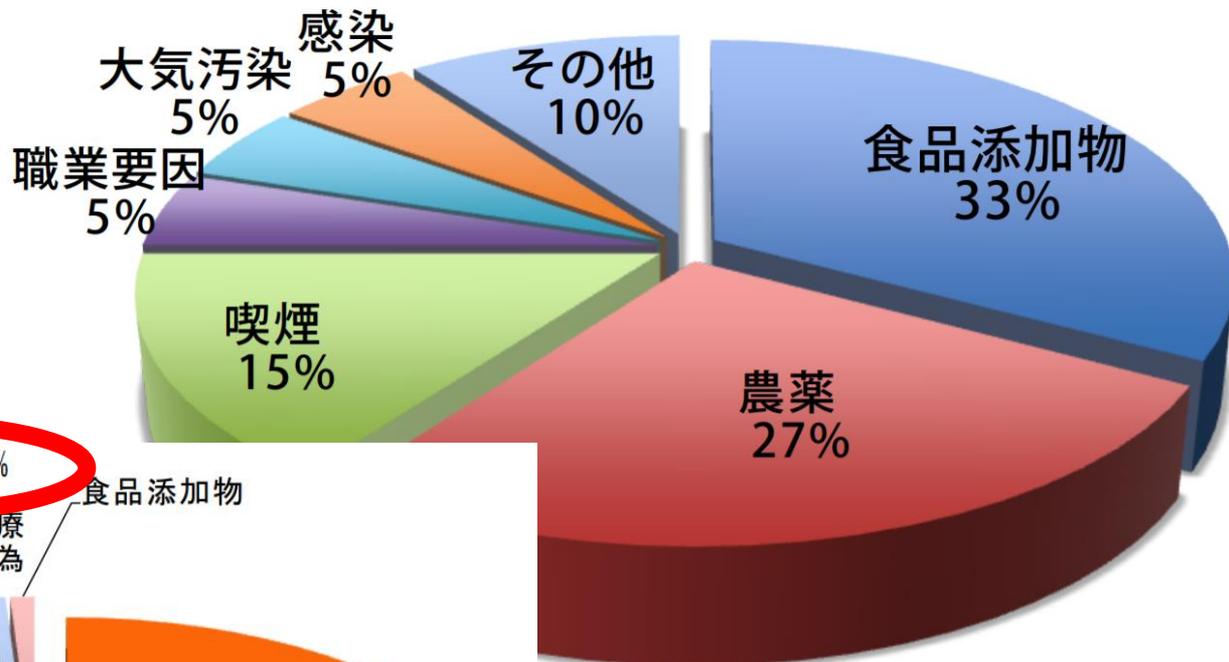
(津金昌一郎：なぜ、「がん」になるのか?その予防学教えます。(西村書店, 2009) より引用)

国民の平均年齢が高いとガンが増える  
 ⇒細胞の老化によりDNA修復能が低下し、DNAの損傷が蓄積する

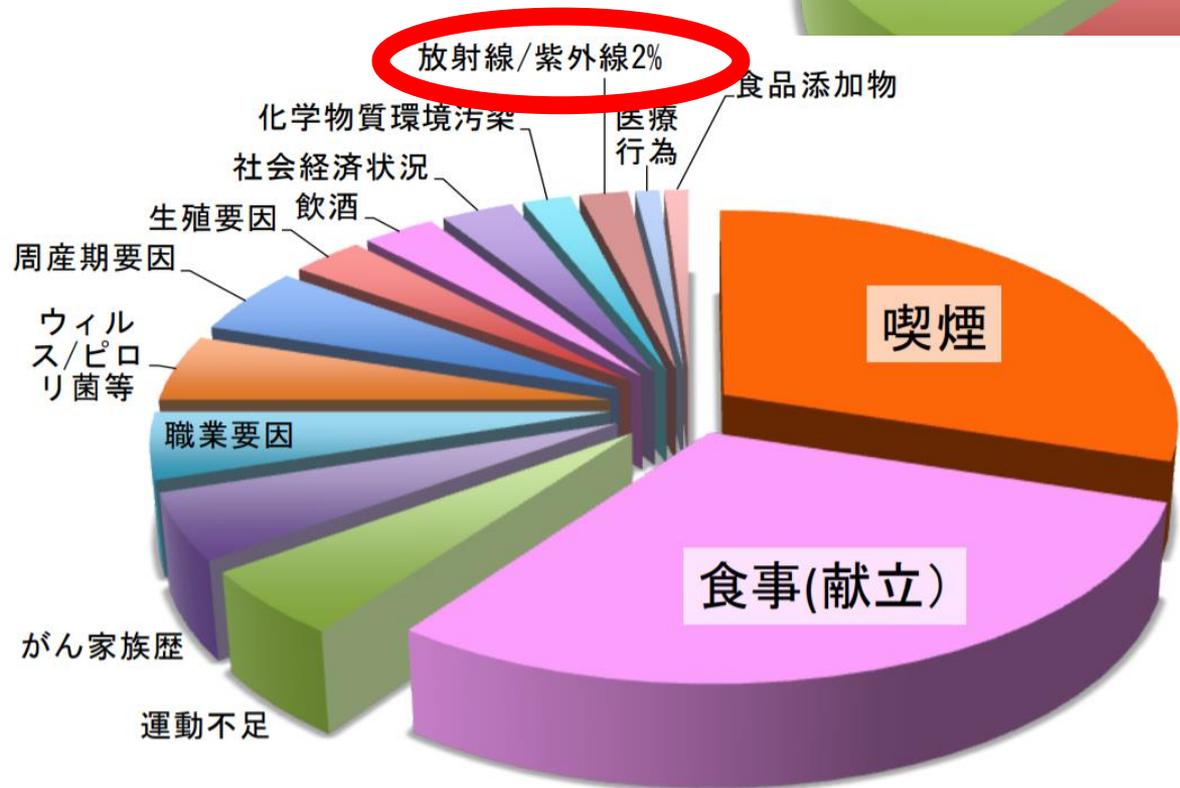
出典：国立がん研究センターHP

国民の平均年齢を考慮すると  
**日本はがん死が少ない?!**

# がんの原因



多くの消費者の意識



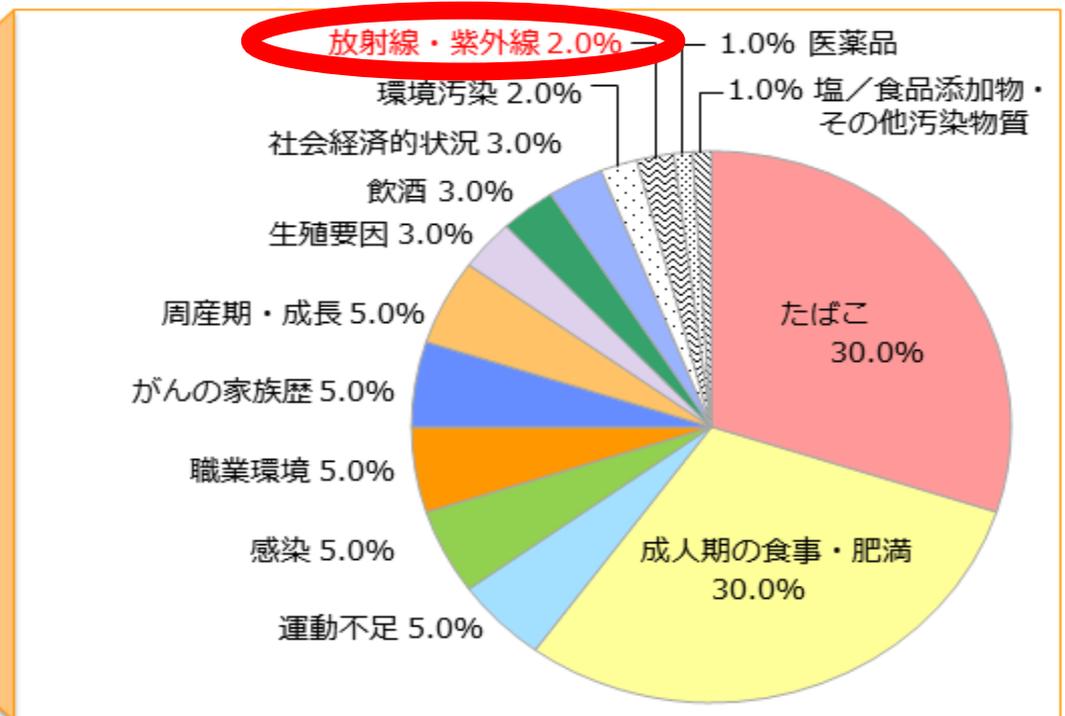
がんの原因：Richard Doll (疫学者)・WHO/IARC・  
国立がん研究センター、Harvard 大学等

出典：名古屋市立大学  
津田特任教授研究室HP 27

# 発がんに関連する因子

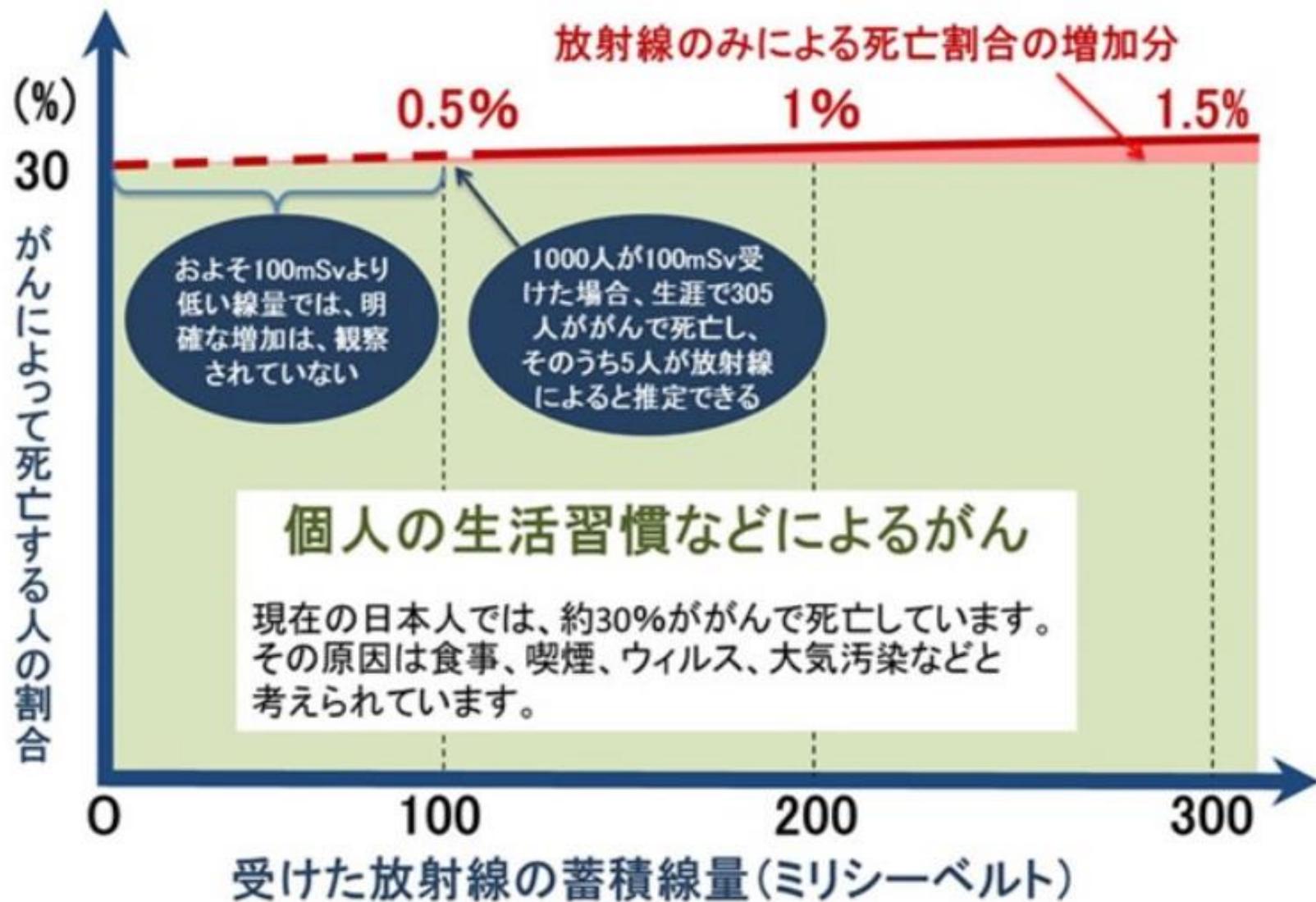


## ヒトのがんの原因と関連のある因子



出典：Cancer Causes and Control. 1996, 7, S55-S58 より作成

# 年間で100ミリシーベルトまでゆっくりと被ばくした場合のがん死亡



被ばく量とリスクの関係は、広島・長崎の被爆者より求められた。100mSv以下は推定。

出典：放射線医学総合研究所HP

# がんのリスク（生活習慣）

生活習慣因子	がんの 相対リスク
喫煙者	1.6
大量飲酒（450g以上/週）※	1.6
大量飲酒（300～449g以上/週）※	1.4
肥満（BMI $\geq$ 30）	1.22
やせ（BMI<19）	1.29
運動不足	1.15 ～ 1.19
高塩分食品	1.11 ～ 1.15
野菜不足	1.06
受動喫煙（非喫煙女性）	1.02 ～ 1.03
200mSvの被ばく	1.01
100mSvの被ばく	1.005

ヒトは世界平均で2.4mSv/年の被ばく

# 線量限度は計画被ばく状況に適用される

## ○職業人（実効線量）

1年間 50 ミリシーベルト かつ

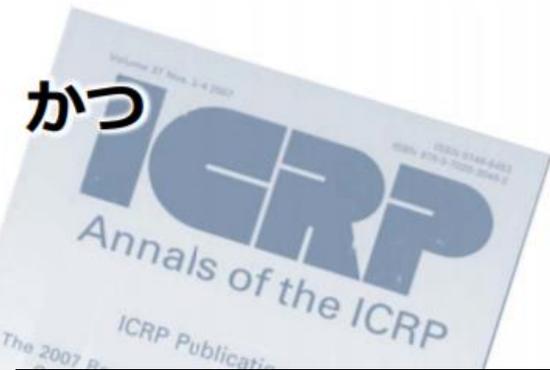
5年間 100 ミリシーベルト

## ○一般公衆（実効線量）

1年間 1 ミリシーベルト

（例外）医療被ばくには適用しない

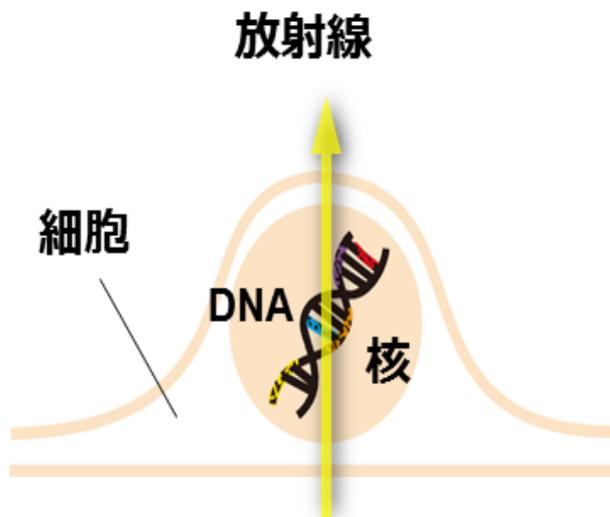
- ・ 個々のケースで正当化
- ・ 防護の最適化が重要



環境省「放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料（平成26年度版）」第1章 放射線の基礎知識と健康影響

宇宙ステーションでは1mSv/日の被ばく  
セルゲイ・クリカレフは802日宇宙に滞在した。  
800mSvの被ばくでは、がん死のリスクは4%増加

# 放射線によるDNAの損傷



X線 1ミリグレイ当たりの損傷  
(1細胞当たり)

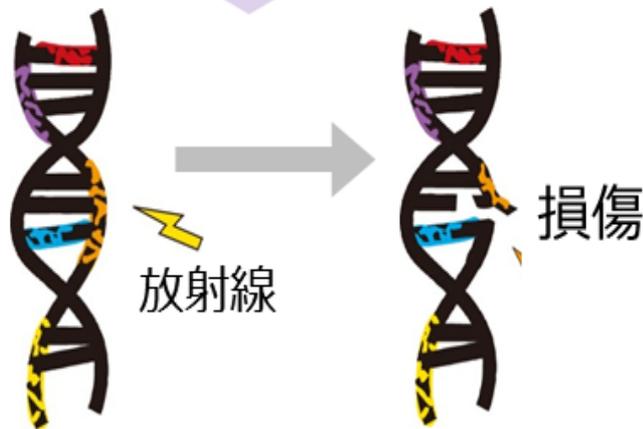
= 1 mSv  
胸部レントゲン  
0.1 mSv

塩基損傷 2.5箇所

1本鎖切断 1箇所

2本鎖切断 0.04箇所

完全な修復  
が可能



DNA

出典：Morgan, 米国放射線防護委員会 (NCRP) 年次総会(第44回、2008)



# 発がんのまとめ

- DNAの複数個所の変化が原因
- DNAの変化とは化学反応
- 日本人の50%が発がん（死亡原因の30%ががん）
- 紫外線・放射線による発がんは、発がん全体の2%
- 100mSvの過剰被ばくでがん死の過剰リスクは0.5%
- 飲酒やタバコでも過剰リスクがある。

# DNAに注目した種・進化・品種改良・がん

生殖細胞の  
完全複製

種の存続

複製ミスの多さに関わらず種が存続する  
⇒とても強力な修復システム・アポトーシス・免疫のしくみがある

生殖細胞の複製ミス

すりぬけ

進化・品種改良

修復・  
アポトーシ  
スの仕組

幹細胞の複製ミス

すりぬけ

ガン

とてもまれ  
↓進化に・発がんには時間がかかる

新しい判断基準の提案  
目的は何かを明確にして議論を

「がんを減らす」

or

「放射線でのがんを減らす」

どこまでが  
合理的？

合理的な範囲で

・リスクのより大きなものを優先的に対策する

合理的：実現可能性，費用対効果，心理的な抵抗，



## 課題 Teamsに送信

- ①心が動いたやっぱりそうだったと思ったこと
- ②心が動いた初めて知ったこと
- ③変わるかもしれない自分の考え方・行動