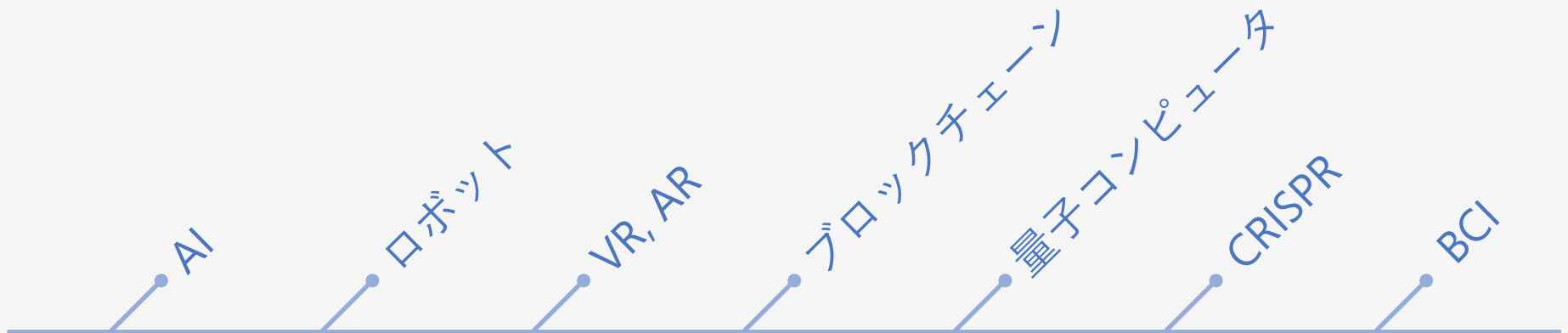


医療 × AI, 量子コンピュータ, ブロックチェーン, and more...

2017.06.15 Technology NEXT 2017

沖山 翔



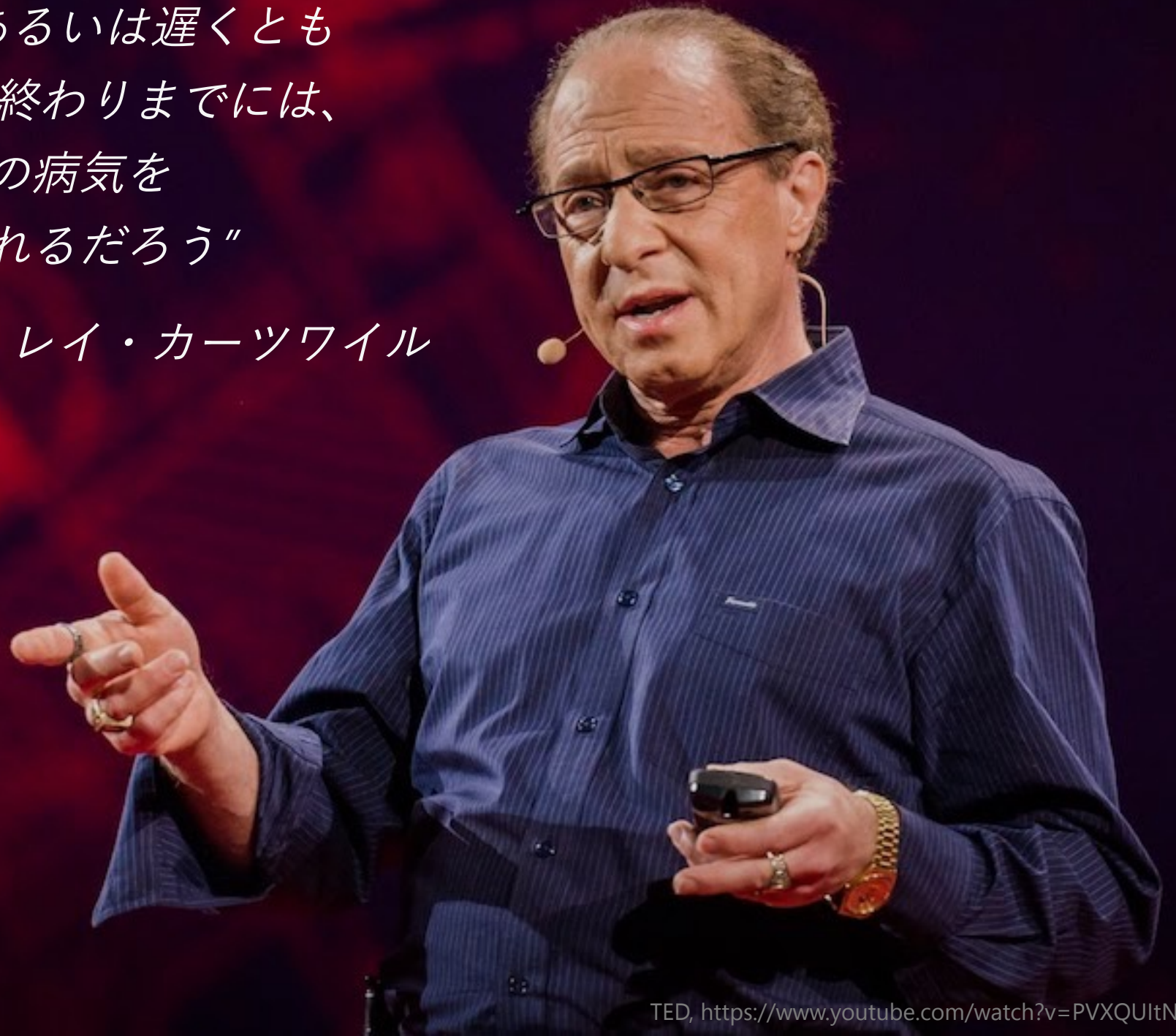
“21世紀の終わりまでに全ての病気を
治療し、予防し、あらゆる病気に
対応できるようにしたい”

— マーク・ザッカーバーグ

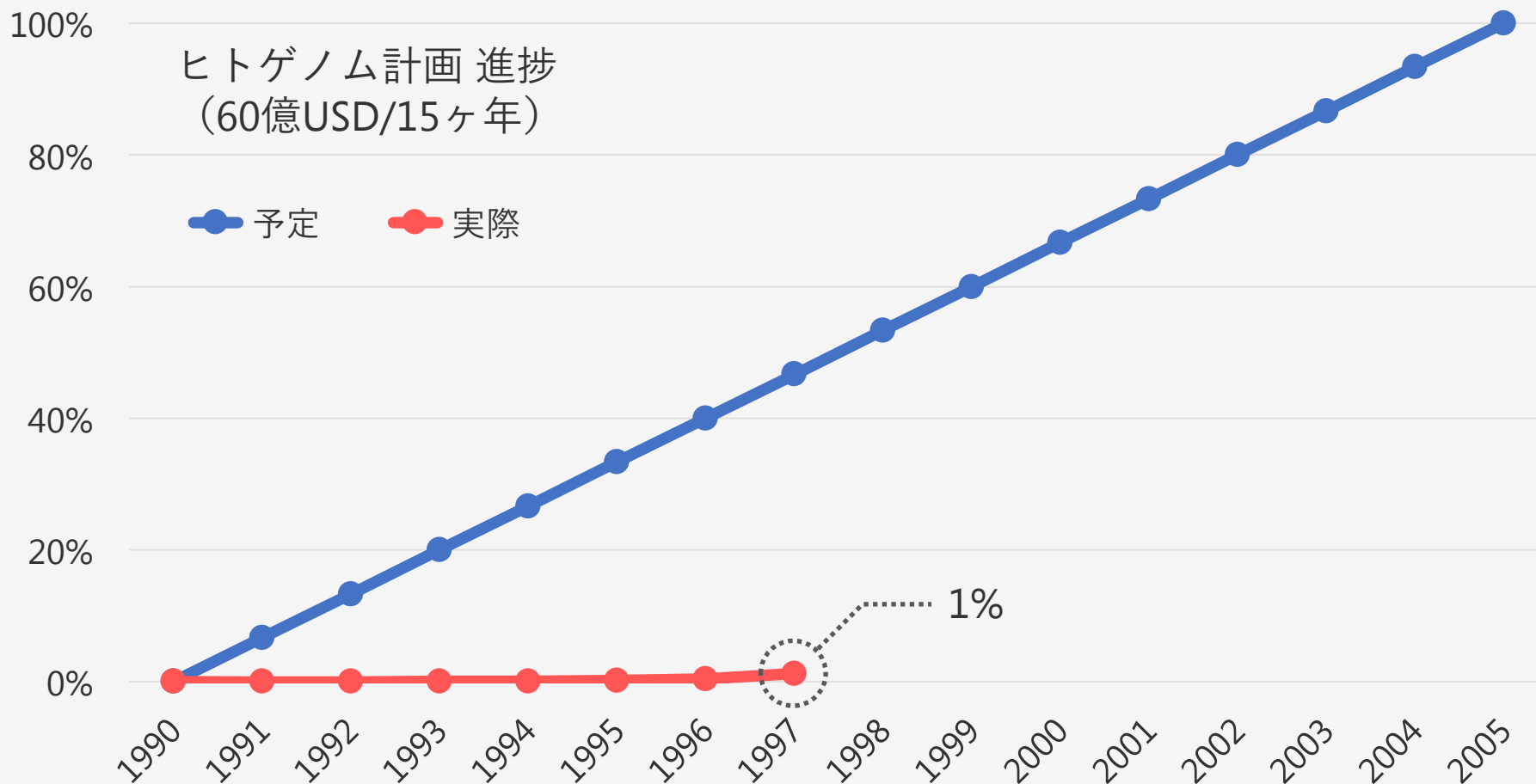


“2030年、あるいは遅くとも
2030年代の終わりまでには、
人類は全ての病気を
乗り越えられるだろう”

— レイ・カーツワイル

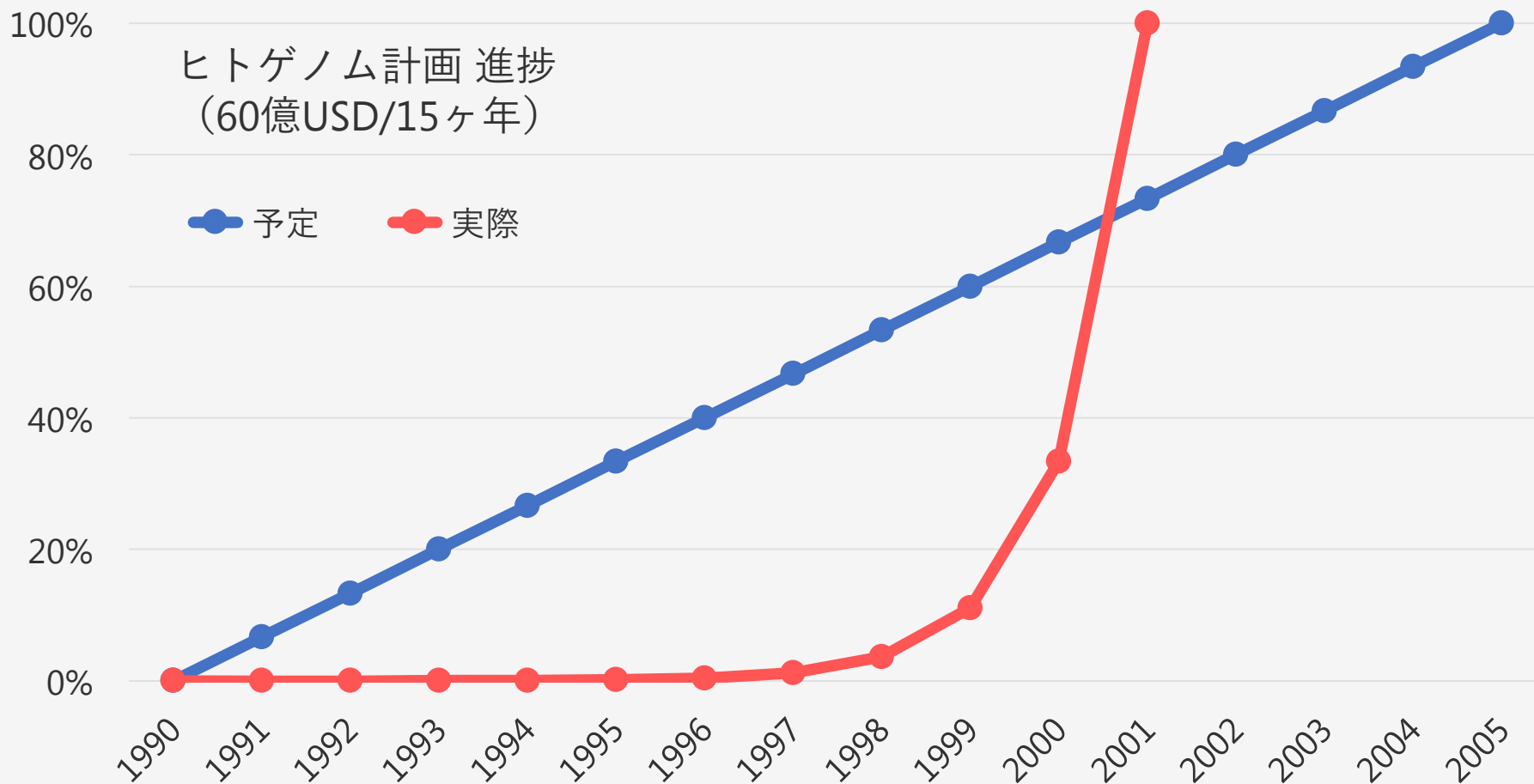


テクノロジーの進歩は指数関数的

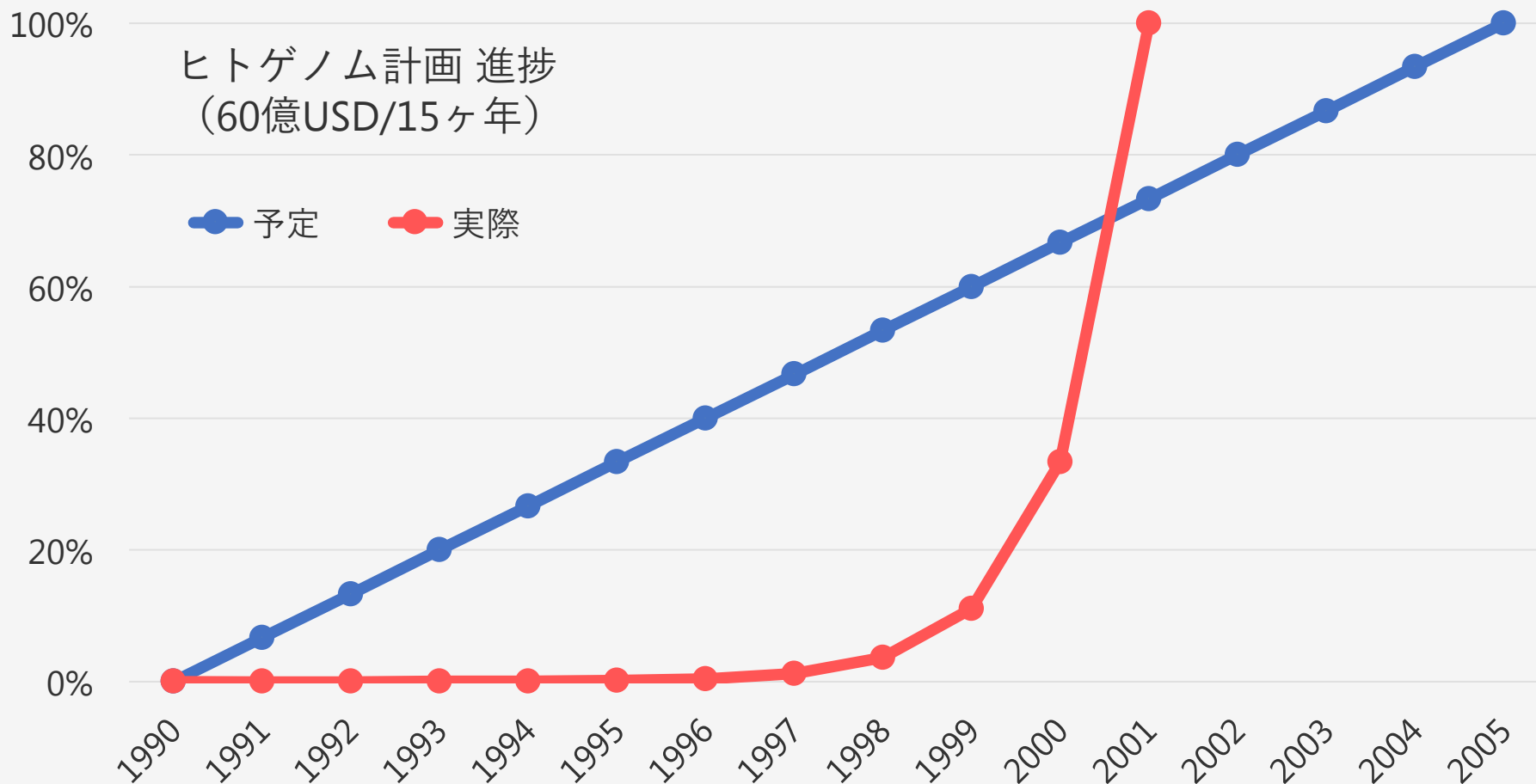


1997年 ゲノムの解読達成率は1% 多くが計画中止を主張
しかし「1%終わったのなら、もう半分終わったに等しい」

テクノロジーの進歩は指数関数的



テクノロジーの進歩は指数関数的



「誰しも自分の想像力の限界が、世界の限界だと誤解する」

(ショーペンハウアー)

人工知能 (AI)



なぜいまAIなのか



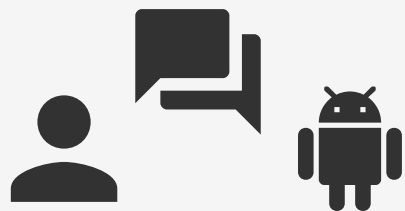
大量のデータ

クラウド化による大量のデータ



ハードウェアの進化

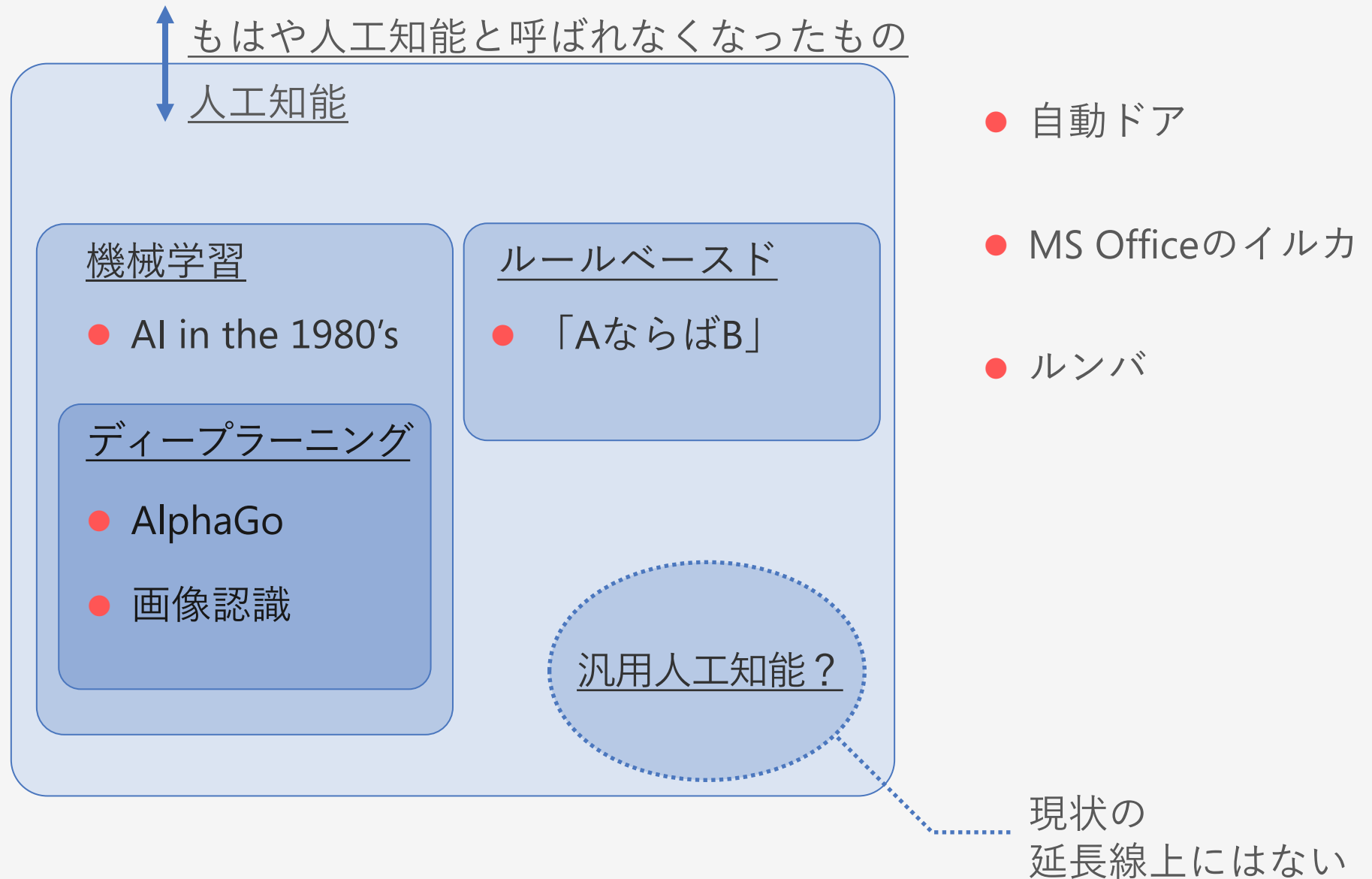
GPUによる並列処理、計算速度の向上



キャッチーな事例

Pepper、アルファ碁 世間からの期待感

AIのレイヤー



ディープラーニング

これまで



すべて人が教えていた

- ヒゲはあるの？ないの？
- 口は何個？
- あれは？これは？

何をどこまで教えるべきか不明

現在



機械が勝手に共通点を学習

- 似た写真ごとに分けといて！
- あ、この山が「ネコ」ね。

サンプル数が増えれば個体差は吸収、
平均すると「猫らしさ」が残る

「特徴量」とは

これまで

[円] ある点からの距離が
等しい点の集合

定義できるものは扱える

[爬虫類] えー、変温動物で
足が4本あって...

性質列挙のみでは扱えない

ディープラーニング

[爬虫類] トカゲとね、ワニと
カメとイモリと...

サンプルさえ与えれば、

「爬虫類という概念」の抽出は
AI任せでOK



定義しづらい抽象的な概念も
性質のまま (=特徴量) 扱える

特徴量の演算



元絵

+



画風



<https://deepart.io/>

絵の単純な合成ではなく、
〈ゴッホらしさ〉という
特徴量の取り扱いが可能に

医療 × AI

ELIZA (1966)

カウンセリング式の対話型プログラム
(世界初のチャットボット)

MYCIN (1975)

感染症の治療方針を提示。一般内科医を上回る正確性
(ルールベースドな広義の "AI")

どちらも「パッと見」すごいが、
医療現場には入り込めないままAIは冬の時代へ...

医療 × AI

ELIZA (1966)



Siri (2011)

カウンセリング式の対話型プログラム
(世界初のチャットボット)

MYCIN (1975)



Watson (2011)

感染症の治療方針を提示。一般内科医を上回る正確性
(ルールベースドな広義の "AI")

どちらも「パッと見」すごいが、
医療現場には入り込めないままAIは冬の時代へ...

そしてディープラーニングの時代へ

レントゲンやCTの画像診断

- 見逃し率：0%（人間は7%）
- 誤診率：30%減（人間比）
- 処理速度：5万倍（人間比）

オーストラリアで実証実験中（40医療機関）

「AIが見逃したらどうするの？」

人間による見逃しや誤診断は現状 3万件/day（米国内）



新薬探索を効率化

- 特定のタンパク質に作用しやすい分子構造をスクリーニング
- 必要期間を数百分の一に短縮
- エボラウイルスの治療薬候補を発見

創薬領域のブレイクスルー

能動的な分子検索が日々加速

その他 注目の取り組み

Google “Project Baseline”

対象者1万人、1億ドル/4年間のプロジェクト
ゲノム、血液、尿、唾液、涙液 etc. 現代版フラミンガム研究

DeepMind Health + NHS

Google傘下DeepMind + 英国国民保険サービス
眼科疾患（診断+治療）から着手

Stanford大 皮膚がんの画像診断

皮膚科専門医を上回る成績

人間が着目しない、がん細胞周囲の細胞の様子からも診断

ディープラーニングの課題 1

データの質と量

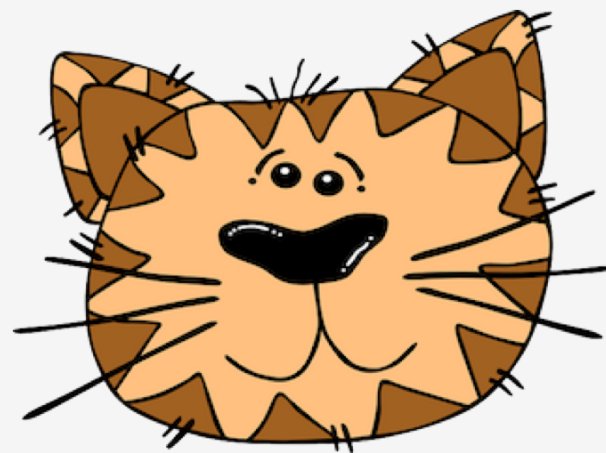
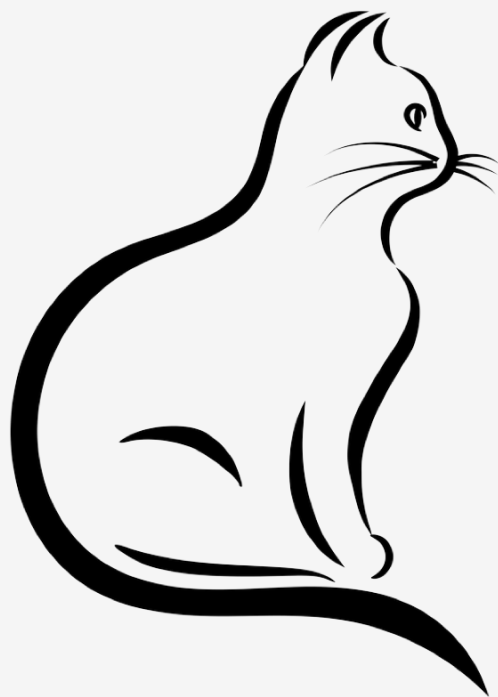
イチから学習するには**大量の適切なサンプル**が必要



AIが認識した「ダンベル」

ディープラーニングの課題 2

学習データ外への応用が利かない

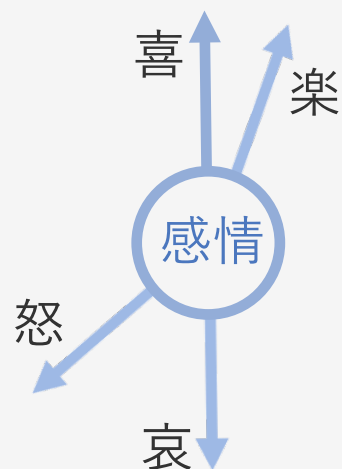


どれもネコなのに・・・

ディープラーニングの課題 3

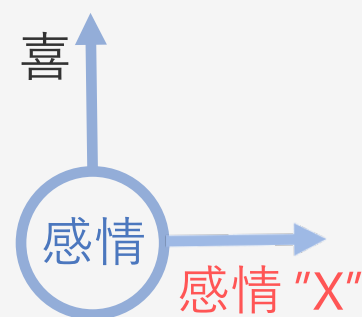
AIの理解が人間には直感的でない。
根拠不明のブラックボックス

感情の因数分解
(人間流)



「4種類も不要では？」
「喜と楽は重複しています」
「哀 = マイナス 喜」

感情の因数分解
(AI流)



合理的だが、"X" に相当する感情は
人間にはイメージしづらい

課題はあれど日々解決へ

機械学習は、より人間らしく

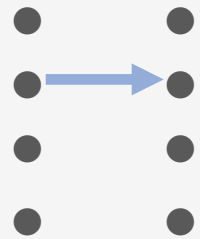
- 転移学習：アメフトで学んだ経験がラグビーに活かせる
- one-shot/zero-shot learning：初めてペリカンを見ても、それが鳥の一種だと分かる

頭の中を画像で表現

- GAN (Generative Adversarial Network) :
学習内容を画像化して出力。人間にとって直感的で、
また出力画像を使った自学自習も可能

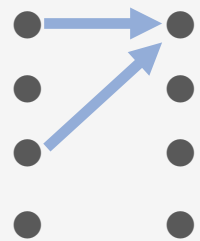
医療におけるAIの可能性 1

N対1 の診断



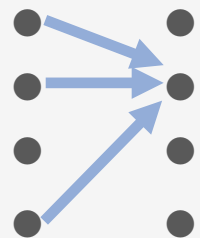
1対1の関係

「if 胸が痛い then 心臓病だ」



2対1の関係

「if 熱が高いわりに脈が早くなってない then
レジオネラ感染症だ」 → ほぼ人間の限界

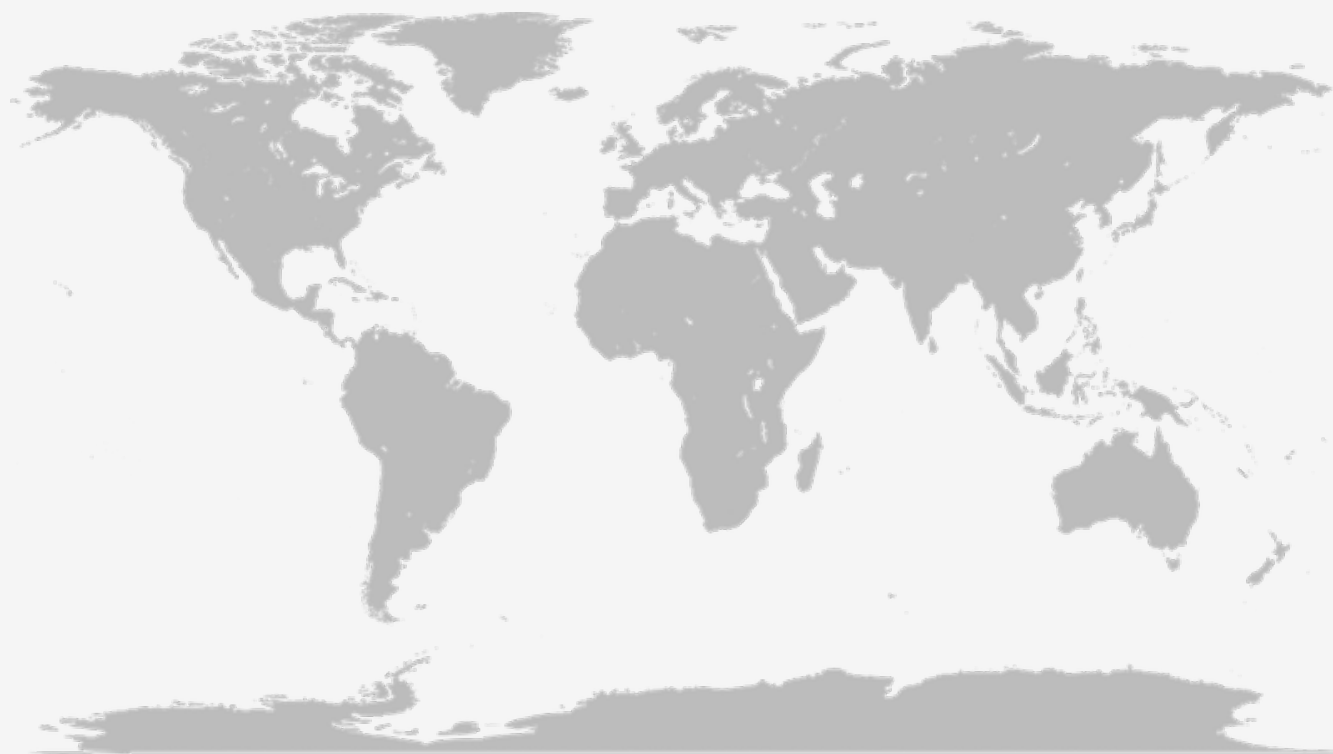


N対1の関係

「if 高齢でO型Rh+のわりに血尿があるが咳はない
then ...」 → 変数が多すぎて人間には処理不能

医療におけるAIの可能性 2

報告から臨床の時間差がゼロに



患者の特徴ベクトル検索 + 論文網羅 + 自動翻訳

非英語圏の医学誌から類似症例を見つけ出す

その他 親和性の高い領域

医師アラート

検査や治療の抜け漏れ、薬剤飲み合わせチェック、etc.

病気の発症スクリーニング

ウェアラブルから心身の異常検知。悪化前の受診提案

入院業務効率化

患者検査の順番、事故の未然防止、入院部屋の効果的割振

画像診断、創薬

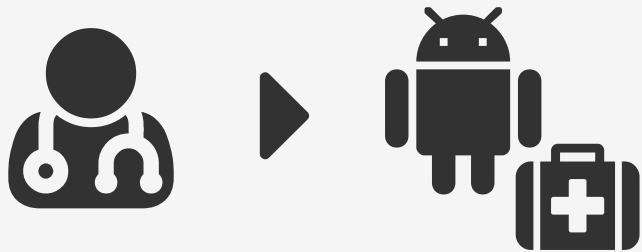
先述事例紹介の通り、AIアルゴリズムと相性よい

ロボット



ロボットのもたらす価値

自動化



- 効率化と再現性向上
- 人間は有事の対応に

運動・感覚能力の拡張



- 精度と自由度の高い動き
- 五感の能力増強
- 六番目以降の感覚獲得

ダ・ヴィンチ

- 体力増強：座って手術できる + アームレスト
- 視力増強：3D内視鏡 + ズーム視 15倍
- 手が3本に：3本のアームを1人で操れる
- 関節機能増強：関節可動域360度
- 神経、筋肉機能増強：自動手ぶれ補正
- 小脳機能増強：モーションスケール (1:5)

道具を超えた、人間の能力増強デバイス

STAR (Smart Tissue Autonomous Robot)

- Johns Hopkins大と共同開発
- 2016年 豚の腸を自動縫合 人間よりも正確
- 視覚：赤外線 + 空間構造の把握
- 触覚：腸管の感触、縫合糸の締まり具合
- 縫合で大切なこと：
悪いひと針を減らす > 良いひと針を増やす

その他 注目の取り組み

Verb Surgical

GoogleとJ&J社が共同で設立、手術アシストロボット
トップ5%外科医の技術を誰でも再現可能に

Virtual Incision

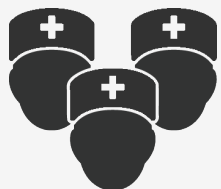
手のひらサイズのダ・ヴィンチ型ロボット
腹部に開けた穴から挿入し、体内から手術を行う

医療におけるロボットの可能性 - 医療者側



人的リソースの代替

採血、点滴、
簡易手術の自動化（レーシック、皮膚腫瘍除去）



専門技術のコモディティ化（運動能力拡張）

指先は震えず、縫合は均一で、
内視鏡は腸壁に当たらず、止血は確実に



事前情報量の増加（知覚能力拡張）

センサーやVR, AR技術との統合で手術部位の温度、
磁力、物質の質感や密度が「見える」ように

医療におけるロボットの可能性 - 患者側



リハビリテーション

リハビリの質向上、低下した運動機能の代替



ロボットコンパニオン

Pepperやペット型ロボット

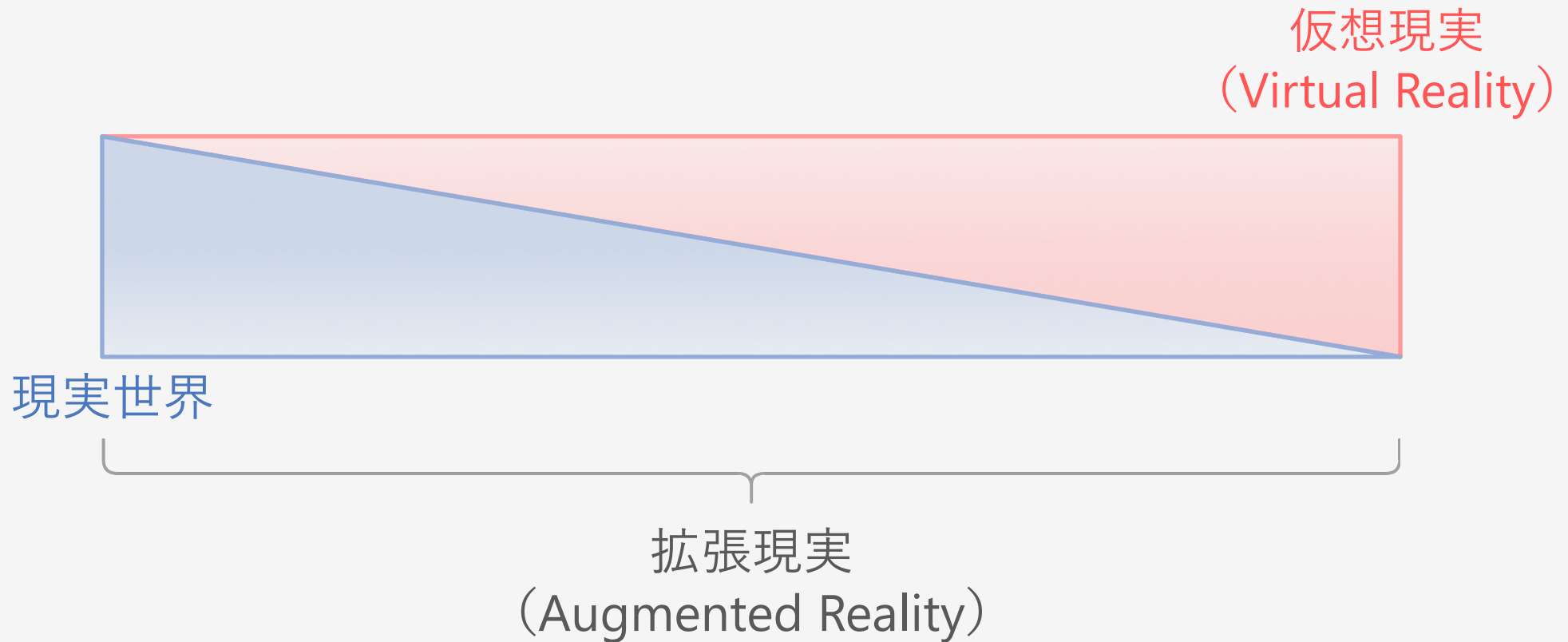
社会的孤立は心身の健康と相関。

モニタリング、コミュニケーションデバイスを兼ねる

VR, AR



VR, ARとは



VR：100% 仮想空間。その場で使うのが前提

AR：現実空間も見える。動きながら体験可能

MRとは

MR (mixed reality)

現実の拡張という立場の“AR”よりも、
現実、仮想世界の境界のなさを強調した表現
ニュアンスの差以外はARと同義

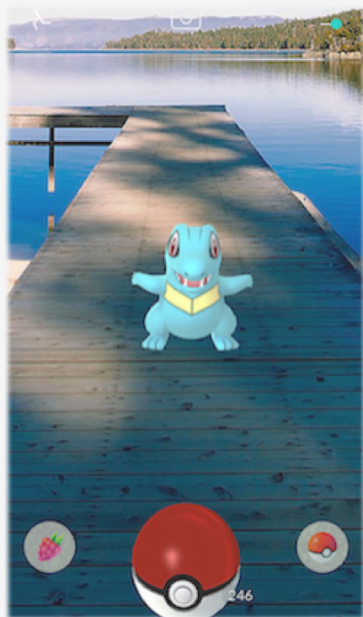
(本資料内では“AR”に統一)

大衆向けモデルはゲームから



バーチャルボーイ (VR)

任天堂、1995年



ポケモンGO (AR)

Niantic (Googleより独立)

2015年

代表的なVRハード



Oculus Rift

2016/3~ : Facebookによる買収 (2014, \$2B)



HTC Vive

2016/4~ : ルームスケール機能で部屋をVR空間に



PlayStation VR

2016/10~ : 日本語、低価格、PS4で作動



Google Cardboard

2014/6~ : 本体はスマホを利用

代表的なARハード



Google Glass

2013/2~2015/1 :

プライバシー懸念から一般販売は中止に



Microsoft HoloLens

2016/3~ : 開発者向けモデルのみ販売



Magic Leap (未発売 未公表)

プロダクト完全秘匿のまま企業価値は \$4.5B へ

ARの核となる技術

現実空間の把握

ダブルカメラ（奥行き認識）、GPS、地磁気センサー、
加速度センサー、ジャイロセンサー

高速演算処理

視線方向が変わるとARデータも連動追尾

ユーザー行動によるインプット

ユーザがとった行動を認識し、AR空間にフィードバック反映

Surgical Navigation Advanced Platform

CT, MRI画像を元に**患者の体をVRで再構成**

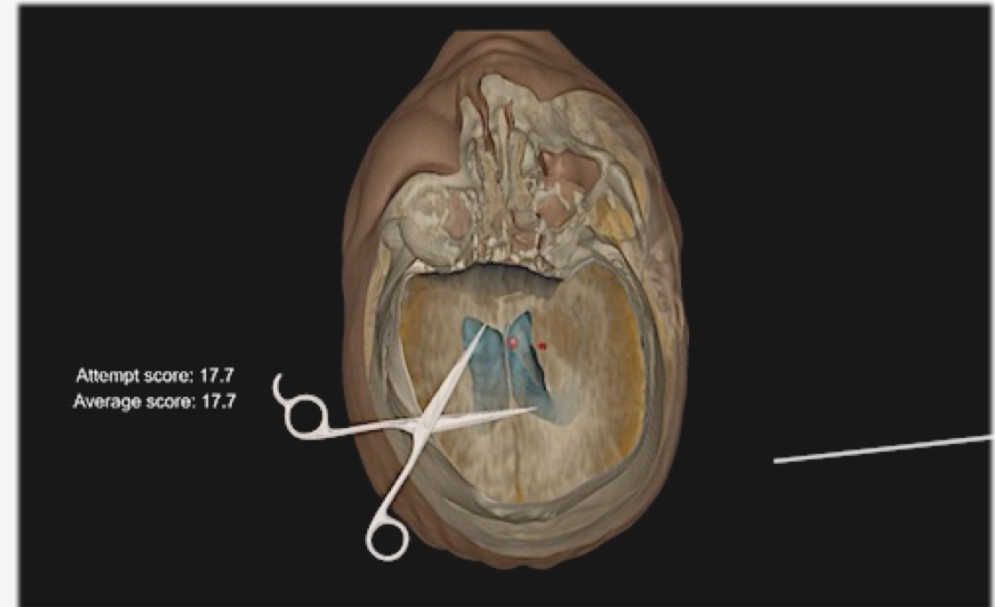
手術のシミュレーション、医学生教育に活用



Immersive Touch

手術訓練シミュレーター

VRを用いた手術シミュレーション
術者には触覚フィードバックが返る



Virtually Better

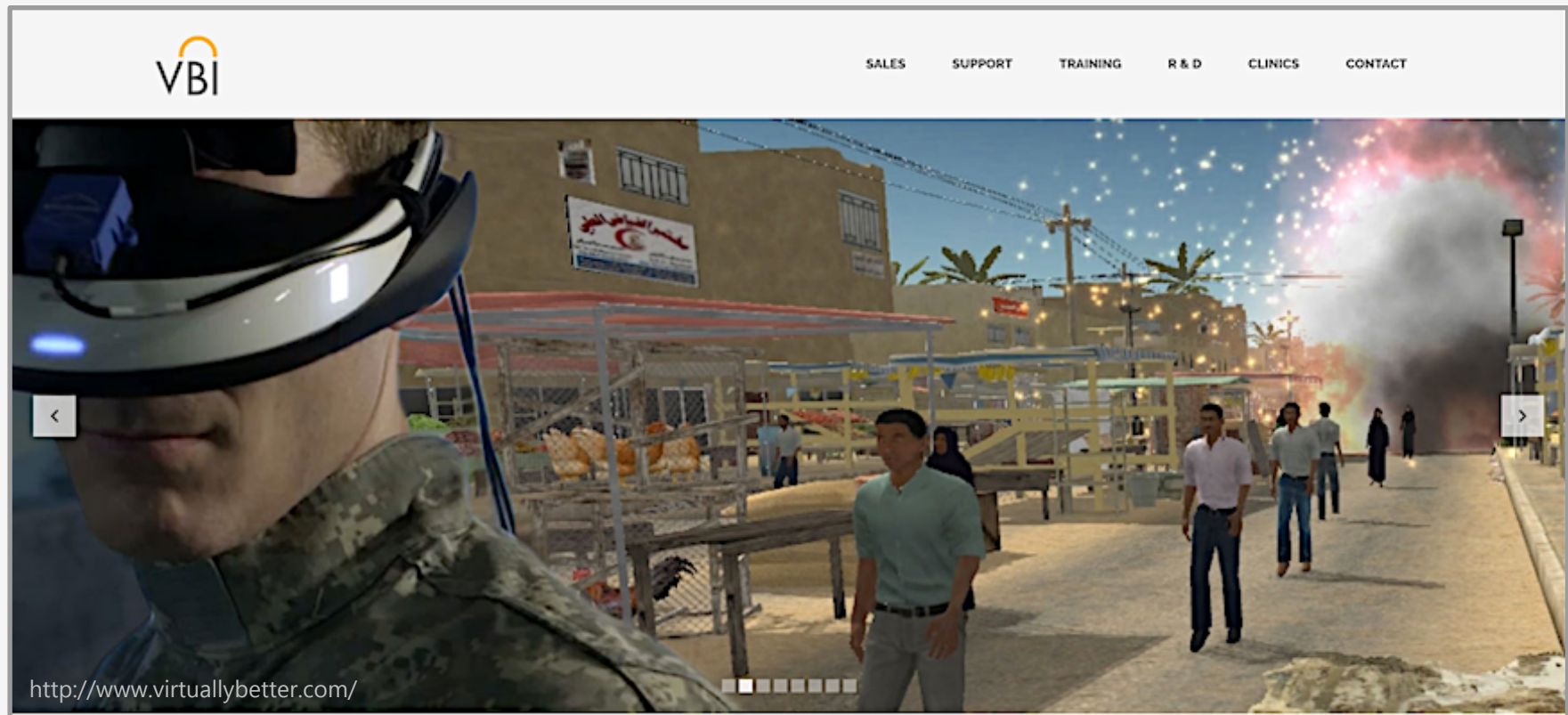


<http://www.virtuallybetter.com/>

Brave Mind

米国では軍人のPTSD発症が問題に

暴露療法¹の一種としてすでにエビデンスあり



VR, ARのもたらす価値

VR性：時間の操作性

早送りによる時間短縮、時間逆移動によるやり直し

VR性：空間の操作性

行けないところへ行ける、すぐに行ける、対象物の拡大&縮小

AR性：五感（モダリティ）の拡張

センサーやIoTとの連携で見えないものが「見える」化

医療におけるVR, ARの可能性



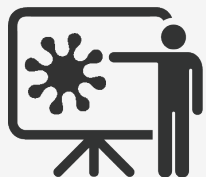
シミュレーション、訓練

失敗が許される環境下の訓練



視力拡張

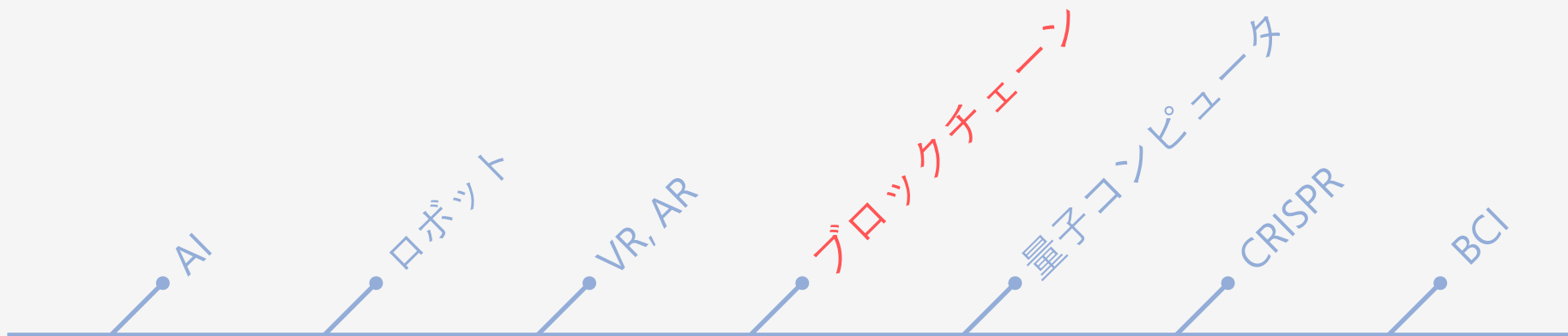
手術室で体内構造や、腫瘍周囲の動脈を可視化



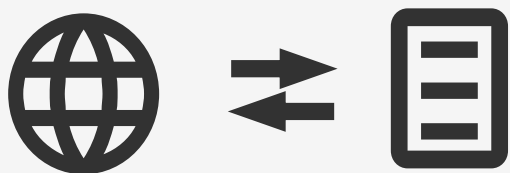
患者へのビジュアライゼーション

言葉での説明から、体験する説明へ

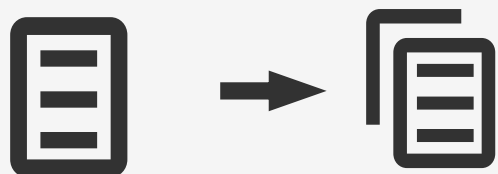
ブロックチェーン



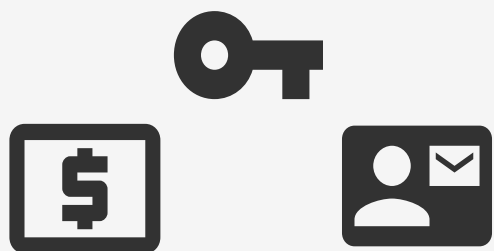
ブロックチェーンとは



インターネットは情報を扱う



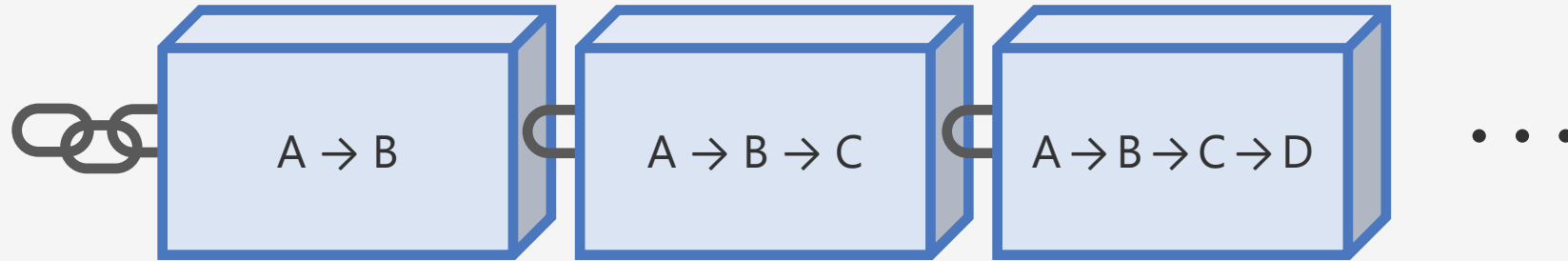
情報はコピー、改竄できてしまう



多くのものが情報化され、
コピーや改竄されると困るものばかりに

デジタル情報の真偽を保証する技術がブロックチェーン

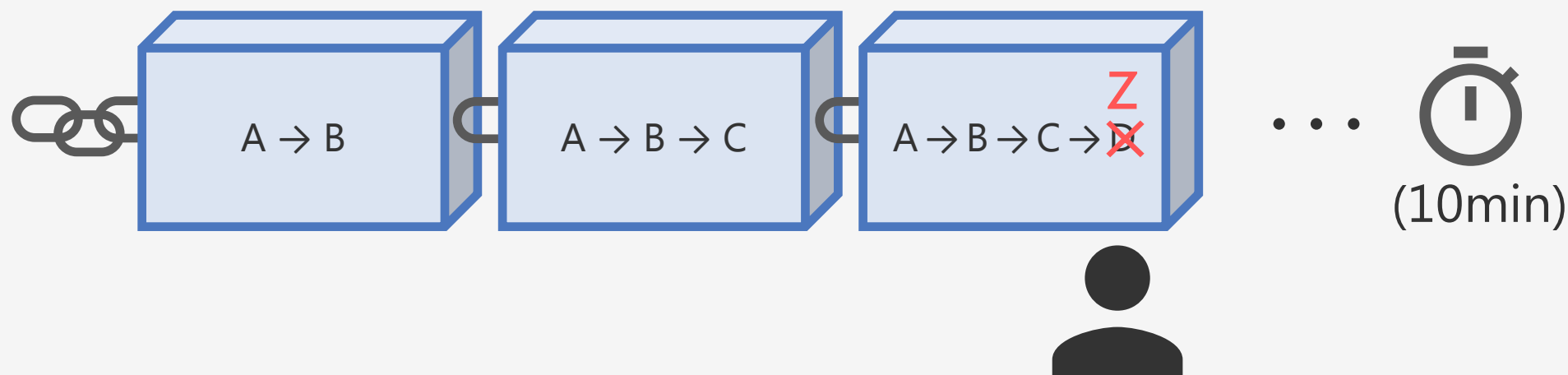
仕組み（ビットコインを例に）



- 取引をまとめてブロックとして扱う
- ブロックには過去の取引結果が記録されている
- 10分ごとに繋がって伸びていく

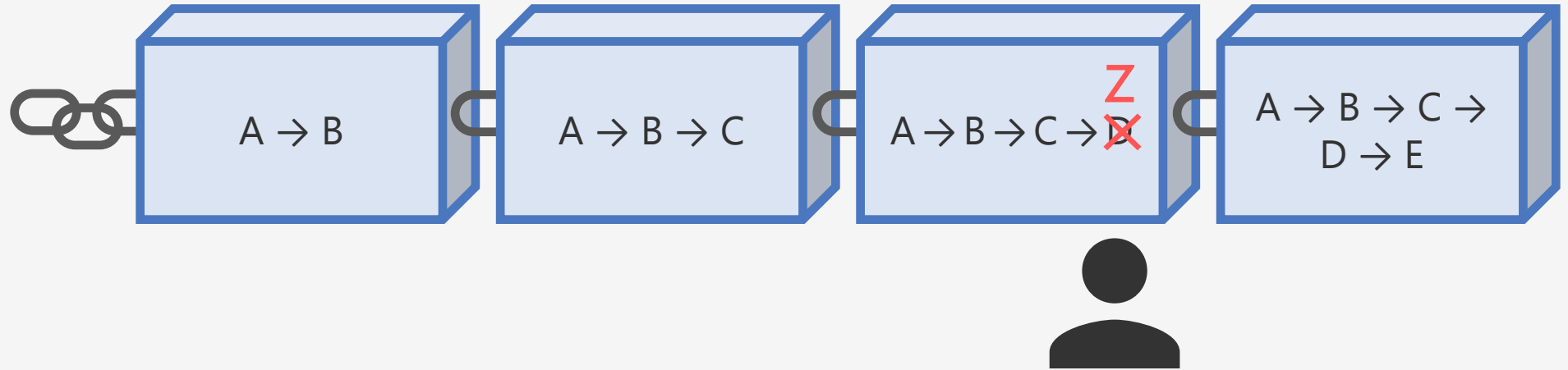
ブロック + チェーン = ブロックチェーン

仕組み（ビットコインを例に）



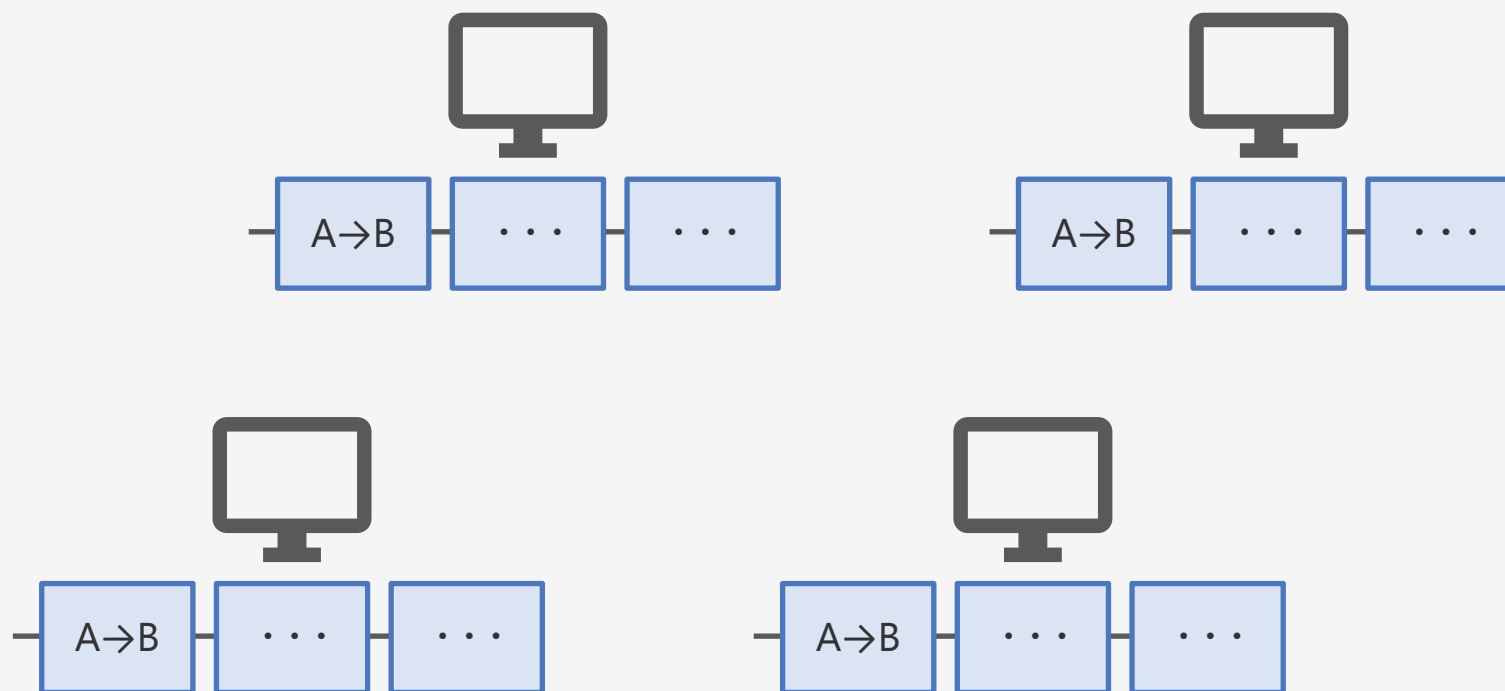
不正書き換えは10分以内に済ませないと、

仕組み（ビットコインを例に）



不正書き換えは10分以内に済ませないと、
ブロックが次々と伸びてイタチごっこに

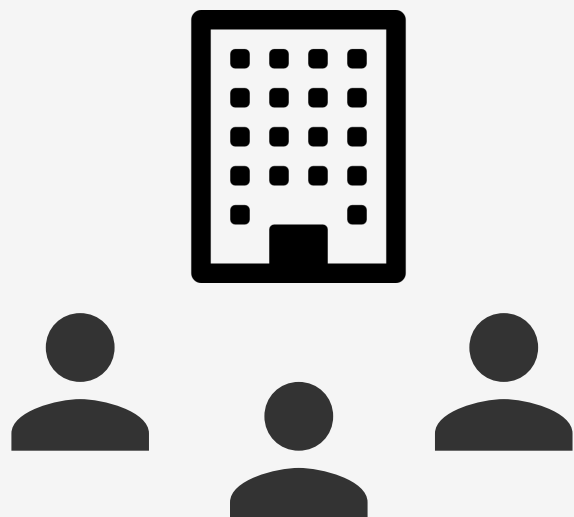
しかも全員が同じチェーンをもっている



「不正ができない取引記録台帳」

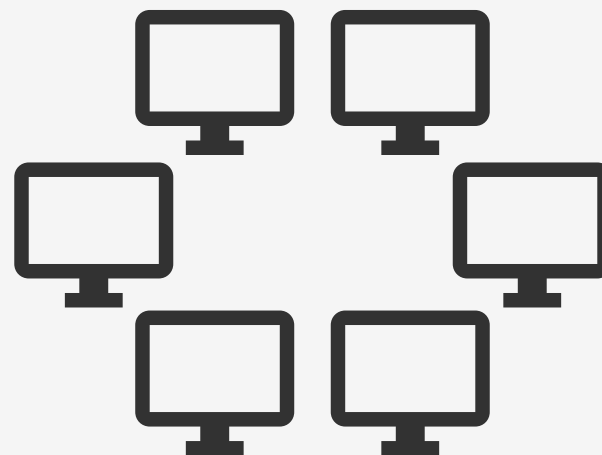
情報の分散管理

これまで



- 国、企業が情報を管理
- ユーザーは情報を
使わせてもらう立場

ブロックチェーン



- 中央不在
- ユーザー全員が対等

ブロックチェーンのもたらす価値

中央管理者の不在 ▶ 権力体からの脱依存

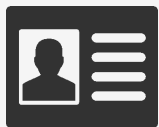
- 国、大企業に頼らない社会へ
権力体に頼るリスク：独裁化、トップとの共倒れ
- リスク例：貨幣 → 政府が倒れてハイパーインフレ
- リスク例：年金 → 管理不備により納付記録が消失

情報のデジタル化

- 複製、改変の恐れが減り、デジタル化が促進
- 例：役所手続き、身分証明、資格や成績、契約書

派手さはないが社会のインフラとなる技術

医療におけるブロックチェーンの可能性



医療記録の個人管理

公開権限の患者保有、生涯アクセスログ



医薬品のトレーサビリティ

献血製剤、遺伝子組み換え製剤



医療者の習熟度評価、労務管理

誰が何の手術を何件やったか、時間外労働時間の把握

注目の取り組み

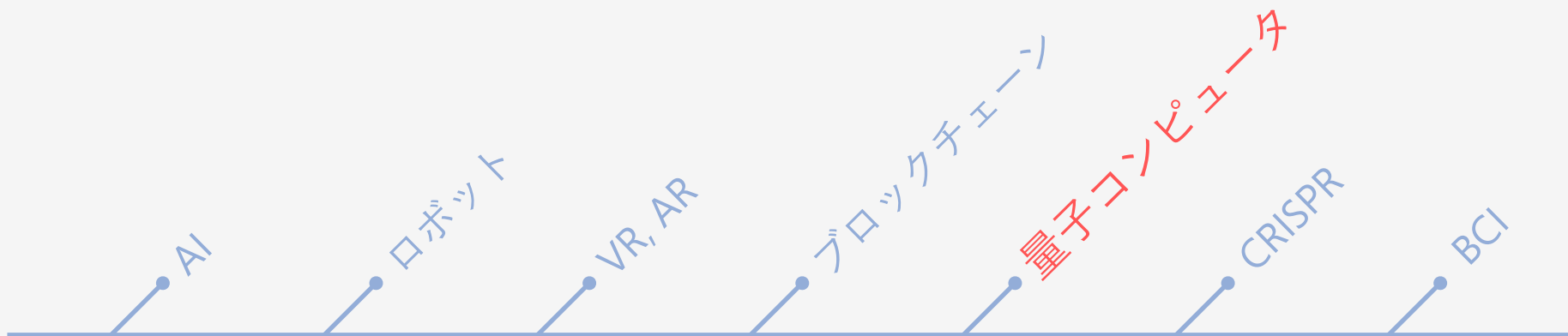
DeepMind Health

英国国民保険サービス (NHS) が患者データを提供
自分の情報をどこで誰が用いたか、患者自身が確認可能に

MIT MedRec

医療情報の公開範囲を患者が管理
ブロックチェーンで情報の正真性を担保

量子コンピュータ



量子コンピュータとは



「従来のコンピュータの1億倍速い」

– Google

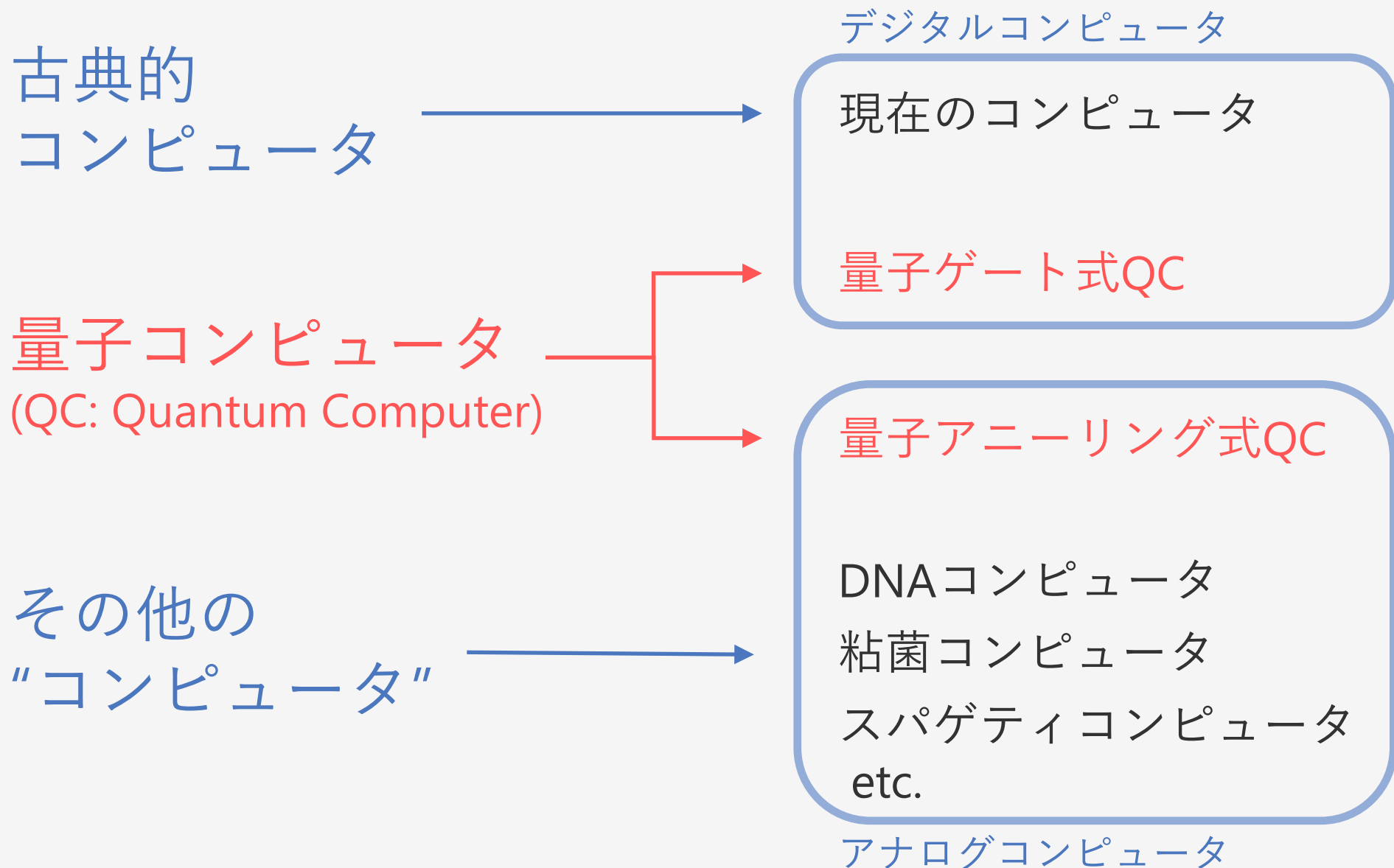


従来のコンピュータでは
解き得ない問題が解ける



「完成は21世紀後半では...」

コンピュータの種類



量子コンピュータの種類

量子ゲート式

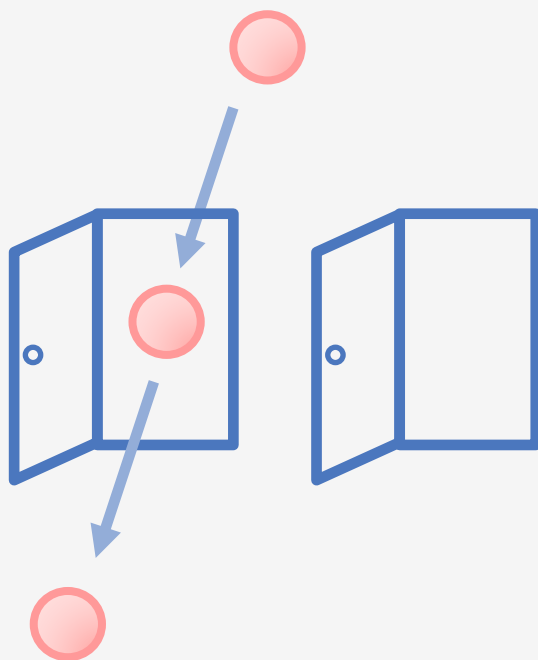
- 今のコンピュータの数万倍早い上位互換（理論上）
- ハードは小ビット数のプロトタイプのみ存在
- ソフトもまだまだ研究段階でアルゴリズム種類少ない

量子アニーリング式

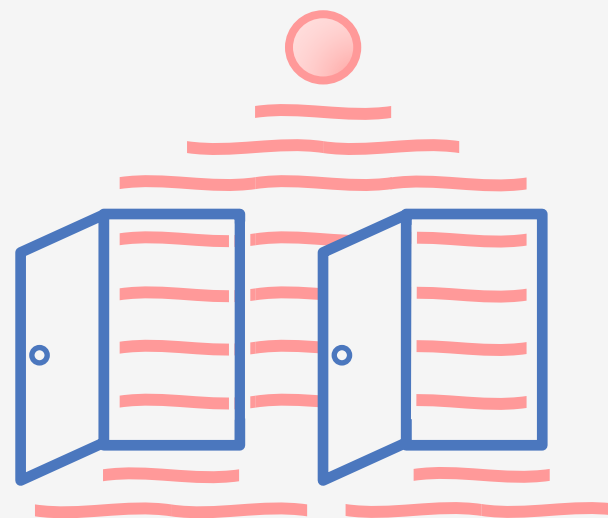
- 今のコンピュータと根本的に概念が異なる、物理シミュレータ
- 用途限られるがこの型のみに解ける問題が存在（最適化問題）
- D-Wave社より2011年に発売開始

量子の性質

粒子であり、波でもある

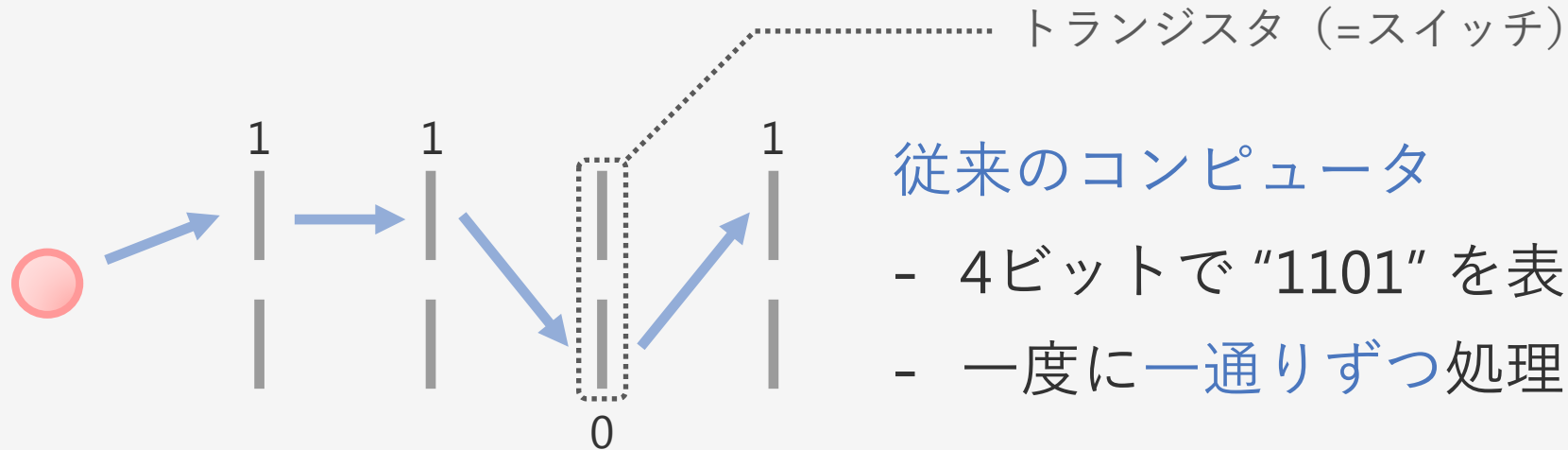


粒子：どちらか一方を通る



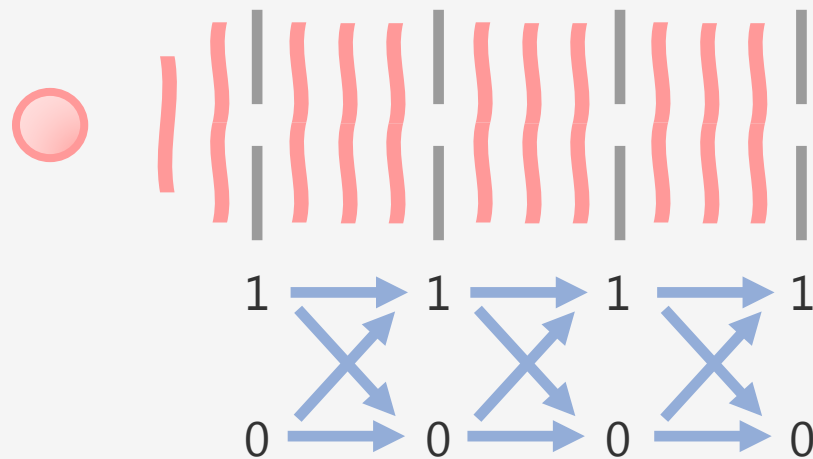
波：同時に両方を通る

非量子と量子



従来のコンピュータ

- 4ビットで "1101" を表している
- 一度に一通りずつ処理



量子ゲート式 量子コンピュータ

一度に $2^4 = 16$ 通りを同時処理
(N量子ビットなら 2^N 通り)

量子の並行処理性 (=速い) を利用したのが量子ゲート式QC

もう一つ的方式

量子ゲート式



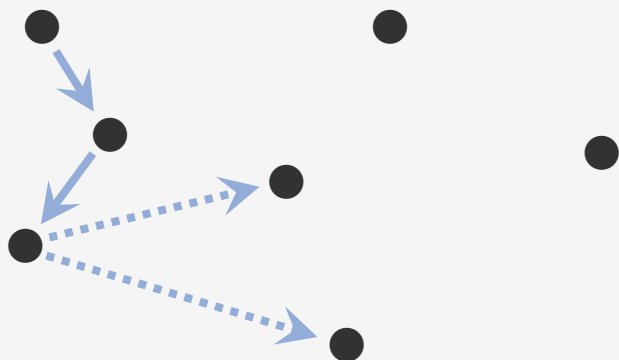
量子アニーリング式

向いている問題

最適化問題

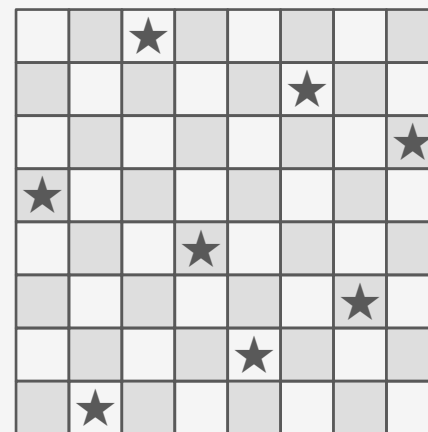
与えられた条件内で目標値を最小化する問題

巡回セールスマン問題



一筆書きの総距離を最小化する

Nクイーン問題

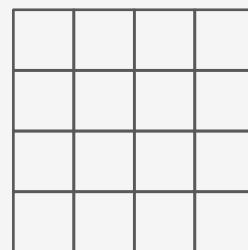


$N \times N$ 格子にチェスのクイーンを N 個並べ、経路上の重複を最小化する（無くす）

問題へのアプローチ（量子アニーリング式）

問題

きれいに埋めなさい



条件

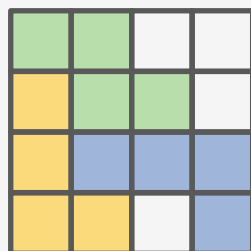
「余白がゼロに近づくよう、配置を最適化」



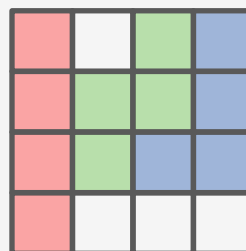
方針

余白が多いと不安定になる量子モデルを組む

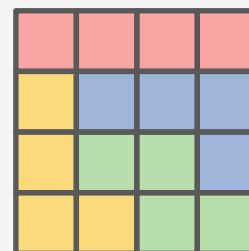
なお
回答例



余白 = 4



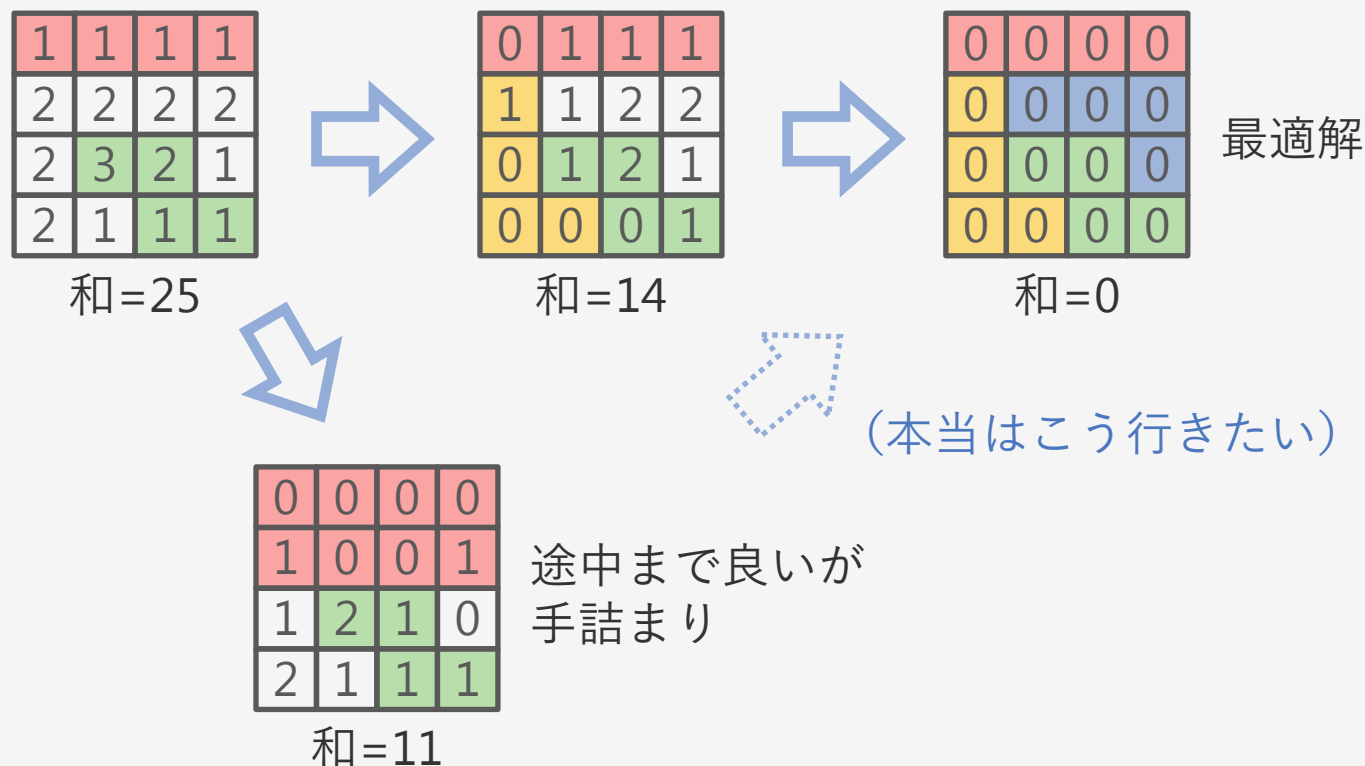
余白 = 4



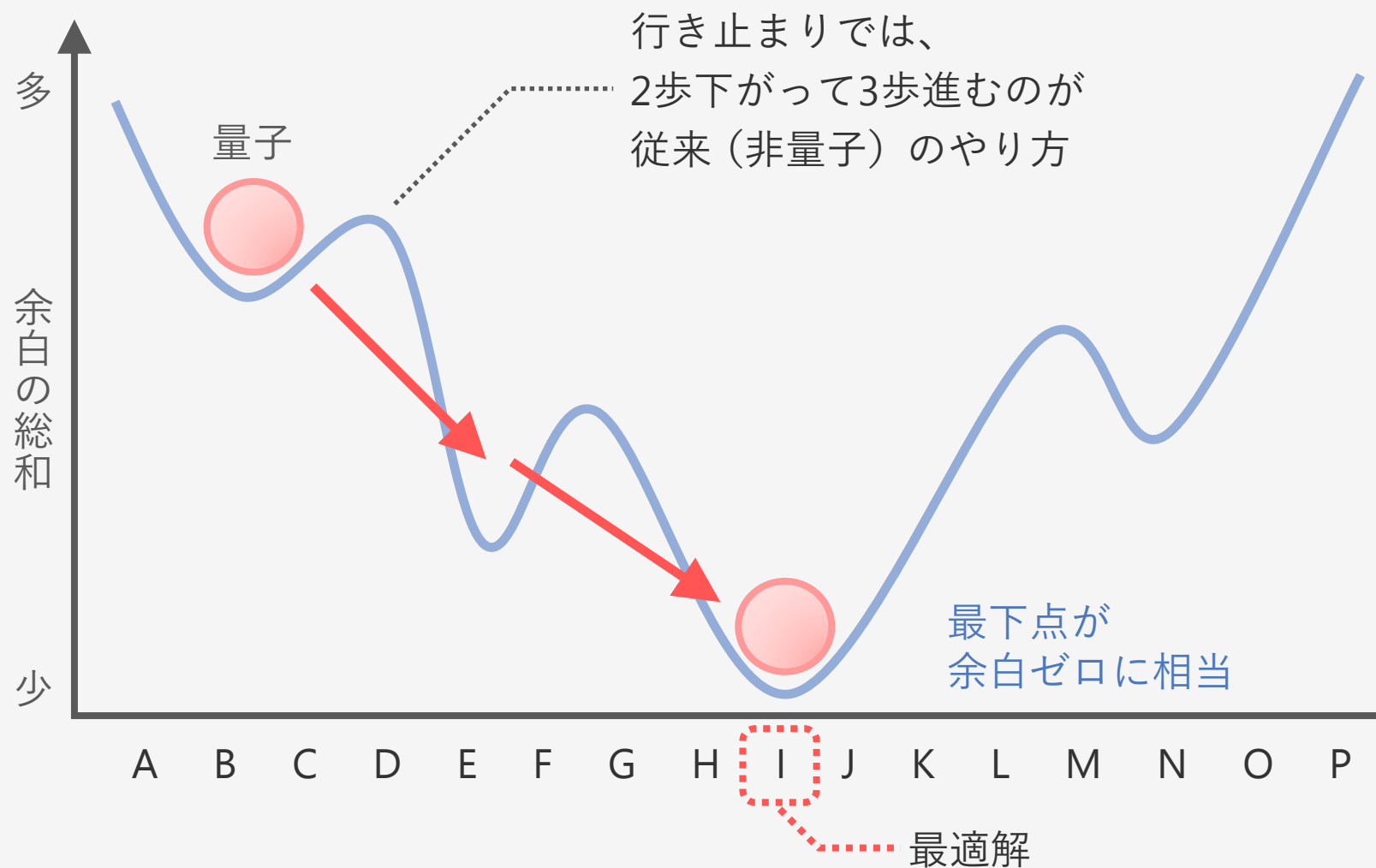
余白 = 0

「余白が多いと不安定になる量子モデル」の例

- 1 各マスに「自身の上下左右の余白数」を与える
- 2 その総和を最小化することを考える

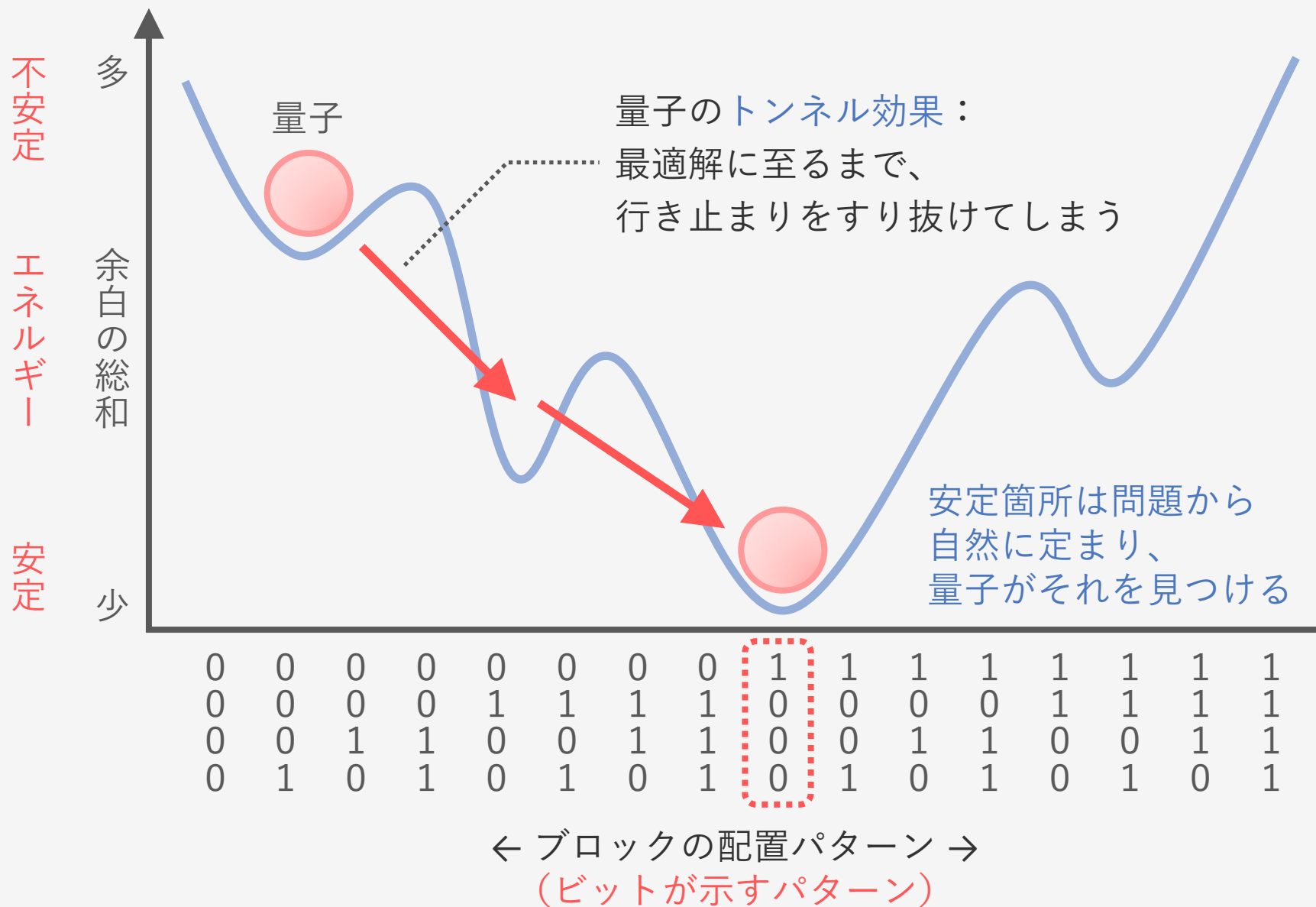


高いところから低いところへ



← ブロックの配置パターン →

量子はエネルギー的に安定する状態を望む



そもそも 問いを解く とは？

- ① 問いを条件の形に書き下す
- ② アルゴリズムを考える
- ③ 条件にアルゴリズムを適用すると、
解が得られる

従来のアプローチ

問い

所持金800円で、100円のリンゴと50円のミカンを含わせて10個買いたい。どうする？



条件

$$100x + 50y = 800, \quad x + y = 10$$



アルゴリズム

“ $x + y = 10$ ” を50倍して、前者から引く

あとはコンピュータ任せでOKだが、
アルゴリズムは人間が見つけないと解けない

量子アニーリング式 QC ではこうなる

問い

所持金800円で、100円のリンゴと50円のミカンを含わせて10個買いたい。どうする？



条件

$$100x + 50y = 800, \quad x + y = 10$$

アルゴリズム

(不要)

満たすべき〈条件〉さえうまく入力すれば、
あとは量子コンピュータが自然に解を見つけてくれる

量子アニーリング式 QC の考え方

これまで

- アルゴリズム
- 解の場所がピンポイントで分かる (解の地図)
- 「解は $(x, y) = (6, 4)$ です」

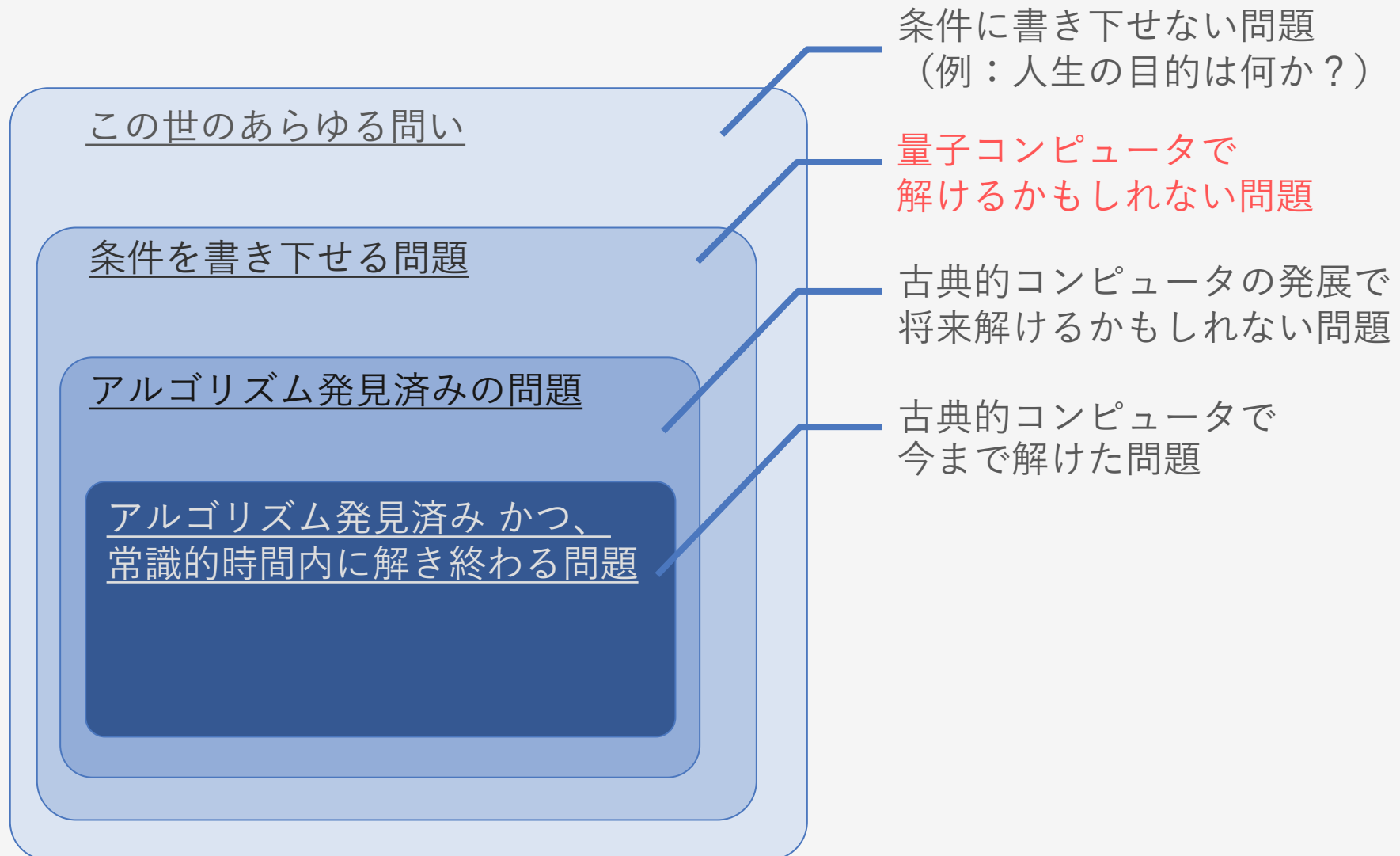
量子アニーリング

- 実験、シミュレーション
- 現在地からの解の方向が分かる (解のコンパス)
- 「今 $(x, y) = (10, 12)$ にいる？
行き過ぎだから戻ってね」

アルゴリズム (地図) は便利。しかし地図がない問題も、

解の方角を指すコンパスがあれば答えに辿り着ける

解ける問題の範囲



D-Wave 2X（量子アニーリング式）

- 初号機は2011年発売：128量子ビット
- D-Wave 2X：1000量子ビット
- 2017年：2000量子ビットの新製品準備中
- Google/NASA, ロッキードマーティン社が購入
- 医療への目に見える応用はこれから

その他 注目の取り組み

IBM Quantum Experience

量子ゲート式で5量子ビット。クラウドで操作可能
より高機能の量子コンピュータ “Q” を準備中

Google量子人工知能研究所（QuAIL）

2013年設立。2022年までにハイブリッドの
量子コンピュータを商用化する予定

IARPA（知能高等研究計画局、米）

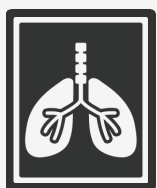
量子アニーリング式作成中。100量子ビットだが
ビット同士の接続が網羅的で高性能

医療における量子コンピュータの可能性



製薬領域

- タンパク質の構造決定。効果的なアミノ酸の折りたたみ構造を同定
- 特定の受容体に作用する分子のスクリーニング



放射線治療の照射ステラテジー立案

最適化問題として解析可能



機械学習の加速

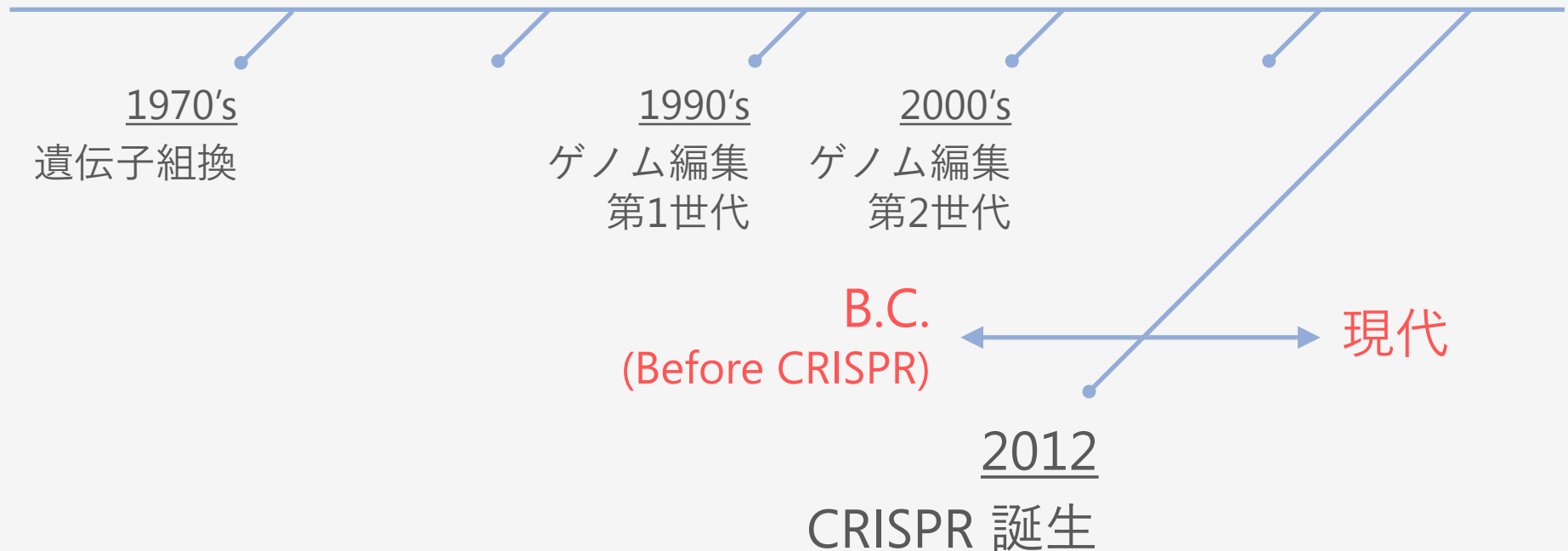
AIとの相乗効果で画像診断、検査の効率化、etc.

CRISPR



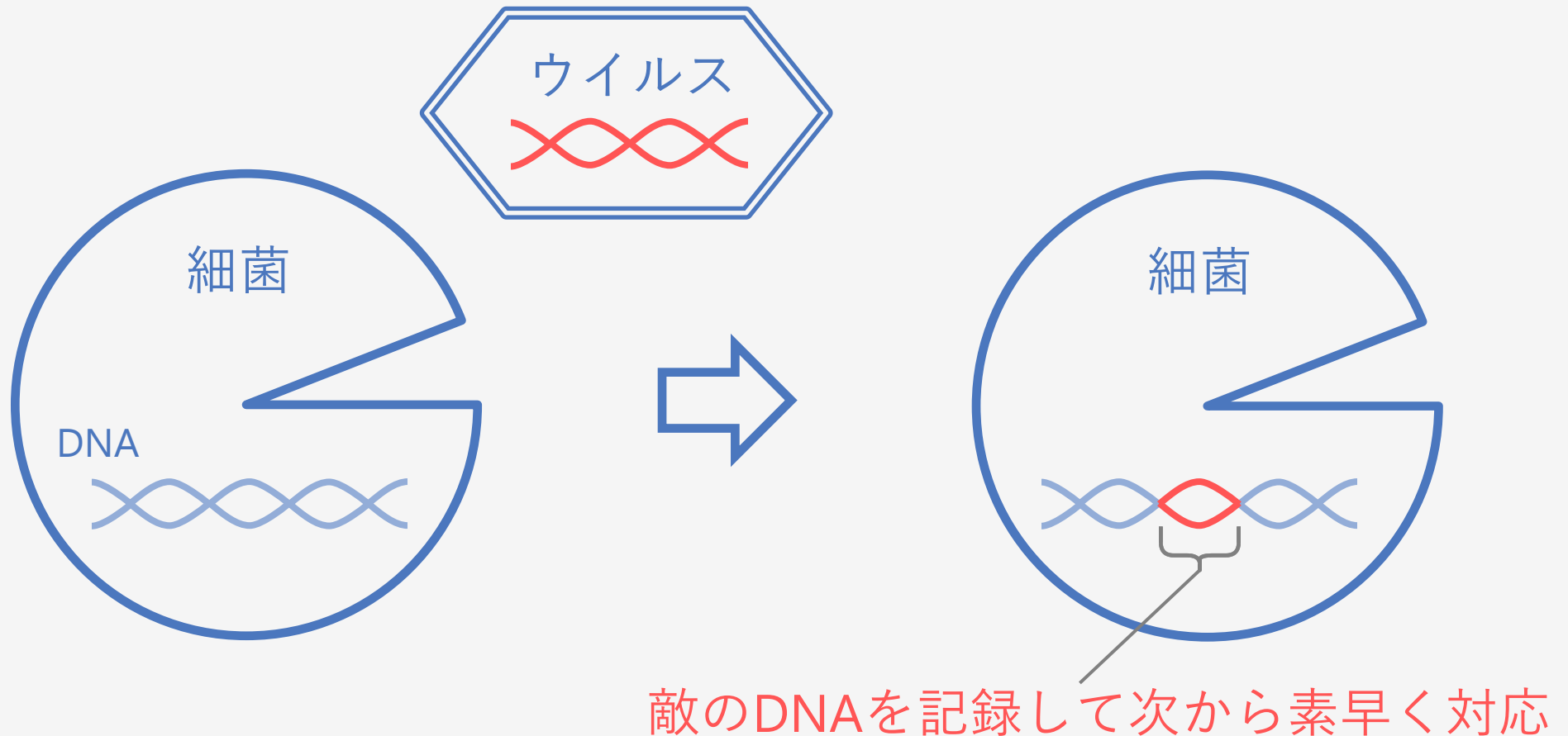
CRISPR（クリスパー）とは

遺伝子を自在に書き換える技術

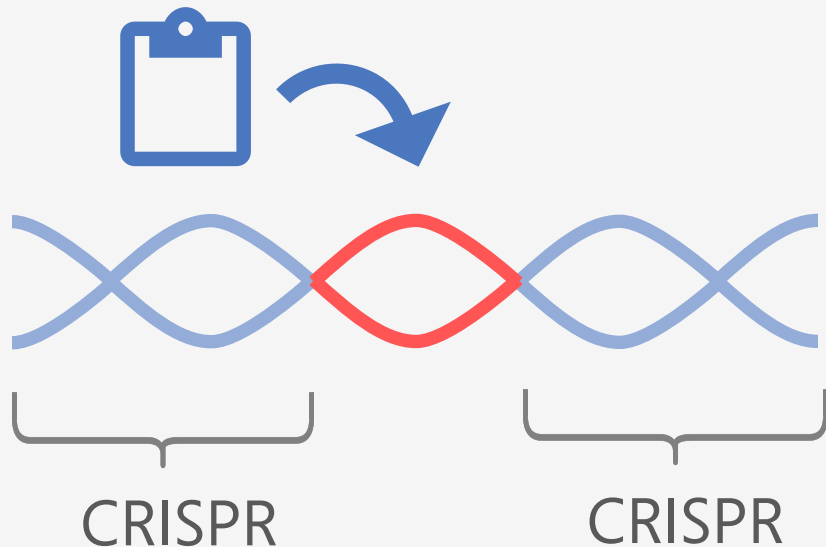
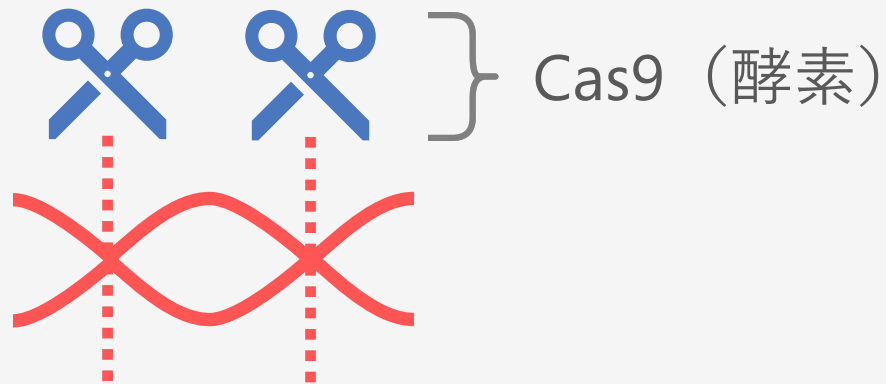


CRISPRの仕組み

元々は細菌が身を守る免疫システム



CRISPRの仕組み



細菌がウイルスを取り込む、
DNAのカット&ペースト手法

これを応用した技術が
"CRISPR-Cas9" 通称**CRISPR**

目印となる遺伝子配列のこと
(Clustered, Regularly Interspaced, Short Palindromic Repeats)

主な応用領域



食品：収穫量増加、耐病原性、
日持ち向上



畜産養殖：筋肉量増、耐病原性

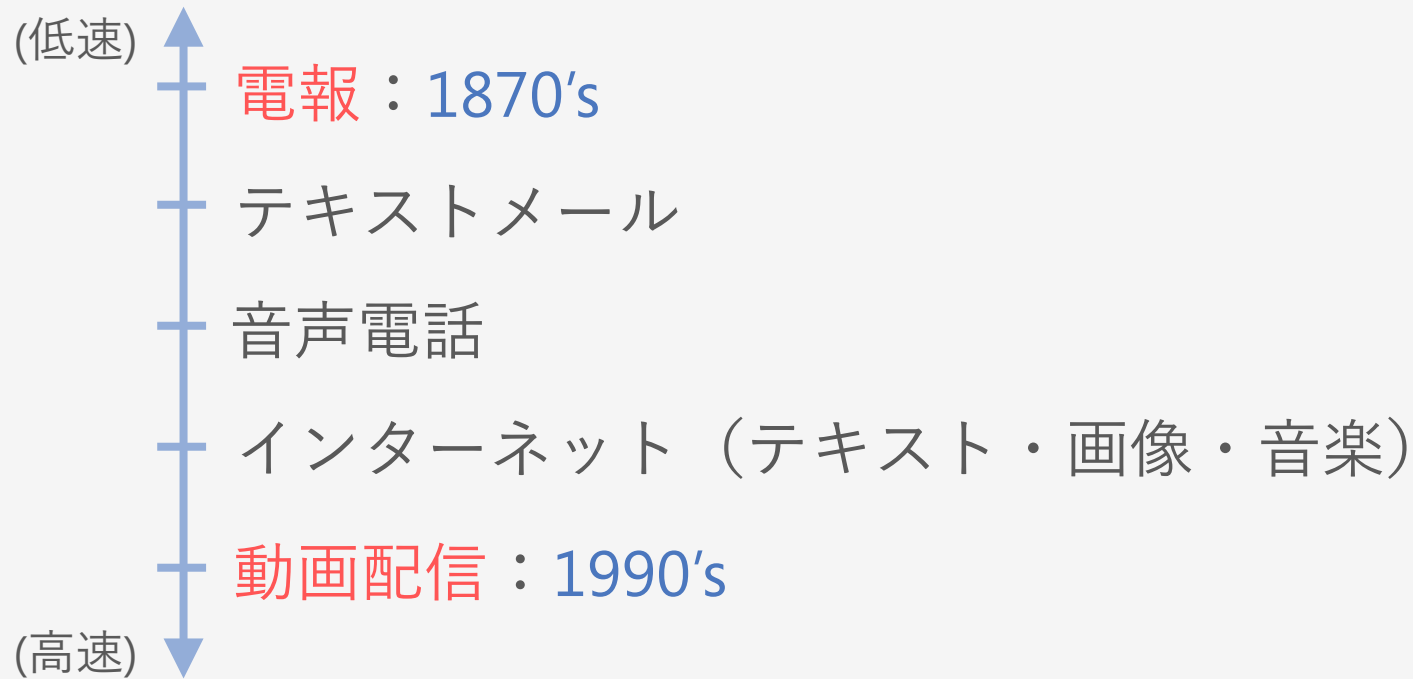


医療：製薬、遺伝子疾患、
感染症、悪性腫瘍

生物が関わるすべてが対象。速く、安く、より正確

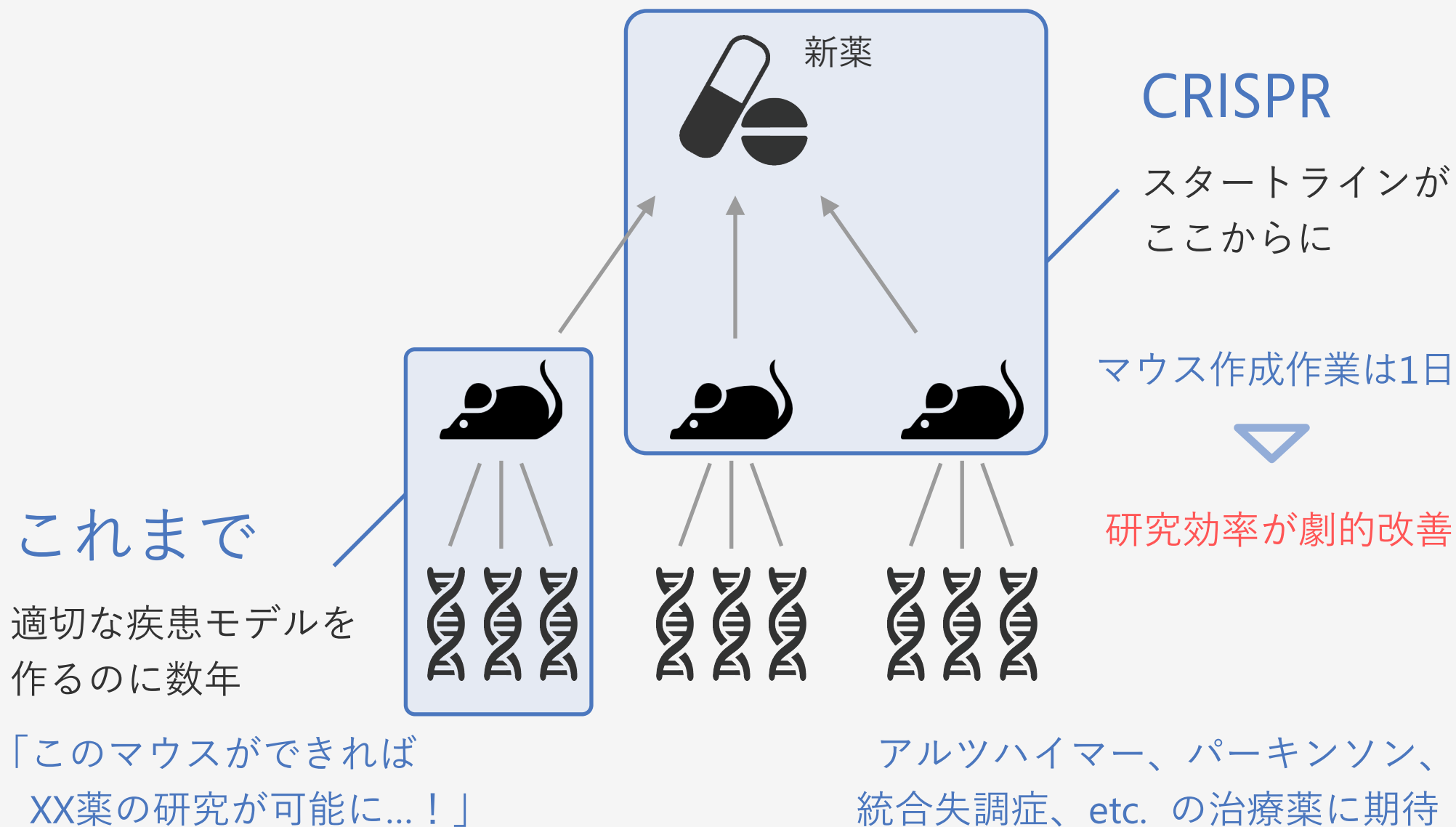
量的変化は質的变化を生む

例：通信回線



電報：動画配信 = 今のバイオ医薬品：？？？

脱・研究のための研究



医療におけるCRISPRの可能性



遺伝子疾患

遺伝子変異を修復した細胞を体内へ。
不足する酵素やホルモンを生産して**病状改善**



感染症

HIVに感染しないT細胞（白血球）を作って体内へ。
抗HIV薬が不要になる治療効果あり（臨床試験中）



悪性腫瘍

がん細胞に無力化されず、抗がん剤抵抗性も持つ
T細胞を作成。**白血病に著効**（臨床試験中）

BCI

(Brain Computer Interface)



Brain Computer Interfaceとは

脳そのものをデバイスとして使う技術

脳へのインプット

- 1961年 人工内耳の第一例目
- 1968年 人工網膜の第一例目

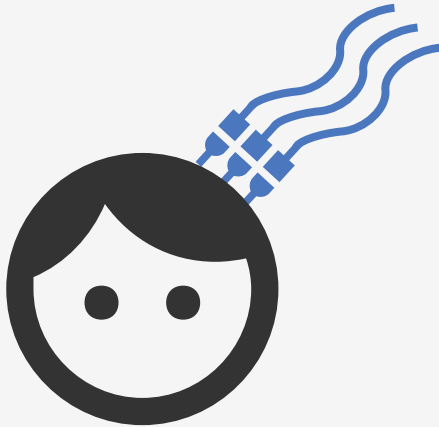
脳からのアウトプット

- 1998年 サルが思考のみでアームを操作（1,000km遠隔）
- 1999年 意思表示ができない患者 脳波による文字会話実現

未来のSF技術ではなく、現在進行形のテクノロジー

デバイスの種類

植込み型



- 頭蓋骨内部に電極
- 脳に刺入または表面留置
- 弱い脳波も検出可

装着型



- 手術不要で簡便
- 感度低く発展途上
- 毎回調整が必要

2017年上半期の動き

Neuralink

- イーロンマスク創設 (Tesla, SpaceX)
- 植込み型BCI
- 「健康人のBCIを10年以内に実現」 (2017/3)

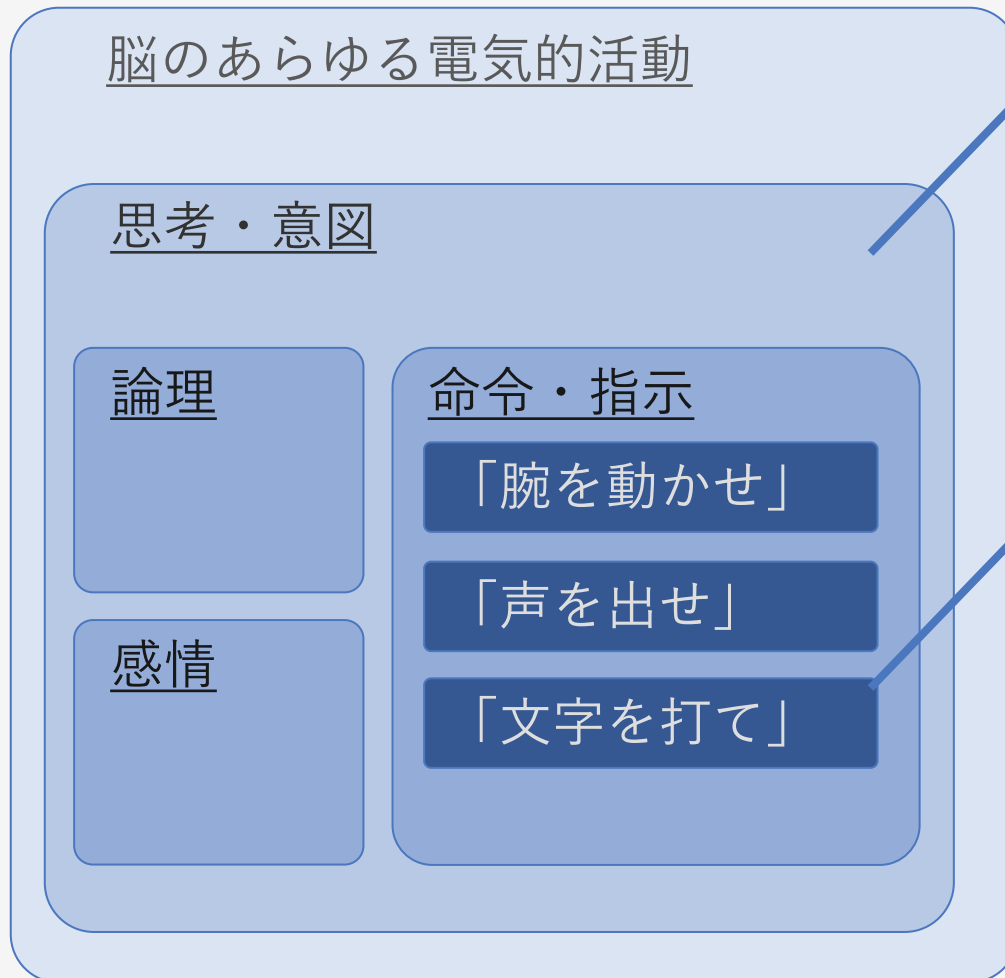
Facebook

- 思考によるタイピングデバイス
- 装着型BCI
- 「100語/minの機器を2年で作成」 (2017/4)

Google, Microsoft, Intelも社内に BCI 部門を有する

イーロンマスクは最終的に人間とAIの融合を見込む

「思考がばれてしまうのでは？」



このレイヤーが好き勝手に出力されるわけではない

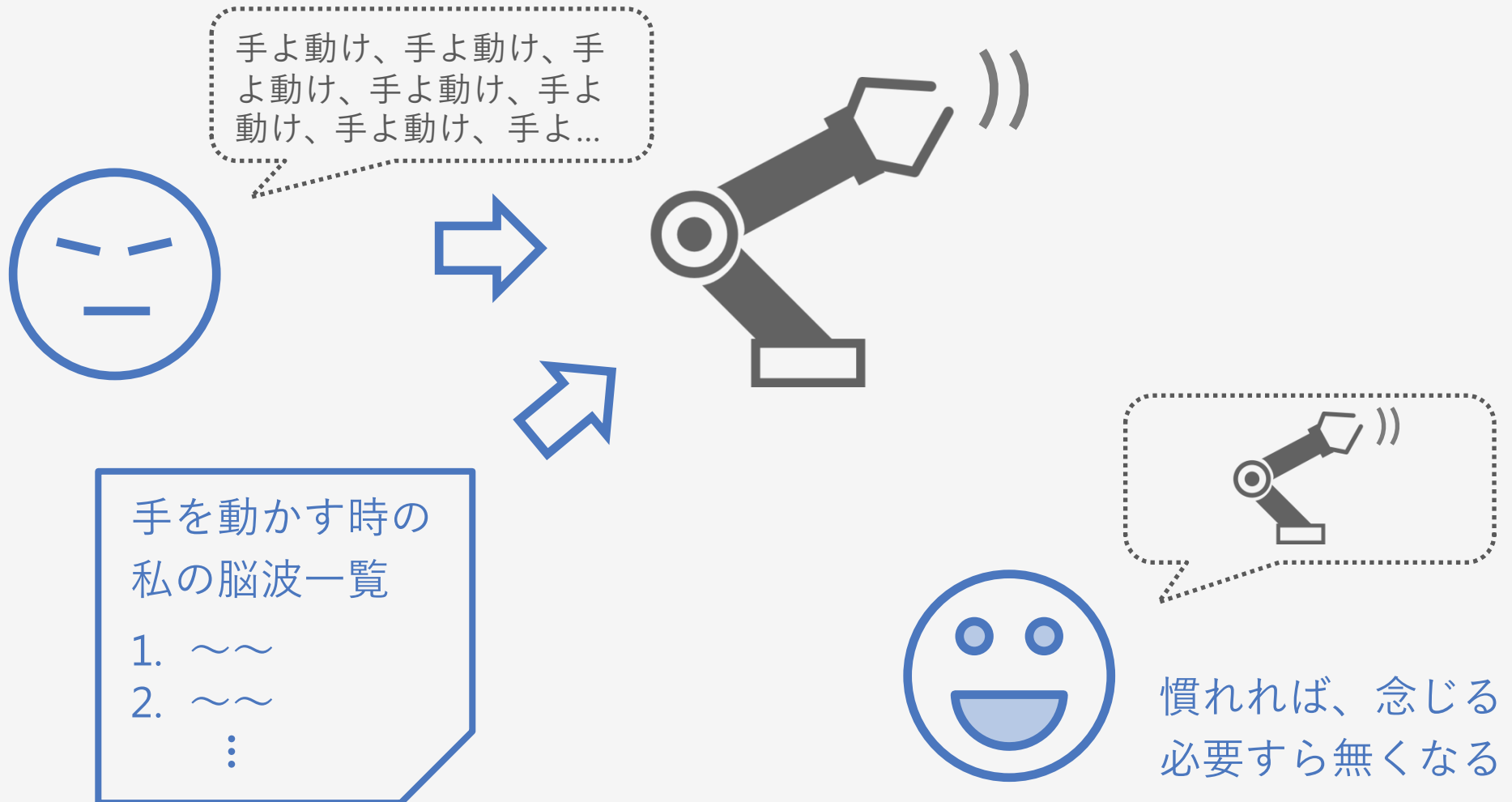
出力対象はこのレイヤー。
目の前の人を

- 体が勝手に殴ってしまわない
- 無意識に罵倒してしまわない

のと同じように自制は可能

ロボットアーム

〈初期の訓練 or 健常時データ〉が必要



人工内耳、人工網膜

マイクから聴神経、カメラから網膜を刺激

- 視神経や大脳を直接刺激することも可能

「見え方・聴こえ方」は一通りではない

- 生来全盲の人が人工視覚で初めて見る世界は他と同じか？
- 盲目の人が反響定位で「見る」世界はどう見えるのか？
- 私の感じる「赤」とあなたの「赤」は同じ色か？

世界とインタラクトできれば、他人と違ってもそれは知覚

見る、聴く、動かす – 脳の働き

脳にパターンを覚え込ませることが本質

(英会話の習熟)

- 日本語に逐語訳して理解
- 挨拶程度はパターン認識で訳さずに使える
- 複雑な会話も英語のまま理解できる
- 複雑な会話も英語で考えて発話できる

(BCIの習熟)

- 常に思考を介する
「この波形は『ド』だったな...」
- 「ドミソだけはマスターしたな」
(人工内耳でのパターン認識)
- 複雑な波形も思考を介さず
波形のまま理解 (インプット) できる
- 複雑な波形も無意識的に
出力 (アウトプット) できる

医療におけるBCIの可能性

失われたアウトプット機構の獲得

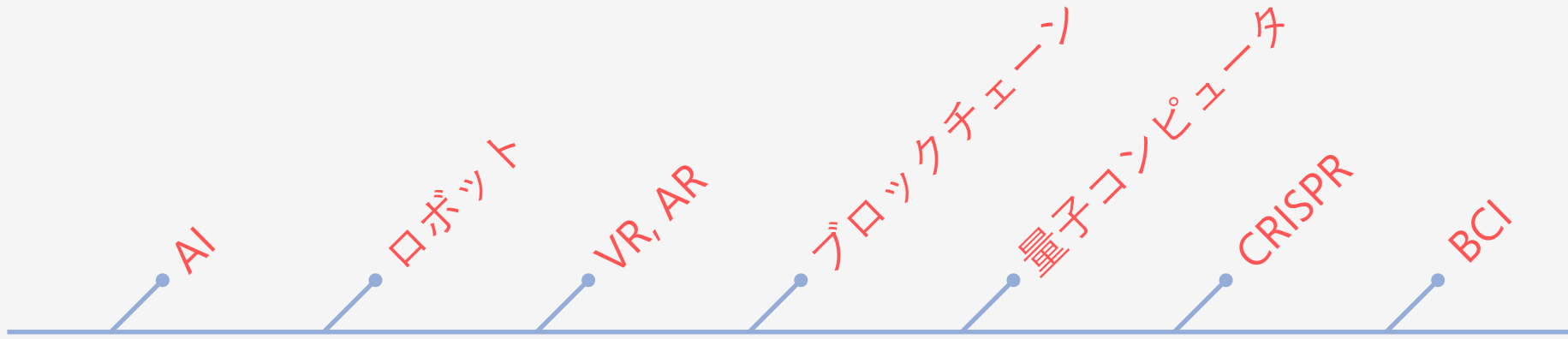
四肢の動き、コミュニケーション

失われたインプット機構の獲得

視力、聴力、味覚、嗅覚、触覚

将来的には 運動能力、感覚能力の拡張

三本目の手（運動）、超音波ビジョン（感覚）、
手術ロボットや内視鏡との一体化（運動+感覚）



未来は既にここにある

均等に行きわたっていないだけだ

— ウィリアム・ギブソン（作家）

AI

ロボット

VR, AR

ブロックチェーン

量子コンピュータ

CRISPR

BCI

沖山 翔（おきやま しょう）

・ 略歴

2010 – 東京大学医学部卒業

2012 – 救命救急医（日赤医療センター）

2013 – ドクターヘリ、離島医療（石垣島、波照間島）

2015 – 株式会社メドレー（執行役員）

2017 – フリー（研究者/情報学）

・ 所属学会

人工知能学会、情報処理学会、日本救急医学会（専門医）、日本内科学会