

## 放射線授業事例

以下のスライドを基礎に、トピック的に「ヒトはサルから進化したのではない」、映画「ジュラシックパーク」の不完全な DNA の遺伝子組換えでの修復などのスライドを補足する内容も話し、また、ガンマフィールドで私がかつて持った疑問「線源の間近に生えている草は放射線を大量に浴び、かつ、農作物と違い生態系に残りうる生命力を持つのに隔離の必要はないのか」などを DNA の視点から説明した。



### DNAリテラシー

一進化・突然変異育種・ゲノム編集作物・ガン

ウィキペディアより転載

1.DNAを知る種が存在すること



生命誌研究館HPより転載

1
2

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 ≫ 変化 ≫ 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

塩基  
アデニン  
グアニン  
シトシン  
チミン  
の4種類

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」

3
4



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

5

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
CCTTGGCCAAACGCGCATCGCCACTGGCGCGGGCGCCAGCGAGCGGGTGGCGCGCTGG
ACAGCAGGTCTTCTCATCTGCGAGCCGTAAGTACGCGCCAGCTCTCTGGATATGGGAA
TGCCGATCGCTGTGCTGGCGCGCAGCAAAATCGCGCAGCTCTCTGGGCAATTCCA
CGGTGATCGAGCAGCGGTGAGTTGGCGCGCCACCAAGGGTGTGAGCGCGCTTCCA
GGTCGCGCAGCTTGGCGCCATCTTCTGGCGATCAGGAATGCCACGTCTGGGAATTT
CGGCGCGCGCTCGGAGGCCCTTCTGGCGATCAGGAATGCCACGTCTGGGAATTT
GATCGATCGCCACCGAGGCCCT
CCACTTCCGCGGGTAGCGGTGCGAGTCAAGGATGATCTGCGCGCGCCAGCAAGCGG
CGTTGAAGGTGTGAAGAAGCTTCTCTGGTGGCTCTTGGCGGGAAGCAAGTGGATG
CGTGCATCAGCAGCGCATCGATCTGTTGGAAGTGGCGCTTGAAGTCCATCGCTTGT
CTCGCAGCGCCGATCATCGCGCTGAAGAAGTGTTCGAAACGAGTACATCACCTTGG
CGGCGGATTGGCGTACGCGAGCGATTGCGCGCGCGCAACATCAGGTGGTCTTGGC
    
```

A,T,G,Cの4文字で構成

3塩基でひとつのアミノ酸 (たんぱく質の材料) を指定

6

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A  
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  
アミノ酸が順番につながって、タンパク質ができます。

バイオテック情報普及会HPより引用

7

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

全DNA

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

特定の部分

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

8

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
CCTTGGCCAAACGCGCATCGCCACTGGCGCGGGCGCCAGCGAGCGGGTGGCGCGCTGG
ACAGCAGGTCTTCTCATCTGCGAGCCGTAAGTACGCGCCAGCTCTCTGGATATGGGAA
TGCCGATCGCTGTGCTGGCGCGCAGCAAAATCGCGCAGCTCTCTGGGCAAAATCCA
CGGTGATCGAGCAGCGGTGAGTTGGCGCGCCACCAAGGGTGTGAGCGCGCTTCCA
GGTCGCGCAGCTTGGCGCCATCTTCTGGCGATCAGGAATGCCACGTCTGGGAATTT
CGGCGCGCGCTCGGAGGCCCTTCTGGCGATCAGGAATGCCACGTCTGGGAATTT
GATCGATCGCCACCGAGGCCCT
CCACTTCCGCGGGTAGCGGTGCGAGTCAAGGATGATCTGCGCGCGCCAGCAAGCGG
CGTTGAAGGTGTGAAGAAGCTTCTCTGGTGGCTCTTGGCGGGAAGCAAGTGGATG
CGTGCATCAGCAGCGCATCGATCTGTTGGAAGTGGCGCTTGAAGTCCATCGCTTGT
CTCGCAGCGCCGATCATCGCGCTGAAGAAGTGTTCGAAACGAGTACATCACCTTGG
CGGCGGATTGGCGTACGCGAGCGATTGCGCGCGCGCAACATCAGGTGGTCTTGGC
    
```

GAA グルタミン酸 :GAATT :TCGGCG

AAG リシン :AGCCCT :ACAGCG

AGT セリン :TGGATG :CCTTGT

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

アミノ酸: たんぱく質の材料

9

DNAにプログラム外の化学反応が起きたら

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

塩基の入れ替

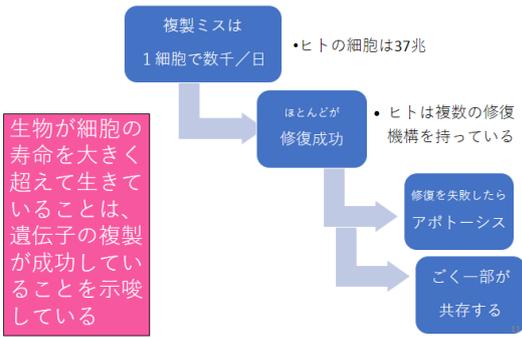
- 必要なアミノ酸ができない
- 生存に不利

(3n) 塩基の挿入

- 既存のシステムに攪乱を起こす
- 生存に不利

10

## DNAの変化はほとんどが生存に不利



11

## 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ことは
- 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

12

★

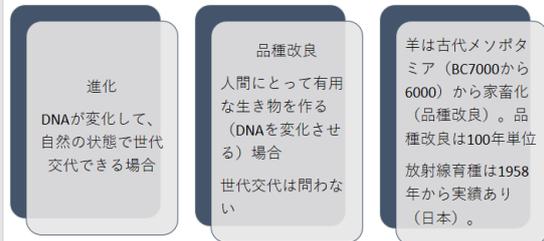
## 「命の設計図 DNAを知る」 まとめ

- 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

13

13

## 2 DNAを知る 進化・品種改良



14

14

## 共通祖先から進化

キリン  
と  
オカピ



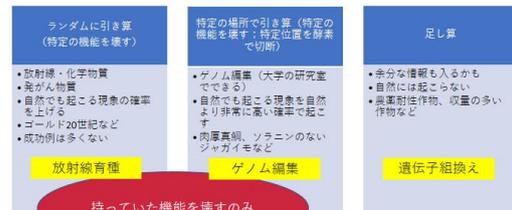
上野動物園で

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?

15

15

## 遺伝情報の変更 → DNAの化学反応



持っていた機能を壊すのみ

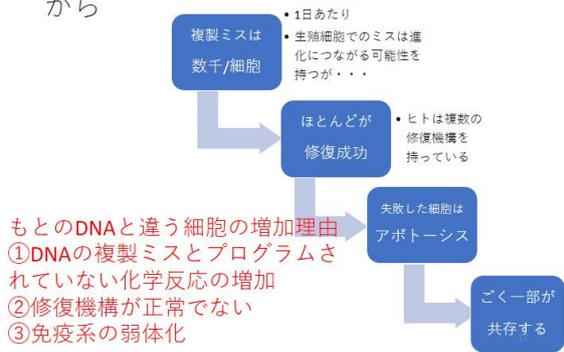


16

16

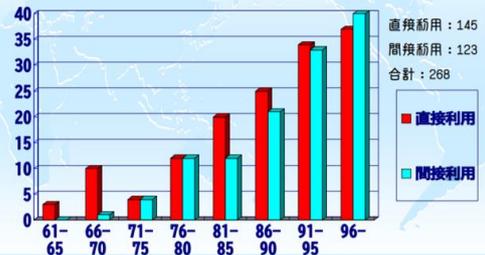
★

DNAの変化はほとんどが生存に不利だから



17

### 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



出典: 農研機構HP

18

### ガンマフィールド (中心に放射線源)



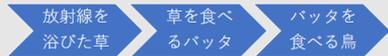
出典: 放射線利用振興協会HP

19



20

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



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**



21

21

### ゲノム編集作物 (タイプ-1) とは

NGGCCAGGGCGCGA (Nは任意) はどこにある?

CCTTGGGCAACGCCATCGCCACCTGGCGGGCGGCCAGCGAGGGGTGCGCCGCTTGG  
ACAGCAGGTCTTCATCTGCAGGGCCGTAGTATCGCCACGGTCTTCTGGATATTGGAA  
TGCCGATCGCCTGTCTGGCGCGCAGCAAATCGCGAGCGTCTCTGGCAAATTCCA  
CCGTGATCGAGCGGGCGTGAAGTTGGCGCGCCACCAAGGGTGTGAGCGCGCTTCCA  
GGTGGCGACGTTGGAGCGCATCTTGGCGATCAGGAATGCCAGTCTGCGGAATTT  
CGGCGCCGCTCGGTGCTTGGCCAGCAGCATGGCGCGGGTTTCGAAGTCCGGCG  
GATCGATCGCCACCGACAGGGCCAGGCCAGGGCGCGGCTCAGAGGCCCT  
CCACTTCGCGCGGTAGCGGTGCGAGGTCAGGATGATCTGCTGGCGCCATCGAACAGCG  
CGTTGAAGGTGTGAAGAAGCTCTCTGGTGGCTTCCCGCGGAAGAAGCTGGATGT

実際は、

- ①NGG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)

22

22

## 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 ≒ 自然 ≪ 放射線育種 ≪ ゲノム編集 ≪ 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。

23

23



ヒトは世界平均で2.4mSv/年の被ばく 24

24

## がんの増加理由

- ① DNA複製ミスとう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

25

25

## 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 | 99(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)     |

(注: 数値の一部は、なげ、「がん」になるのか?その予防学教えます。(西行書店, 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

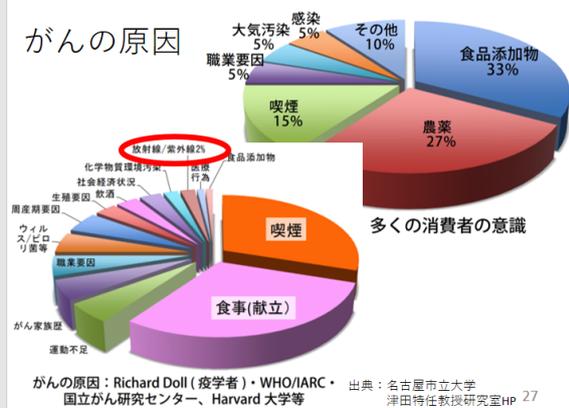
出典: 国立がん研究センターHP

国民の平均年齢を考慮すると  
日本はがん死が少ない?!

26

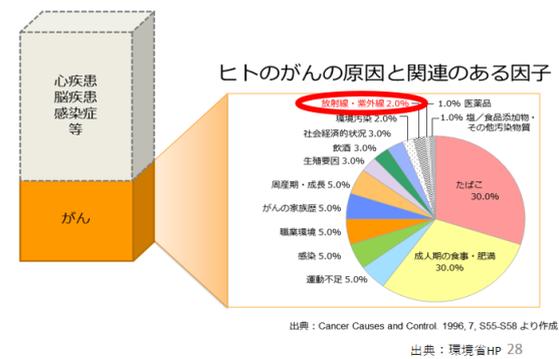
26

## がんの原因



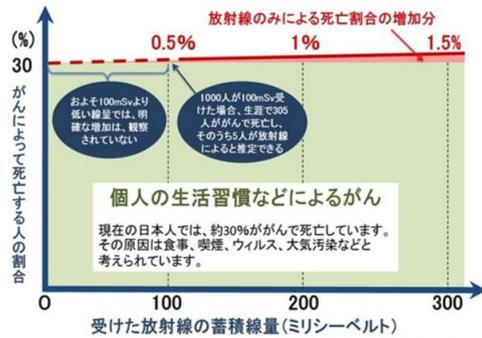
27

## リスク 発がんに関連する因子



28

年間で100ミリシーベルトまでゆ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 29

リスク 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≥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 出典：国立がん研究センターウェブサイト 30

線量限度は計画被ばく状況に適用される

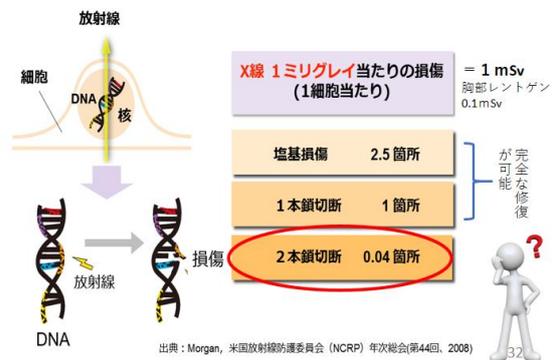
- 職業人 (実効線量)
  - 1年間 50 ミリシーベルト
  - 5年間 100 ミリシーベルト
- 一般公衆 (実効線量)
  - 1年間 1 ミリシーベルト

(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



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

人体影響の発生機構 放射線によるDNAの損傷



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%が発がん)
- 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



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」

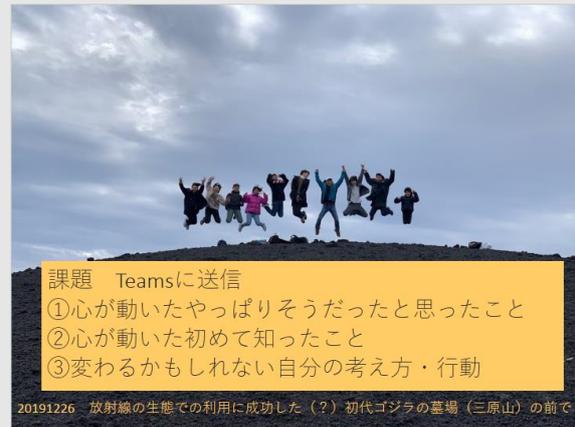
どこまでが  
合理的？

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、・・・

35



36

30分程度の講義の後に、以下の3つの質問の回答をMicrosoft Formsにより提出させ、オンラインで集約した。

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

授業では資料を配布せずスライドだけで進めたため生徒の思い違いなどもあるが、生徒が入力した通りで校正を行っていない。

| 心が動いた初めて知ったこと  | 心が動いた「やっぱりそうだ」と思ったこと  | 感想 変わるかもしれない自分の考え方・行動   |
|--|---|---|
| 放射線育種→引き算<br>ゲノム編集→引き算<br>遺伝子組み換え→足し算  | 放射線育種やゲノム編集の方法でも確率は1以下  | 日本人が癌になりやすいのは長寿だから、しかし癌の死亡率は一番低いということが改めてわかりました。  |
| DNAは四種類で言葉になっている<br>インフルエンザのDNAは変異をしたため以前のワクチンは効かない  | 遺伝子組換えは組換えするときに他のDNAを足してしまふ可能性がある   | DNAについて詳しく知る事ができてよかった。日本はがん死が少ないということに驚きました。がんにならないためにも食事管理をしっかりとしていきたいなと思いました。   |
| 恐竜の仲間だカエルということに驚きました。  | 化学的にはよくても、心理的に良くないものがあるという話で、便座に寿司を置いて食べれるか食べれないかという例えで、私も無理だなと思ったし、確かにそうだなと感じました。                            | ゲノム編集など初めて聞く言葉が多かった。がんの原因がわかった。放射線のことがわかった。   |
| じゃがいもの芽の毒がないじゃがいもがあること   | 親と子はよく似たDNAを持っているから似てること  | がんのリスクとして危ないのは放射線だけでなく、身近な行動にも危険があるのだと思った。  |
| 「進化・品種改良」心臓と首が長くなる両方の進化が一度に起こるとの不思議な問題点でもあったこと<br>放射線育成、ゲノム編集、自然界で起こる、   | 遺伝子組換え(危険)DNAを入れ替えられるという  | 今回の授業で、沢山の情報を知る事ができ、実際に現実の問題も例えにした説明や日本のがんの死因の数を世界と比べたりと他の問題についても細かいところまで知る事ができ、説明を理解し、わかりやすく学ぶことができました。  |
| DNAの変化はオスとメスがいないとできないと思っていたが、壊したり、違う生物のDNAを入れ込むこともできることがわかった。DNAが変わる確率は1よりも小さい、よくお米とかで品種改良して美味しい米ができたとか聞くが相当な努力と時間がかかったと思った。 | DNAを変えることはとても難しく時間がかかるので、そういうことを職業にしている科学者の人や研究者の人はとても頭がいいと思った。   | がんの原因は、食事(献立)であり、その次はタバコであると知った。絵にして描くと品種改良だったり、壊すことが簡単のように思えるが実際はとても小さいところでいろんな液体を使っているとても難しいなと思った。  |
| DNAはとても難しい。たくさんのDNAがありそれがズレたら風邪やがんになる可能性があることがわかった。日本が1番ガンになる人が少ない。猿から人間になつた訳でない。  | ガンを減らすには紫外線、放射線のせいではなくて、食事等から見直すことが大切。放射線を怖がっているなら野菜を食べること。   | DNA や紫外線、放射線、ガンなど一気に教えてもらって頭がパンパンになった。けど初めてDNAが面白いと思った。授業をして楽しかったのでもっとゆっくり聞いてたくさんを知りたいと思った。がんや病気になりたくなかったらたくさん運動をし、好き嫌いせずご飯を食べたいなと思った。              |
| DNAは変化するとうまくいなくて死んでしまうのに驚いた。すごい数のDNAがあってそれが1日に数千回のエラーしてのりに生き物はすごいと思った。   | キリンなどの進化した生物はまれですすごいことなんだと思った。すごく長い年月をかけて進化するんだと思った。  | DNAは知っていたけど、深くは知らなくて、今回のスライドと説明を受けてDNAはすごいなと思った。進化していくのも簡単に考えていたけど、すごいと思った。   |
| 塩基配列 全体数百万 60億個<br>AGG...のようにならんでいる<br>1日数千のエラー<br>共通祖先(オカピとキリン)<br>放射線でがんになるのは2%くらい、飲酒やタバコのほうががんになりやすい                      | 複製して子孫に受け継がれる<br>新種登場には時間がかかる<br>ウイルスのDNAが変異したら以前までのワクチンが効かなくなる<br>複製ミスが生存するのは稀<br>進化は38億年かかる                 | オカピとキリンの祖先が共通だったことや、精神的に落ち込むと免疫が下がるなど知らないことを沢山知れて良かったです。<br>野菜を食べないとがんになる確率が1.05以上あがるとのことなので、野菜を食べないといけないと思いました。煙草や飲酒もなるべくやめようと思いました。               |
| DNAは人類が変化していくことにつれて10-7の確率で変わる事がわかった。私はずっと猿から人間に変化したと思ってましたが、共通のDNAを持つて人が猿と人間に分けたことは初めて知った。動物の進化がすごくてびっくりしました。               | 日本はがんになる確率は2人に1人ということ。でも、長寿なので歳を重ねるとがんになる人も増えるということ。日本はがんになりやすいんだなと思いました。宇宙飛行士は放射線をたくさん浴びるのでやっぱり危険なんだなと思いました。 | 内容がわかりやすくて今までDNAのことについてあまり理解してなかったけど、今日の話を聞いて理解できた。改めて、がんは怖いなと思ったけど喫煙・食事を特に気をつければ少しでもがんになる確率は減るんだとわかったので私も気をつけようと思った。                               |
| 平常時以外にも変化する。猿から人間ができたのではなく、共通祖先から人間ができた。DNAの進化には38億年かかった。  | DNAは4種類の塩基の配列でできている。DNAが変化して違う生物種が生まれる確率はゼロ。  | DNAは普段考えたことはなかったけど、身近なことによく関係していることがわかった。色々なDNAのことを知れて初めての発見が多かった。放射線だけでガンができると思っていたけど、放射線以外のものでもガンはできると知って驚いた。                                     |
| 変異して生き残るのは大変なことなんだなと思った。DNAが60億個あること。がんの原因は放射線ではなく、食事などを気にかけるべきではないかと思った。放射線でがんを減らすのではなく、がんを減らすことが大切だと思った。                   | 猿から人間になつたわけではないこと。レオパンは子孫が出来ないから生き残れないこと。   | 癌のリスクが意外と日本が少ないことやガンを減らすための目的を考えて生活することが大切だと思った。  |
| 人の塩基は60億ある<br>DNAは4種類の塩基の違いで目の色が違ったりすること   | 新しい種が誕生することは確率的にも滅多にないということ   | 今日の授業を通してDNAのことや、がんのことなどをもっとよく知りたいなと思いました。具体的になにをしたら放射線などのがんにかかる確率が低くなるのか疑問に思いました。  |
| 人類の進化で人間は猿から進化したものだと思っていたけど、猿と人間には進化前の始祖の生物がいることを知りました   | 放射線は核爆発によって出てくる物質で人体に悪影響があり白内障や脱毛を引き起こすと聞いたことがあります  | 今回はDNAと放射線について学びました。DNAの突然変異が起こる確率がものすごく低いことがわかりました。生物の進化の苦勞を改めて実感することができました。   |
| 草などの生産者は放射線を浴びただけで生態系を壊す恐れがあることを知り、びっくりした。また、生物のDNA情報は複雑な上、修復するのがとても大変だと知った。   | 飲酒や喫煙には発がんリスクが上昇する。宇宙空間ではオゾン層などの大量の放射線を浴びることになる。  | DNAの塩基配列を組み合わせることで生殖や体温調節といった生物の活動を停止させることを知りました。ジュラシックパークの世界では最初から恐竜と共存しているかと思っていたが、琥珀から取れた蚊によって恐竜達を生み出したことを聞いて現実でも起こりそうなりアリティのある裏話を聞けてすごく楽しかったです。 |
| DNAが変化するの1000000分の1<br>猿から進化した人間になつたわけではなく、共通祖先から進化した、猿と人間ができた   | 遺伝子組み換えは危険  | トリチウム水が科学的には大丈夫でも消費者の知識がないことで風評被害が起きている。だからそういった知識をつけることが大事だと思った。   |
| 放射線よりも飲酒や喫煙の方が発癌リスクが高いこと。遺伝や細菌、飲酒や放射線などによる発癌リスクは100%のうちそれぞれ5%以下であること。  | 発癌リスクは食事とタバコにより影響されやすくそれぞれ30%あったこと。   | 自分の食事の献立を充実させバランスの良い食事を摂ること、喫煙はしないと決めていたがより気持ちが強くなった。飲酒も将来はのみすぎずほどほどにすること、がんにならないために正しい知識をつけることが大事だと思いました。  |

