

# 科学技術の最前線と科学者をめざす人へ

2021年8月8日

バンドー神戸青少年科学館館長

文部科学省科学技術・学術政策研究所客員研究官

前東京理科大学教授

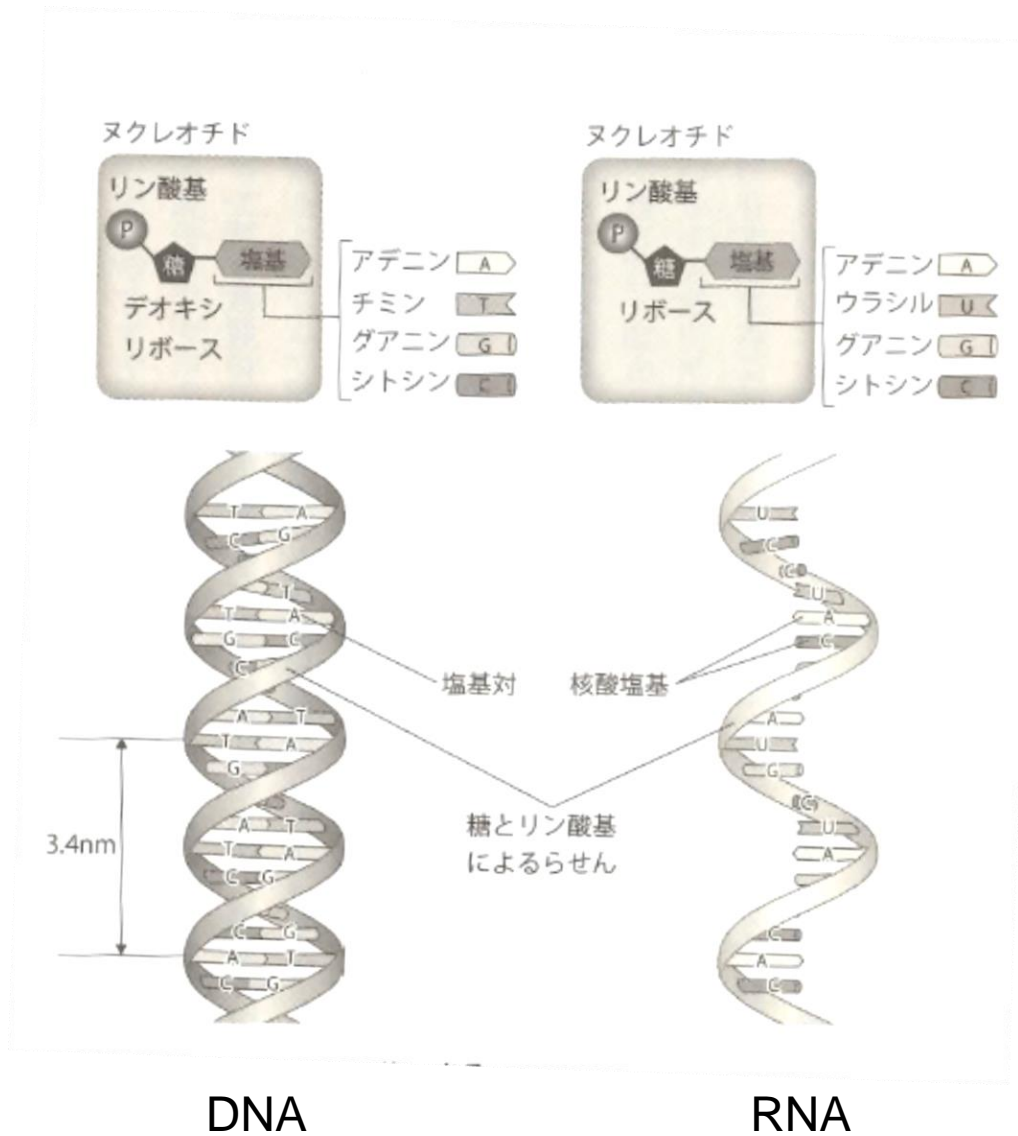
和田 智明

# 今日の内容

- 分子生物学(ゲノム編集・新型コロナウイルス対策研究)の急速な進展
- AIの社会での活用
- 量子技術の進展
- 加速する宇宙技術
- 地球温暖化の加速的な進展
- 世界に通用する科学者になるためには

- 分子生物学の急速な進展
  - ・ ゲノム編集技術  
(CRISPR-CAS)
  - ・ 新型コロナウイルス対策研究

# DNAとRNA



# CRISPRを理解する

(Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats,  
規則的な間隔を置いた短い回文の繰り返し)

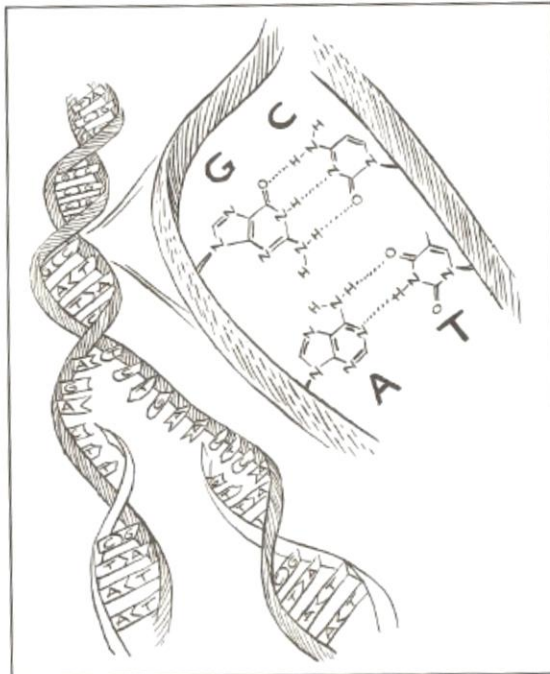


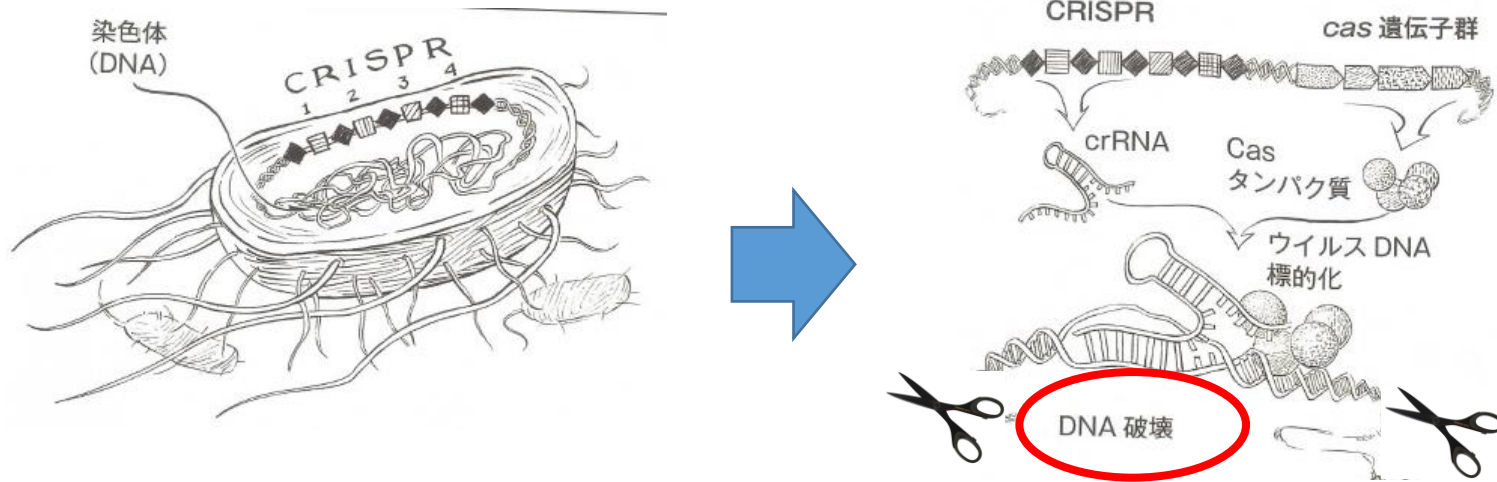
図1 DNA二重らせんの構造

回文を含むGCATの塩基配列

回文とは：  
たけやぶやけた  
しんぶんし  
AGCCGA

# CRISPR/Cas システム

- 2012年ダウドナ博士（米）とシャルパンティエ博士（仏）が開発ーウィルスに対する免疫システムをすべての生物に適用できる簡易、高速なゲノム編集ツールに改変（2021年ノーベル化学賞）



Jennifer Doudna



Emmanuelle Charpentier

# ゲノム編集－開発中の食品の例



ゲノム編集技術により肉量が1.3倍に増えたトラフグ(上)と通常(下)のトラフグ=京都大学、水産研究・教育機構提供

## 開発中の主な食品

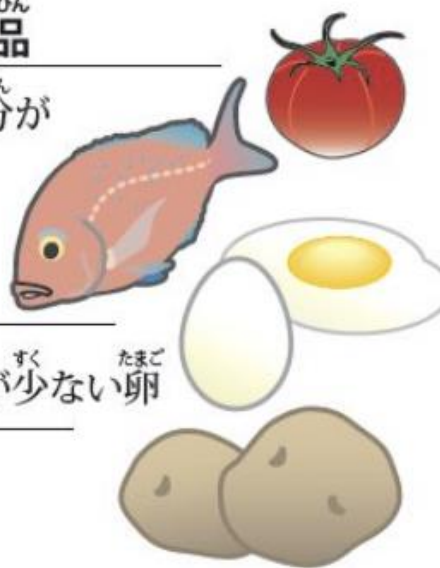
■ 血圧を下げる成分が多いトマト

■ 肉厚のマダイ

■ アレルギー物質が少ない卵

■ 毒素を作らない

ジャガイモ



# ゲノム編集の動物への適用例



By using CRISPR to alter genes in pigs, Lai Liangxue (left) hopes to create disease models, as well as organs and tissue that can be safely transplanted into humans.

ヒトに移植する臓器を開発中の豚



ヒトの自閉症やがんを解明するためにゲノム編集された猿



従来の種よりも高く飛び、速く走れるビーグル犬



# ゲノム編集(CRISPR) による 遺伝子疾患治療

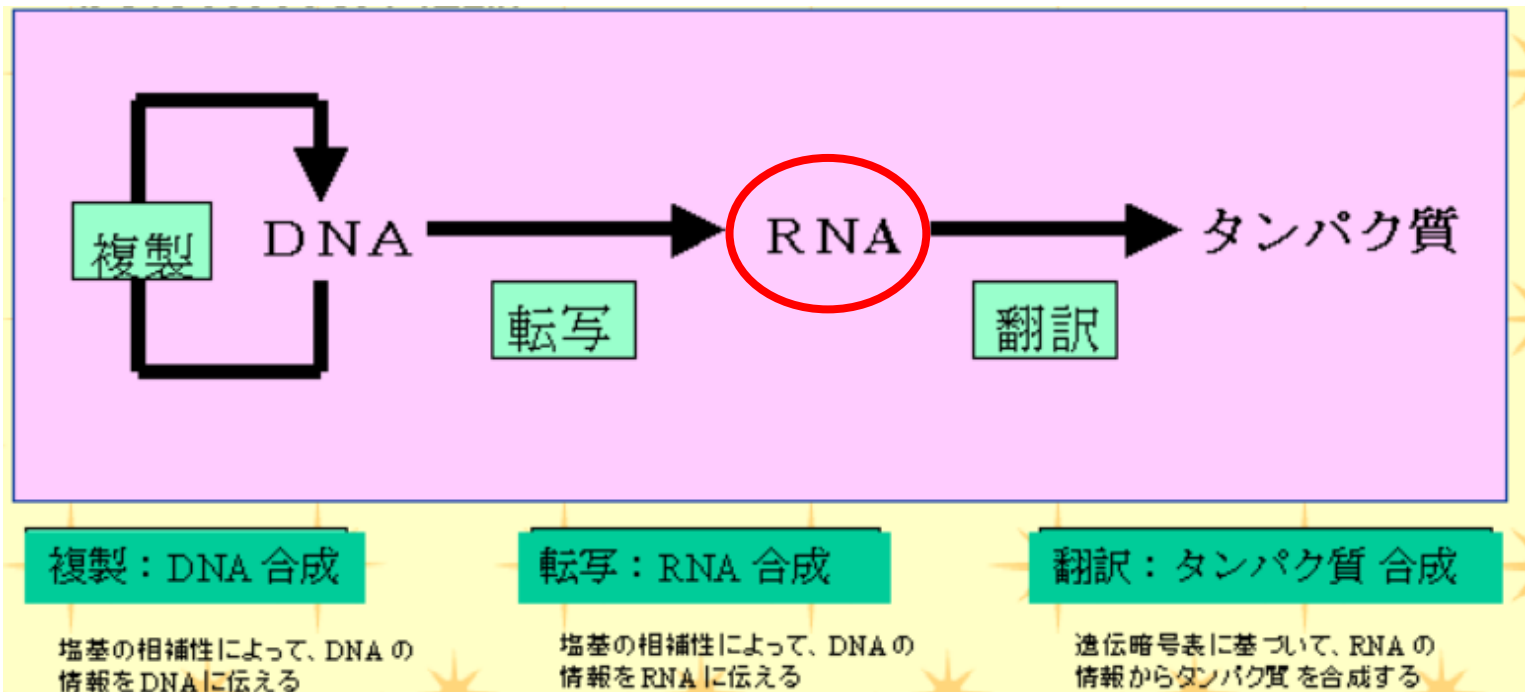
- 鎖状赤血球症（黒人に多い慢性貧血症）の治療に成功（2020年）



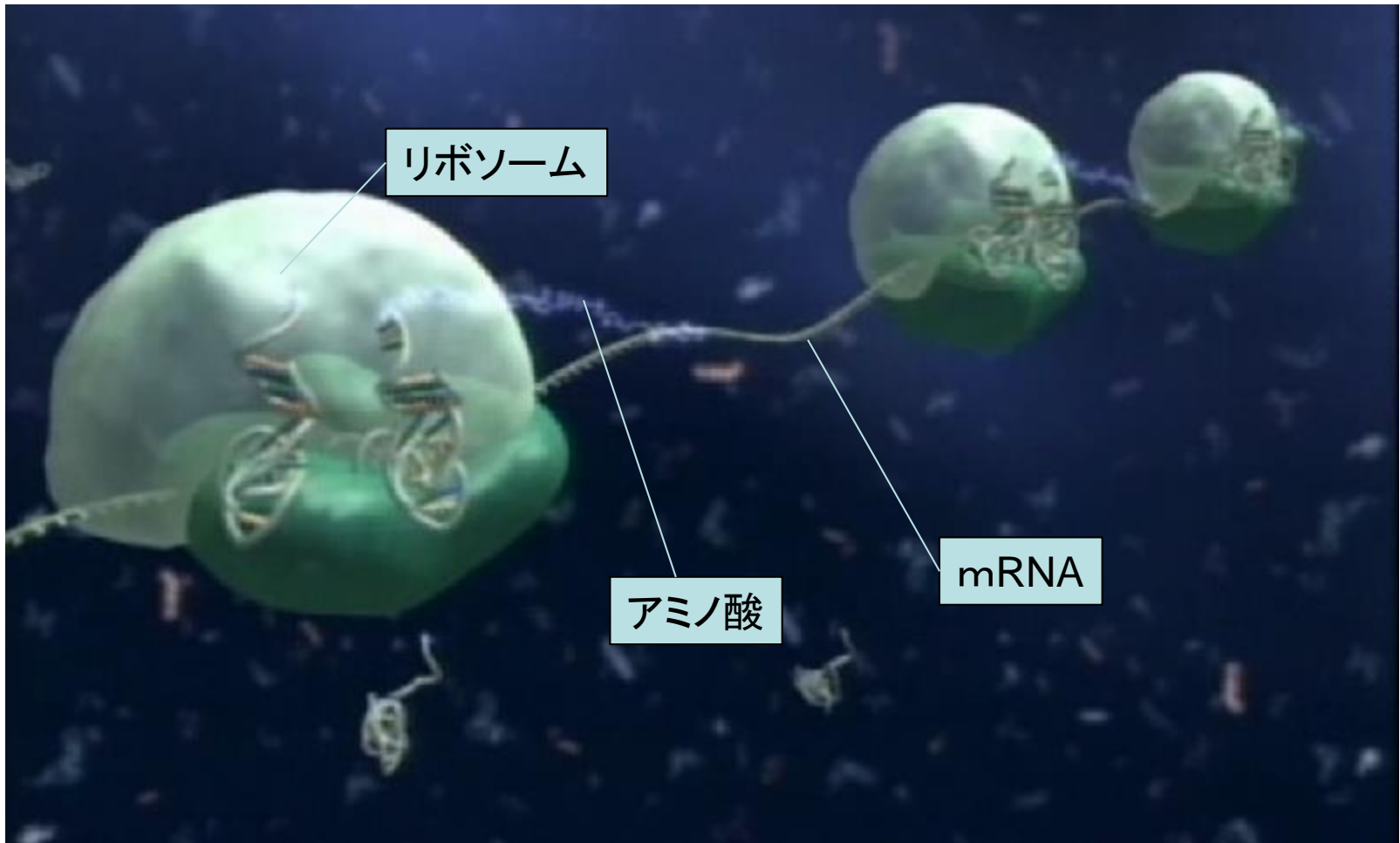
- 人間の遺伝子疾患は32,000あるがその半数の16,000は1つの塩基対の不具合（1文字の遺伝情報の間違い）で生じている。これらはCRISPRで治療できる可能性を十分有している。

# 生物のセントラルドグマ

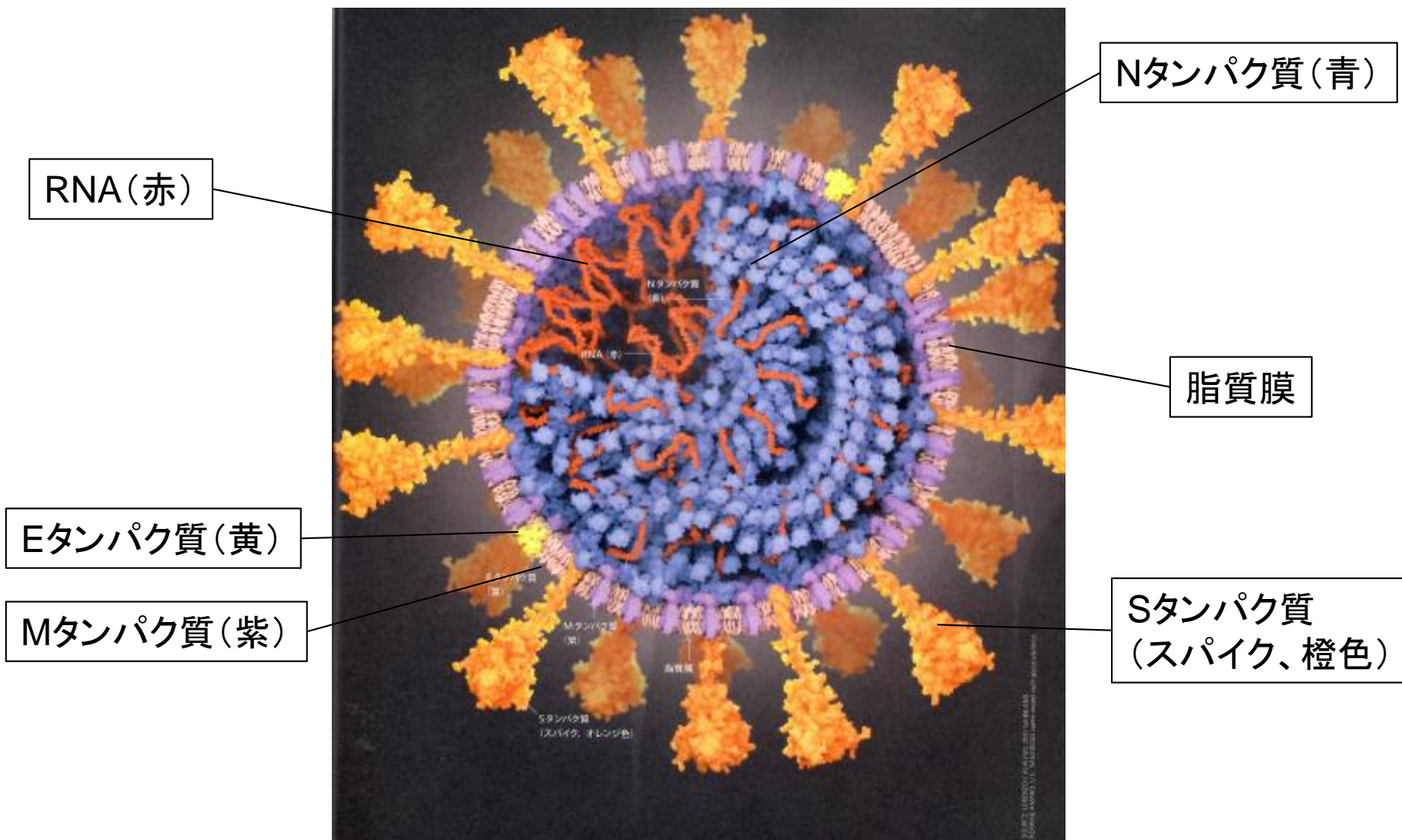
- 遺伝情報は「DNA⇒mRNA⇒たんぱく質」の順に伝達される。
- DNAという設計図からRNAという再生リストが構成され、そこからアミノ酸を経てたんぱく質という三次元巨大分子が作りだされるプロセス。



# RNAからタンパク質が作られる

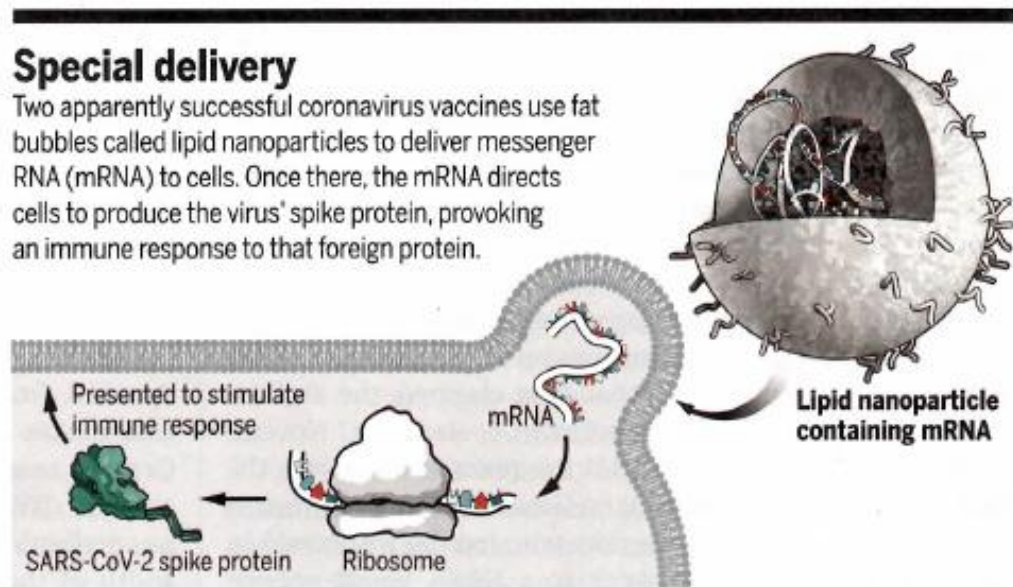


# 新型コロナウイルスの構造(直径100nm)



## ● RNAワクチンの作用

mRNAが人体の細胞でスパイクたんぱく質をつくる。  
➔ 免疫反応が発動される。



# カタリン・カリコ博士の業績 (米ペンシルバニア大学時代)



- 2005年

mRNAは細胞に到達してもRNAを検出するセンサーによってすぐに分解されてしまうが、mRNAを構成する塩基の1つであるウラシルを人工的な塩基に置き換えることにより、分解されなくなった。

- 2011年

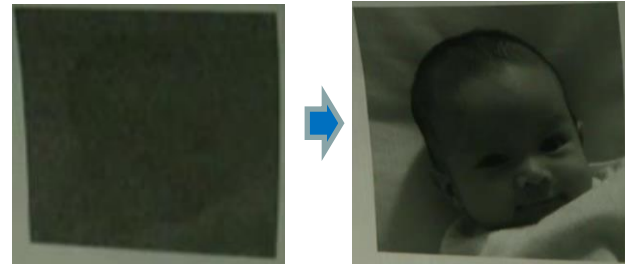
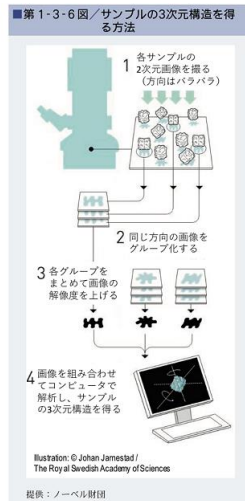
投与する前のmRNAに混ざっていた二重鎖RNAを取り除くと、細胞内でつくられるたんぱく質の量が増える。

## 新型コロナウイルスによる疾病対策に関する 科学の進歩(2020年1月ー12月)

- ウィルスの全遺伝子配列の解明 (1月)
- ウィルスの重要たんぱく質の構造解明 (2-4月)
- ウィルスに対抗する人間の免疫反応の主要プロセスの解明 (4月～)
- 治療・予防に役立つ抗体の同定 (6月～)
- 実用化が有望なワクチン(2ー3種)の開発 (12月)
- その他PCR検査の迅速化、簡素化

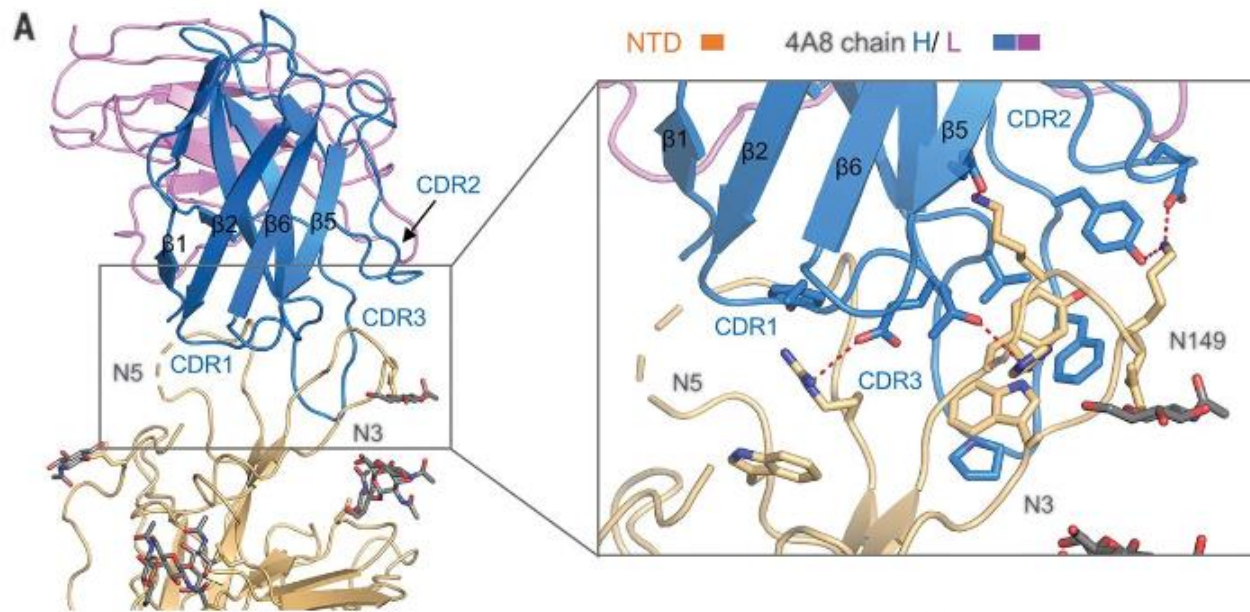
# 低温(クライオ)電子顕微鏡法 (2017年ノーベル化学賞)

- 生物試料を染色せず、凍結することで固定し水分を蒸発させずに、試料を透過型電子顕微鏡で観察する。
- 観察で得られる数千～数万枚の画像データを画像処理アルゴリズムにかけ、画像の相関を解析し、生体内の分子構造の情報が得られる。





# コロナウィルスのスパイクたんぱく質に抗体が結合する仕組み (低温電子顕微鏡法)



NTD(ウィルスのスパイクプロテインの一領域)が4A8(抗体)と結合している。

- AIが活躍する社会

# 超スマート社会

- 「必要なもの・サービスを、必要な人に、必要な時に、必要なだけ提供し、社会の様々なニーズにきめ細かに対応でき、あらゆる人が質の高いサービスを受けられ、年齢、性別、地域、言語といった様々な違いを乗り越え、生き活きと快適に暮らすことのできる社会」

# 科学技術未来予測(2040年の社会のイメージ)

無形／個人

有形／個人










無形／社会

有形／社会

# 2040年科学技術予測(個人生活)

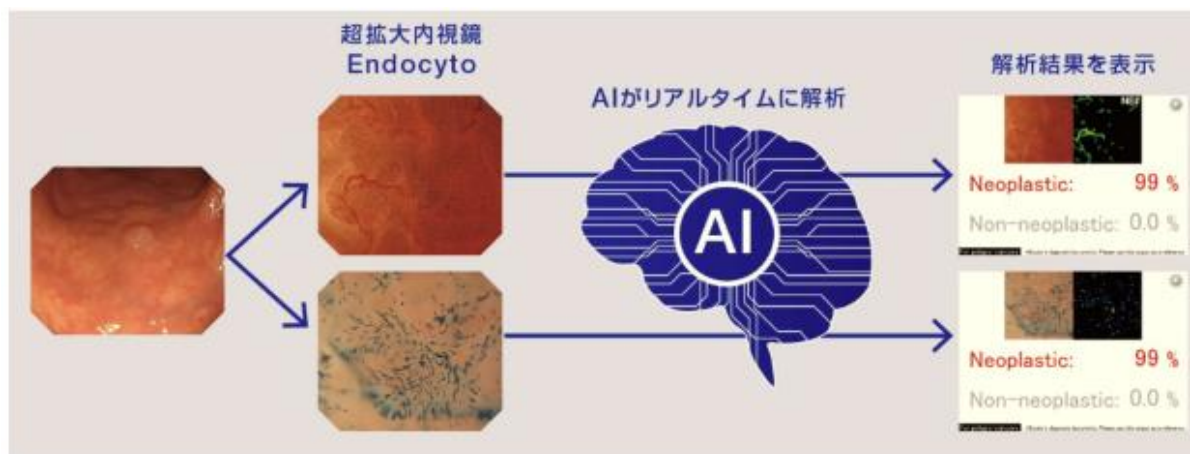


# 2040年までに個人生活に実現する科学技術の成果 (有形)

番号	解説	科学技術トピック	科学技術的 実現時期	社会的 実現時期	主な SDGs
C4	移植可能な臓器の3Dプリント	3Dプリント技術を用いた再生組織・臓器の製造（バイオファブリケーション）	2031	2034	3 
C5	生体に完全に融合し、不自由なく生活できる義体	全ての皮膚感覚の脳へのフィードバック機能を備えた義手	2032	2036	10 
		ナノテクノロジーによる生体人工物界面制御の精密化に基づく、高機能インプラント機器やドラッグデリバリーシステム（DDS）技術を可能とする高度な生体適合性材料	2029	2032	3 
C6	薬物動態・がんマーカー・感染・血液成分をモニタリングするウェアラブルデバイス	体内情報をモニタリングするウェアラブルデバイス	2028	2031	3 
C7	アーカイブされた職人技を教えてくれる農業ロボット	匠（熟練技能者など）の技術の計測とモデリングを通じ、暗黙知を自動的にアーカイブ化するシステム	2026	2029	8 
		初心者でも使える機械学習活用基盤の普及	2024	2025	8 
C8	身体負担度が高く高度な育成・収穫技術を代替する自立型農業ロボット	人間を代替する農業ロボット	2026	2029	2 

資料：科学技術・学術政策研究所「第11回科学技術予測調査」を基に文部科学省作成

# AIの医学利用 (大腸内視鏡診断支援システム)



NBI (Narrow Band Imaging) 観察と染色観察の2種類の観察モードで、毛細血管像や細胞核の異常を検出。正診率98%。

# AIを活用したサービスプラットフォーム





# AI戦略(人材育成)(平成31年3月)

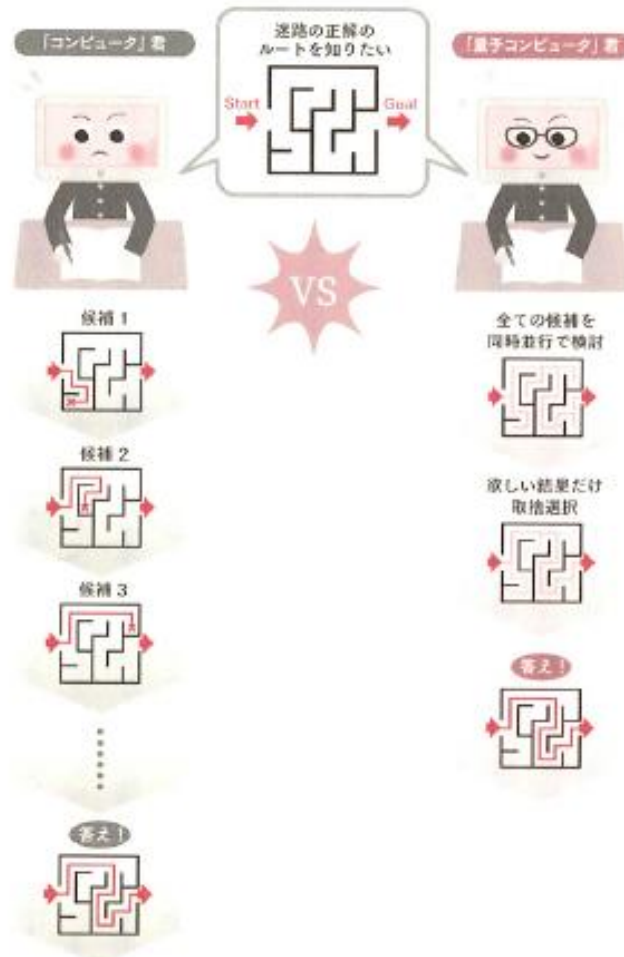


- 量子技術の進展

- 量子コンピューター =  
量子(電子・光子・原子など)の波を入れ替えたり、タイミングをずらしたり、干渉させたりして答えを出す「波を使った計算機」
- 現在のコンピューターに比べて速く解ける問題に利用される。
  - 新素材・薬の開発
  - 最適化問題 (大量なデータベースの検索)
  - 複雑な暗号の解読

# 量子コンピューターで問題を解くイメージ

図4 量子コンピュータで問題を速く解くイメージ



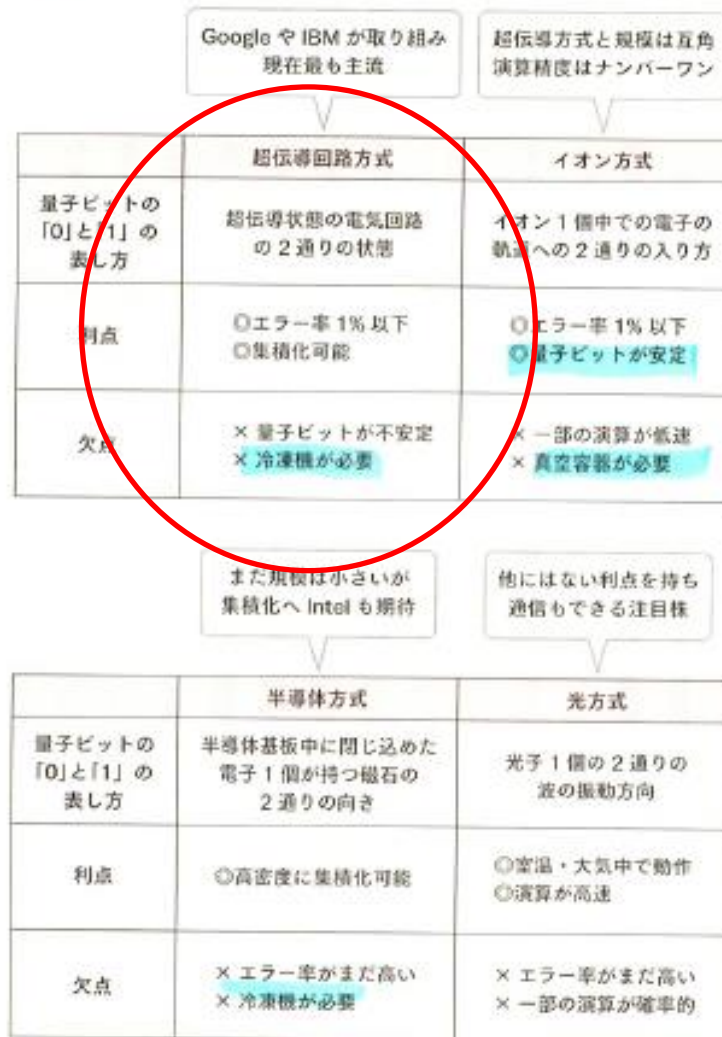
# 量子コンピューターが得意な問題

図9 量子コンピューターが得意な問題の具体例

	例1：グローバーの解法	例2：ミクロな化学計算の解法
問題のイメージ		
計算高速化のポイント	重ね合わせて並列処理 + 干渉で絞り込み	量子コンピューターは電子が従う量子力学のルールを自然に表現できる
応用分野の例	データベース検索・組合せ最適化問題	機能性材料や薬の開発
	例3：ショアの解法	例4：連立一次方程式の解法
問題のイメージ	素因数分解 $31579 = \boxed{?} \times \boxed{?}$	$\begin{cases} 3x + 2y - z = 2 \\ -x + y + 2z = 6 \\ 2x - 4y - 3z = -5 \end{cases}$ $(x, y, z) = (2, 2, 2)$
計算高速化のポイント	重ね合わせと干渉を使った量子フーリエ変換で周期を高速に見つける	数の足し引きを波の足し引きに置き換えて計算させる
応用分野の例	暗号解読	シミュレーション・制御・機械学習・データ分析・画像処理

# 量子コンピューター的方式

図7 量子コンピュータの代表的な方式の比較



# 超伝導量子コンピューター (IBM)

図10 IBMの超伝導量子コンピューターの外観。中央の大きい容器が冷凍機 (画像提供: 日本IBM)

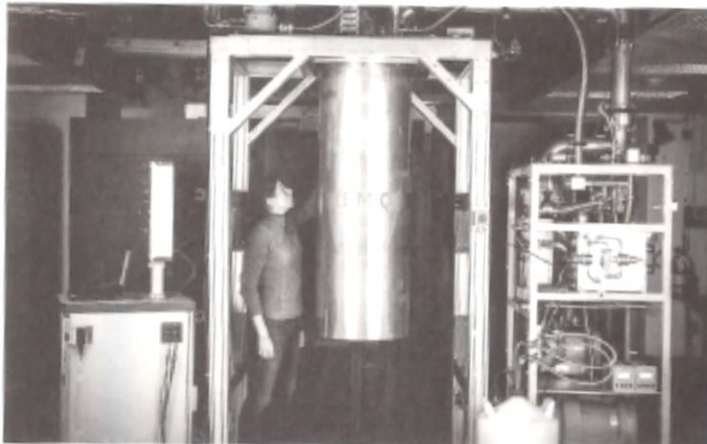
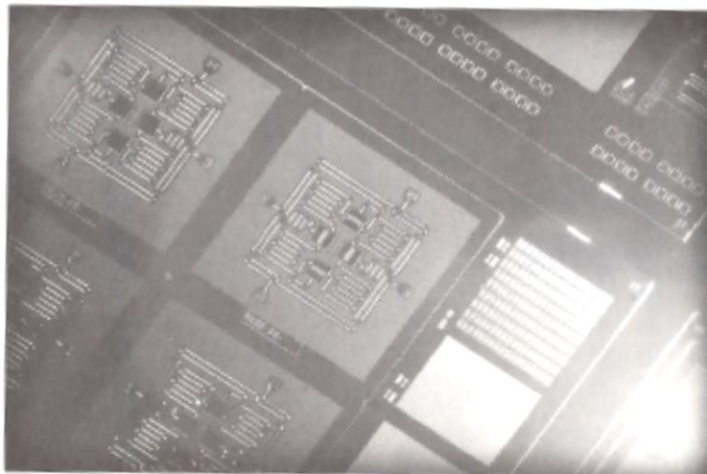


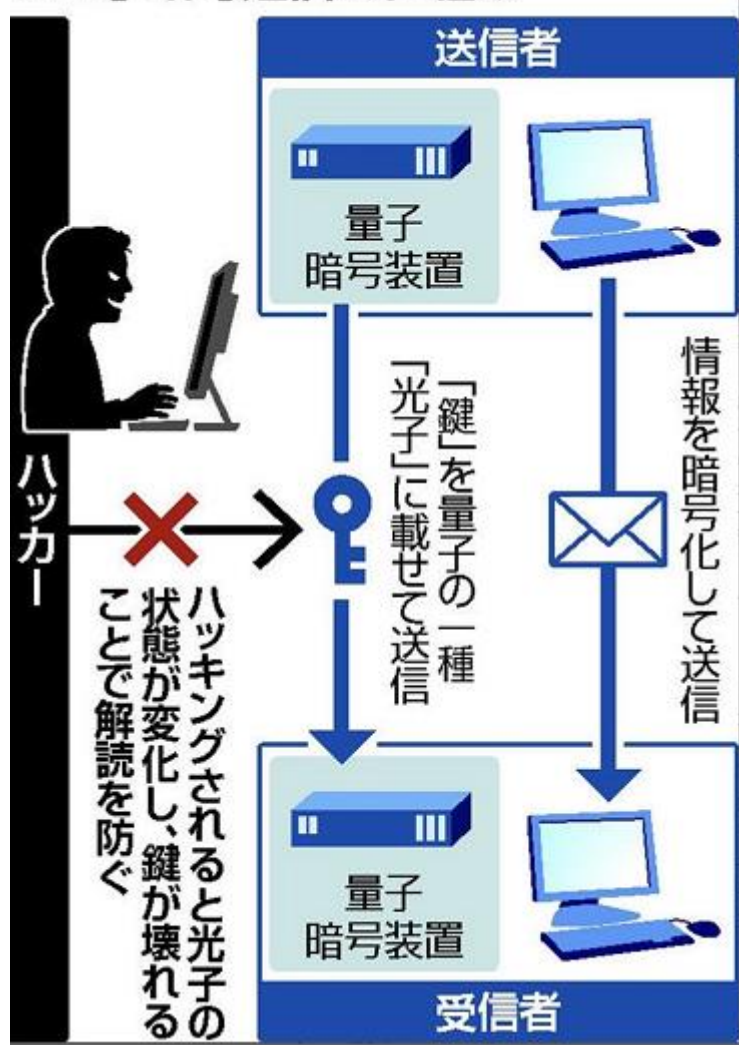
図11 IBMの量子コンピュータのチップ (画像提供: 日本IBM)



2021年7月日本に設置された  
27ビットの量子コンピューター

# 量子暗号通信

## 量子暗号通信の仕組み

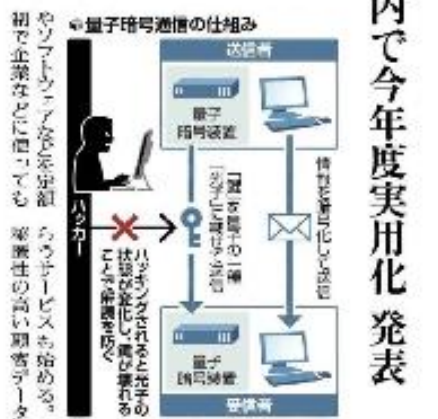


(2020年10月19日 読売新聞)

「鍵」を量子の一種「光子」に載せて送信  
ハッキングされると光子の状態が変化し、鍵が壊れることで解読を防ぐ

## 東芝量子暗号通信 「5000億円」目標

国内で今年度実用化発表  
25年度完了  
鍵を量子の一種「光子」に載せて送信し、ハッキングされると光子の状態が変化し、鍵が壊れることで解読を防ぐ

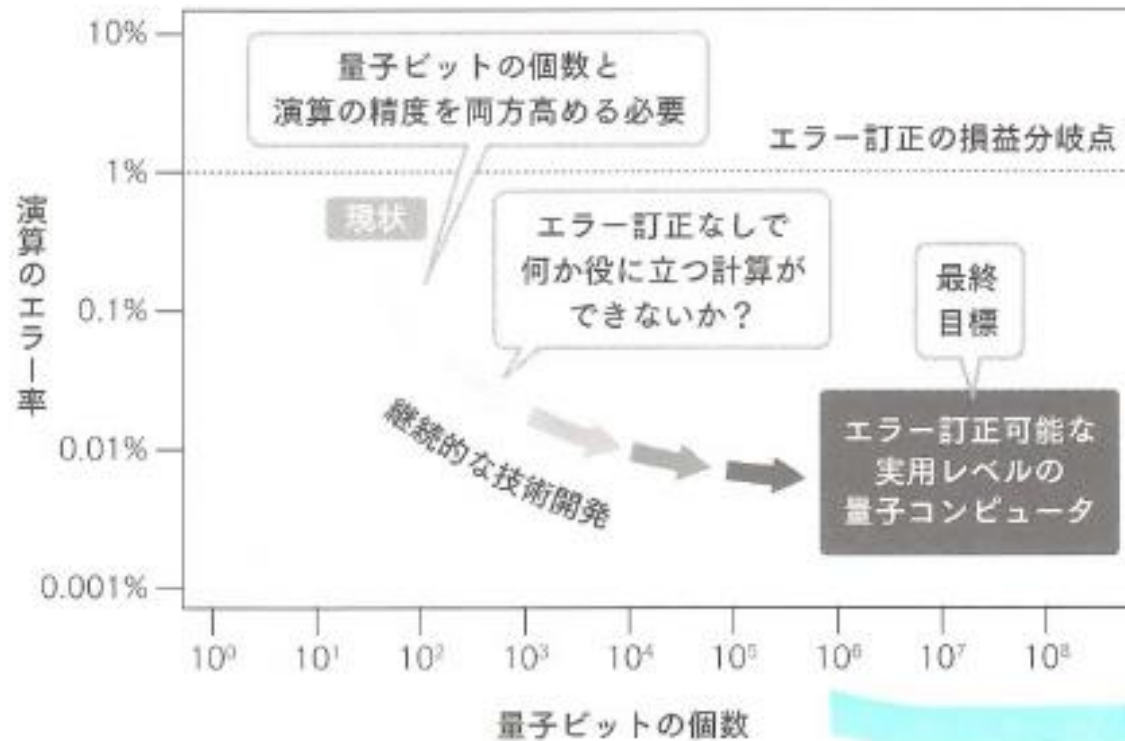


量子暗号通信は安全性の確保が最大の課題である。量子暗号通信は、量子の性質を利用し、盗聴されると通信内容が壊れるため、盗聴を防ぐことができる。東芝は、量子暗号通信の実用化を目指し、2020年度に国内で実用化を発表する。25年度には完了を目指す。5000億円を目標とする。



# 今後の量子コンピューター開発

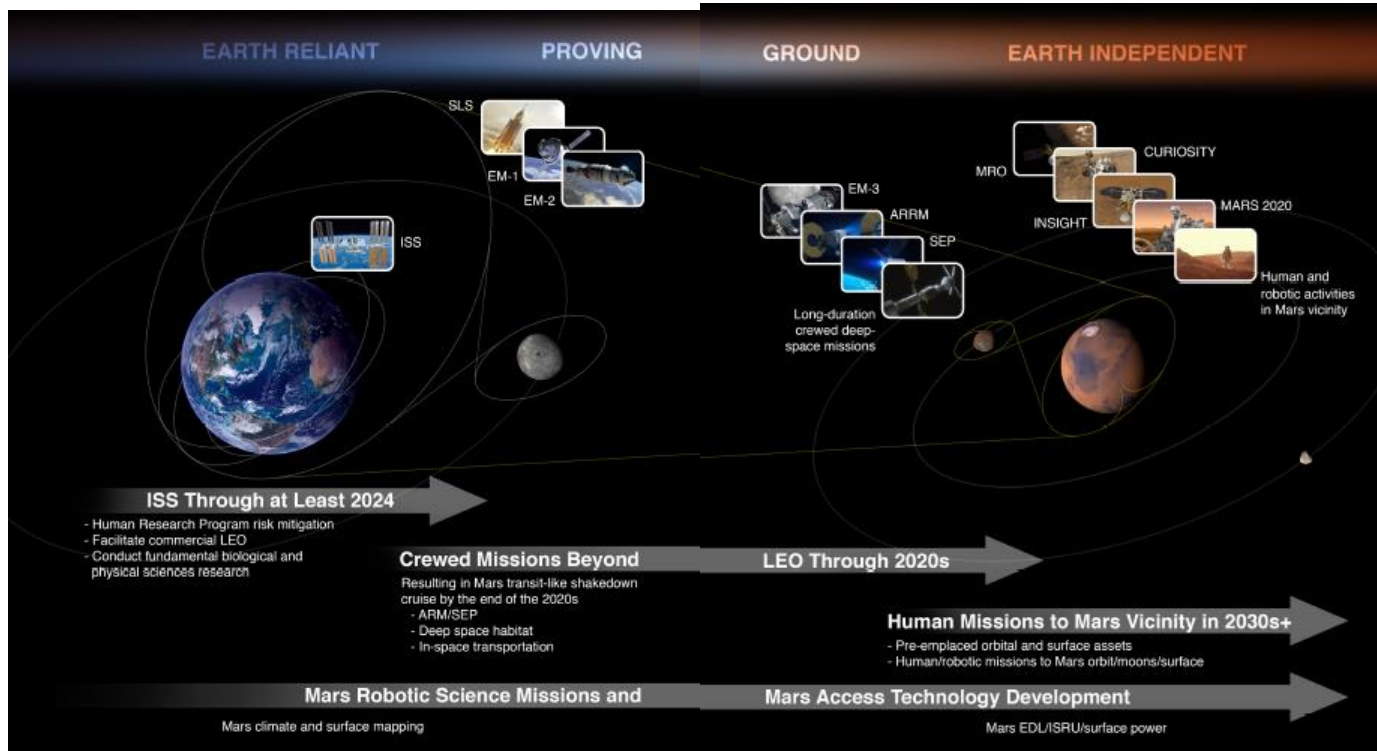
図6 今後の量子コンピュータ開発の流れ



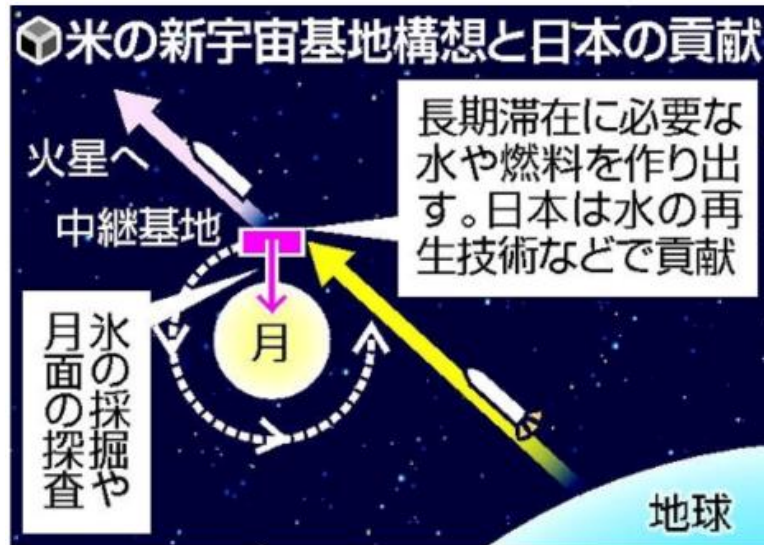
問題の規模が大きくなると計算の手間が爆発的に増え、現在のスパコンでは解くのが難しい問題が山ほどある。— 化学計算(電子の軌道への入り方)、データベース検索、最適化問題等

# 宇宙科学技術

# Journey to Mars (NASA)



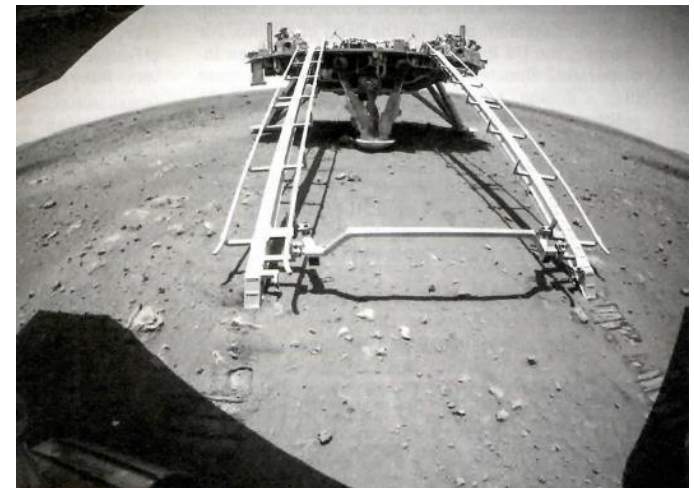
# 月周回有人拠点(Gateway)構想 (2028年完成予定)



# アメリカ・中国の火星探査機

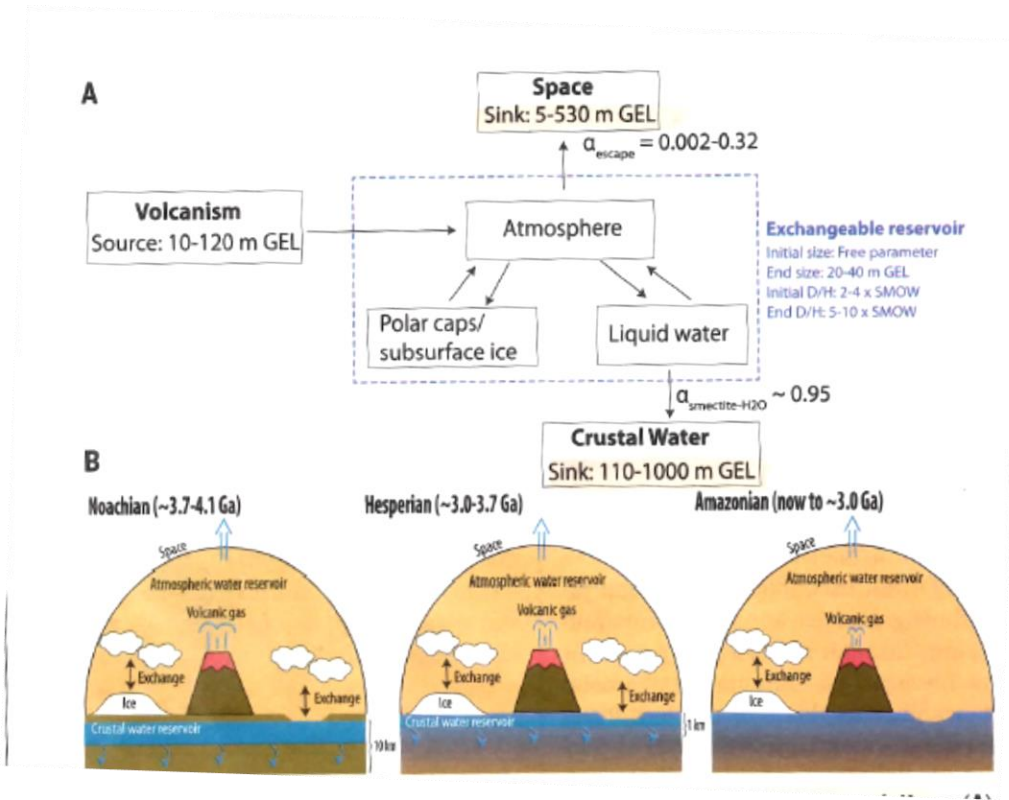


火星での小型ヘリ飛行テスト（4月19日）  
NASA探査機「パーサヴィアランス」

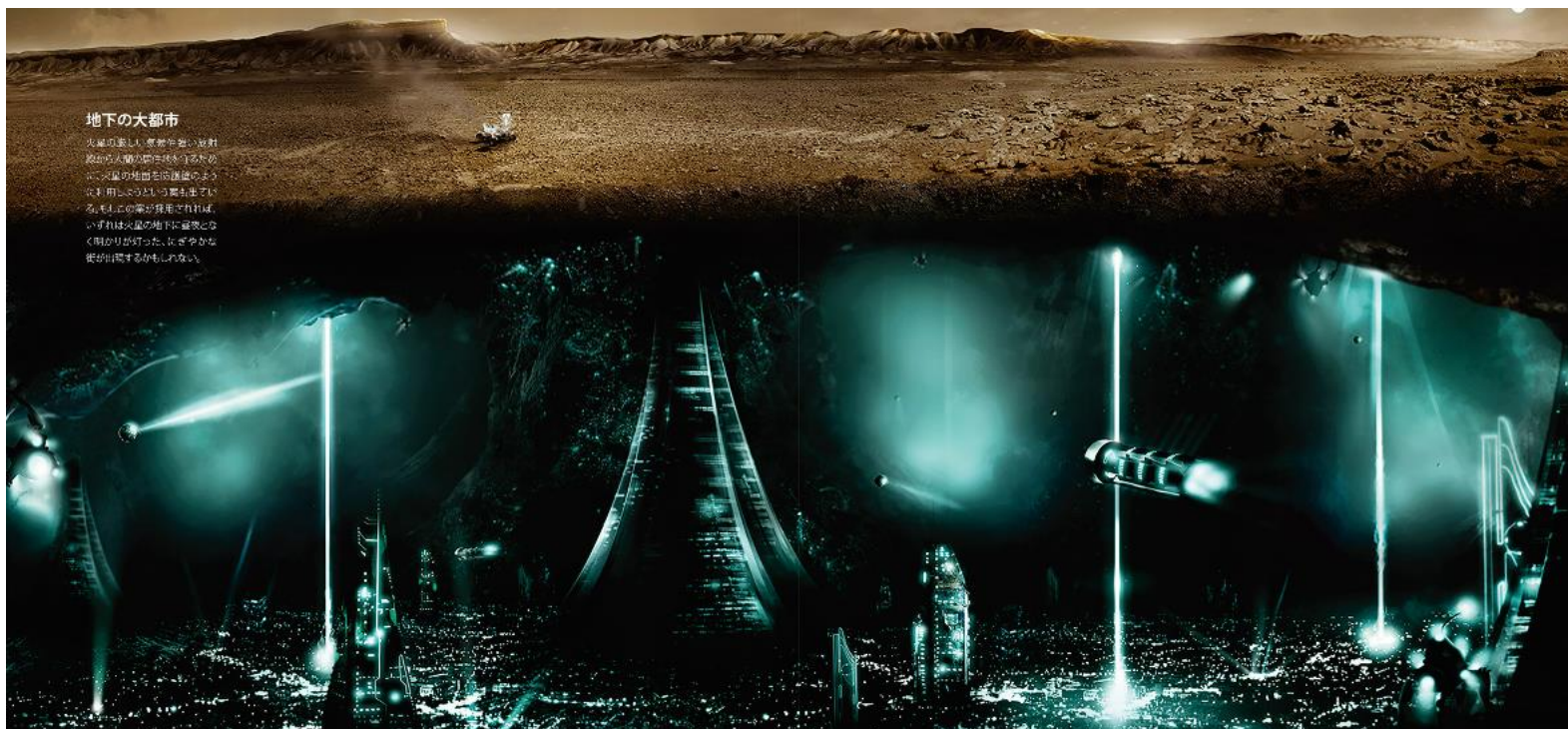


中国の火星探査機「祝融」から  
探査機「天問1号」を撮影（5月）

火星には従来考えられていたより大量の水（氷）が地殻中に存在している。



# 火星に建設される都市のイメージ



**13** 気候変動に  
具体的な対策を





# グリーンランド・ヘルハイム氷河

2002年以降7 km後退し、薄くなりつつある。  
融解水の池が現われ、バスタブリングがくっきりと見える。



Bathtub Ring

# IPCC・2018年1.5°C特別報告書

- 産業革命前に比べて、世界の平均気温は人間活動によって約1°C上昇した。既に異常気象、海面上昇などが起こっている。
- このままのペースで温暖化が進めば、2030年から2052年の間に気温は1.5°C上昇する。（産業革命以前に比して）
- 地球の平均気温が1.5°C上昇すると
  - 沿岸部の都市は洪水に見舞われる
  - 島国は水没する
  - サンゴ礁は死滅する
  - 生物の多様性への大きな影響がある。

# 海面上昇により放置されたモスク (インドネシア・ジャカルタ)



# 2050年における都市の気候変化

(Thomas Crowther etc.)

- | 2019                          |   | 2050                      |
|-------------------------------|---|---------------------------|
| • シアトル (米)<br>(北緯47度)         | ⇒ | サンフランシスコ (米)<br>(北緯38度)   |
| • ニューヨーク (米)<br>(北緯41度)       | ⇒ | バージニアビーチ (米)<br>(北緯36度)   |
| • マルセイユ (仏)<br>(北緯43度)        | ⇒ | アルジェー (アルジェリア)<br>(北緯37度) |
| • カトマンズ (ネパール)<br>(北緯27度)     | ⇒ | 深圳 (中国)<br>(北緯23度)        |
| • ストックホルム (スウェーデン)<br>(北緯59度) | ⇒ | ブタペスト (ハンガリー)<br>(北緯47度)  |

# グリーン成長戦略実行計画 (2020年12月)

足下から2030年、  
そして2050年にかけて成長分野は拡大

## エネルギー関連産業

① 洋上風力産業  
風車本体・部品・浮体式風力

② 燃料アンモニア産業  
発電用バーナー  
(水素社会に向けた移行期の燃料)

③ 水素産業  
発電タービン・水素還元製鉄・  
運搬船・水電解装置

④ 原子力産業  
SMR・水素製造原子力

## 輸送・製造関連産業

⑤ 自動車・蓄電池産業  
EV・FCV・次世代電池

⑦ 船舶産業  
燃料電池船・EV船・ガス燃料船等  
(水素・アンモニア等)

⑨ 食料・農林水産業  
スマート農業・高層建築物木造化・  
ブルーカーボン

⑪ カーボンリサイクル産業  
コンクリート・バイオ燃料・  
プラスチック原料

⑥ 半導体・情報通信産業  
データセンター・省エネ半導体  
(需要サイドの効率化)

⑧ 物流・人流・  
土木インフラ産業  
スマート交通・物流用ドローン・FC建機

⑩ 航空機産業  
ハイブリッド化・水素航空機

## 家庭・オフィス関連産業

⑫ 住宅・建築物産業/  
次世代型太陽光産業  
(ペロブスカイト)

⑬ 資源循環関連産業  
バイオ素材・再生材・廃棄物発電

⑭ ライフスタイル関連産業  
地域の脱炭素化ビジネス

- 世界に通用する研究者になるために

# 国際級研究人材 アンケート対象者(102人)

---

- 国際賞の受賞者
- 国際的に権威のある学会の会員
- 重要な論文の著者
  - あなたが研究者をめざす上で、動機・きっかけを与えたもの、あるいは影響を受けたもの等について、記入して下さい。
  - 現在の学校教育や家庭教育をはじめとした教育のあり方について、御提言があれば記入して下さい。

# 研究者を目指すきっかけ・動機 (高校生時代まで)

- 先生 (含家庭教師) の影響で科学への興味や研究者への憧れをもった。(14名)
- 小学生時代に親族に研究者 (医者、技術者含む) がおり影響を受けた。(15名)
- 親が科学に理解、関心を持っていた。(3名)
- 自然に親しみ、触れる機会が多かった。自然に美を感じた。自然の中で困難を克服し精神力がついた。(23名)
- ものを作ったり、試したり、分解したり、組み立てたり、原理を考えたりする経験が良かった。(11名)



# 研究者を目指すきっかけ・動機 (高校生時代まで)(続き)

- 本、特に伝記類、文学作品をよく読んだ。(13名)
- SF系の漫画・小説、科学番組などの影響を強く受けた。(4名)
- 数学、物理、化学、生物等が面白かった。(15名)
- 高2の時1週間で教科書をやり終えた。独力で先を勉強。(3名)
- 中学、高校時代に趣味に没頭できた。(4名)

# 研究者を目指すために重要なこと

---

- 自分の引き出し(興味が持てる分野)をたくさん持ち、研究の動向をフォローしておく。
- 3-4人の先生に教えを乞い、その人たちの研究スタイルのいいところをマネする。
- T型研究者よりも $\pi$ (パイ)型研究者をめざす。

# 研究することの目的

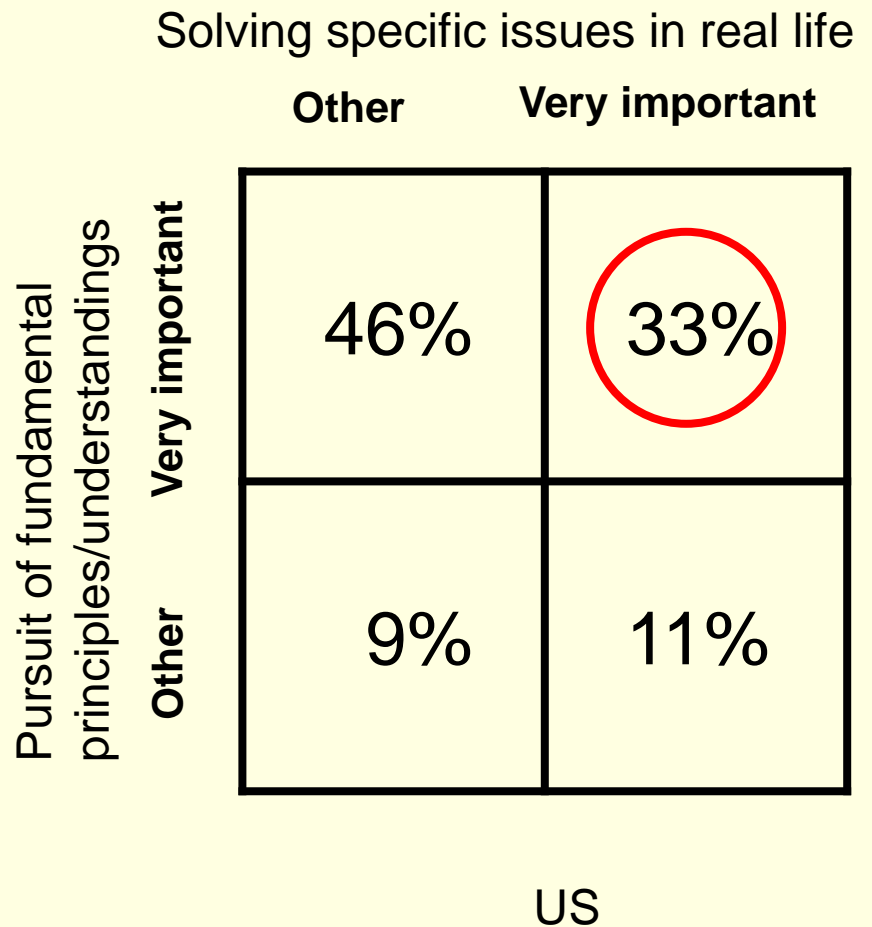
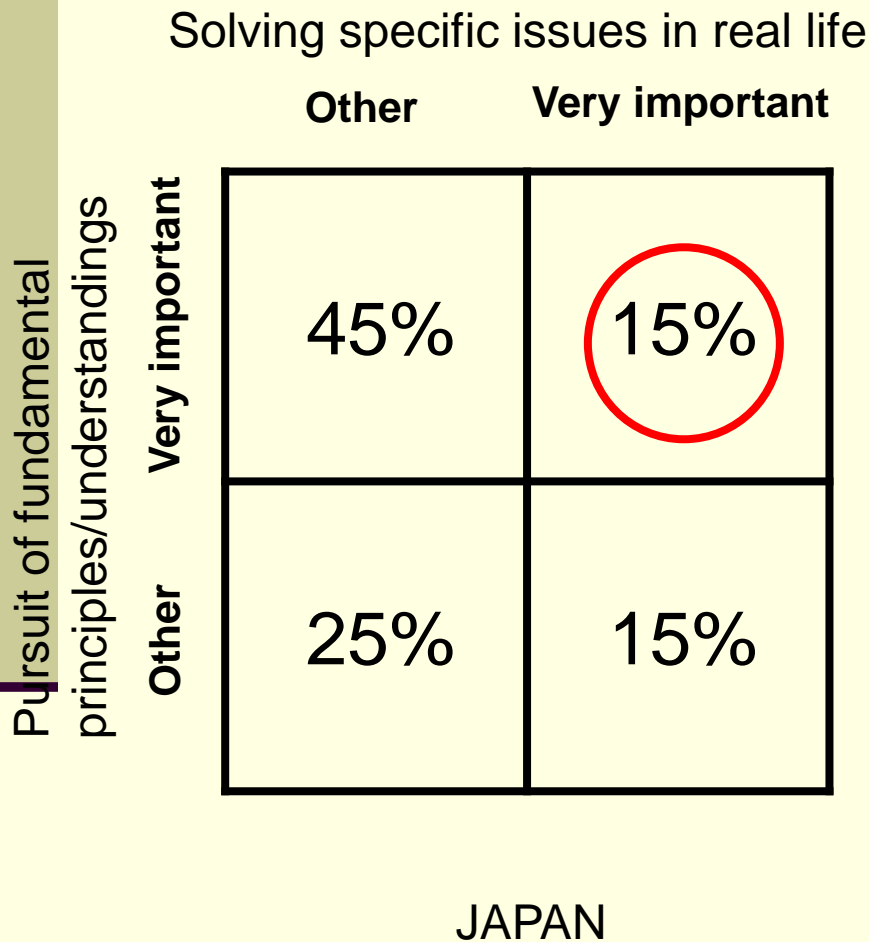
社会に役立つことを目的にしていますか？

真理の探究が  
目的ですか？

	No	Yes
Yes	ボーア型研究 (自然や生物の原理と原則を解明する研究)	パスツール型研究 (原理の解明により、社会で使用されることが期待される研究)
No	ペーターソン型研究 (データをしっかりそろえていく研究)	エジソン型研究 (実用に供されることがすぐに期待される研究)

# 優秀な研究成果を生み出した研究の動機(日米比較)

Motivation for the projects which produced top 1% highly cited papers



# 科学者の名言

- ガリレオ・ガリレイ(天文学者、物理学者)
  - どうして君は他人の報告を信じるだけで、自分の眼で観察したり見たりしないのですか。
- ルイ・パスツール(生化学者、細菌学者)
  - 発見のチャンスは準備のできた者だけに微笑む。
- カタリン・カリコ(mRNAワクチンを開発した生物学者)
  - 不可能だと知らないからこそ、実現できることもあります。

御静聴ありがとうございました。