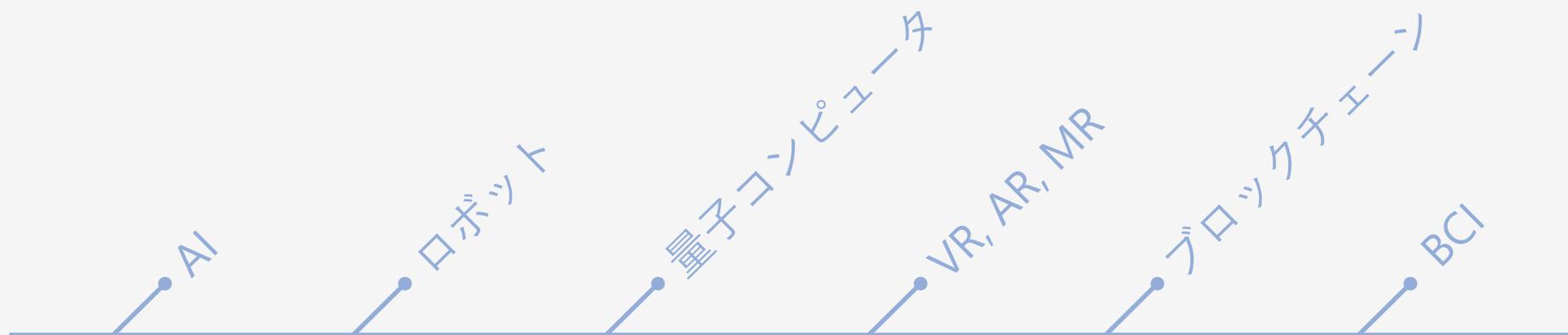


# エキスポネンシャル・ テクノロジーと未来

2017.10.11

沖山 翔



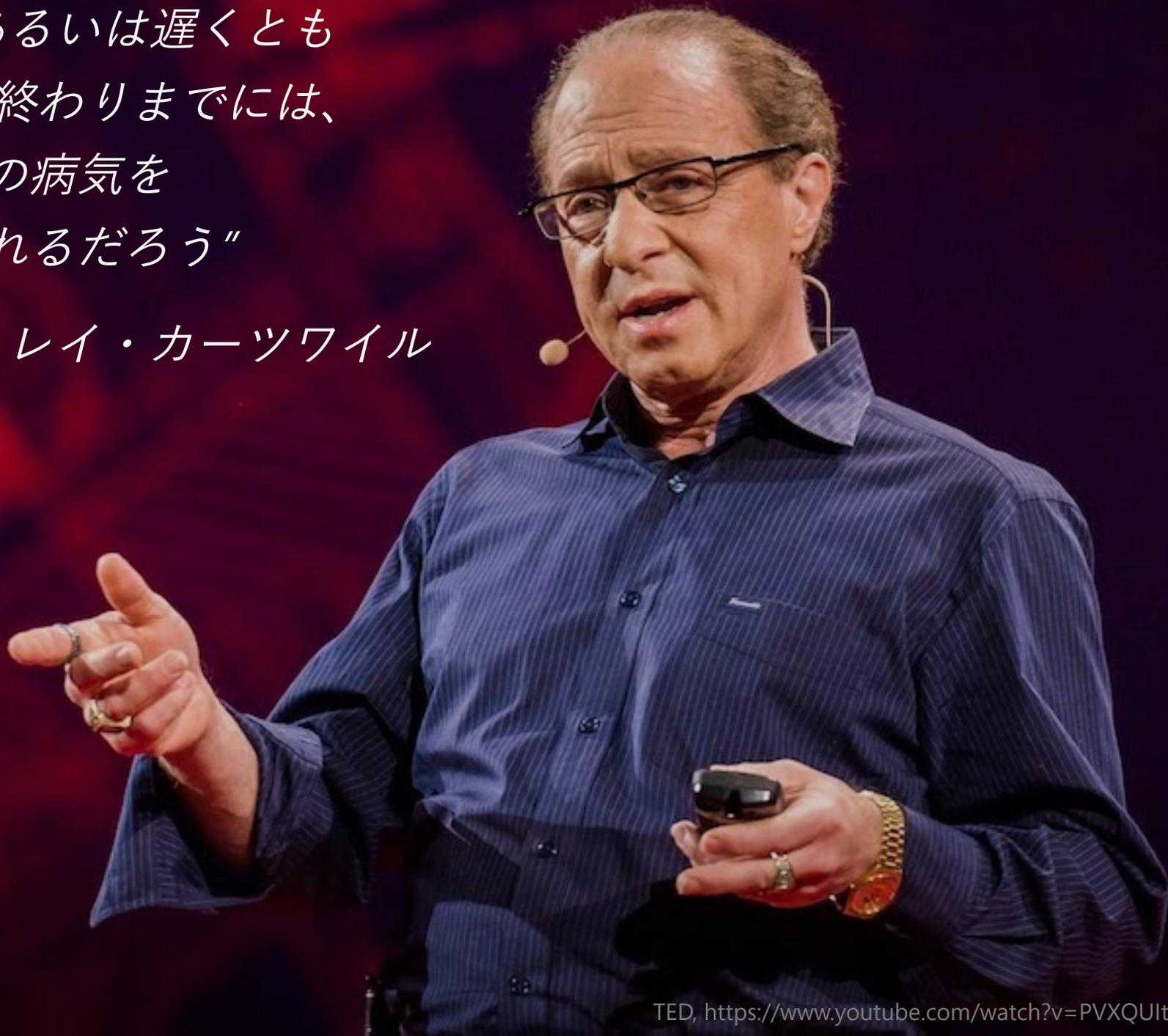
“21世紀の終わりまでに全ての病気を  
治療し、予防し、あらゆる病気に  
対応できるようにしたい”

— マーク・ザッカーバーグ

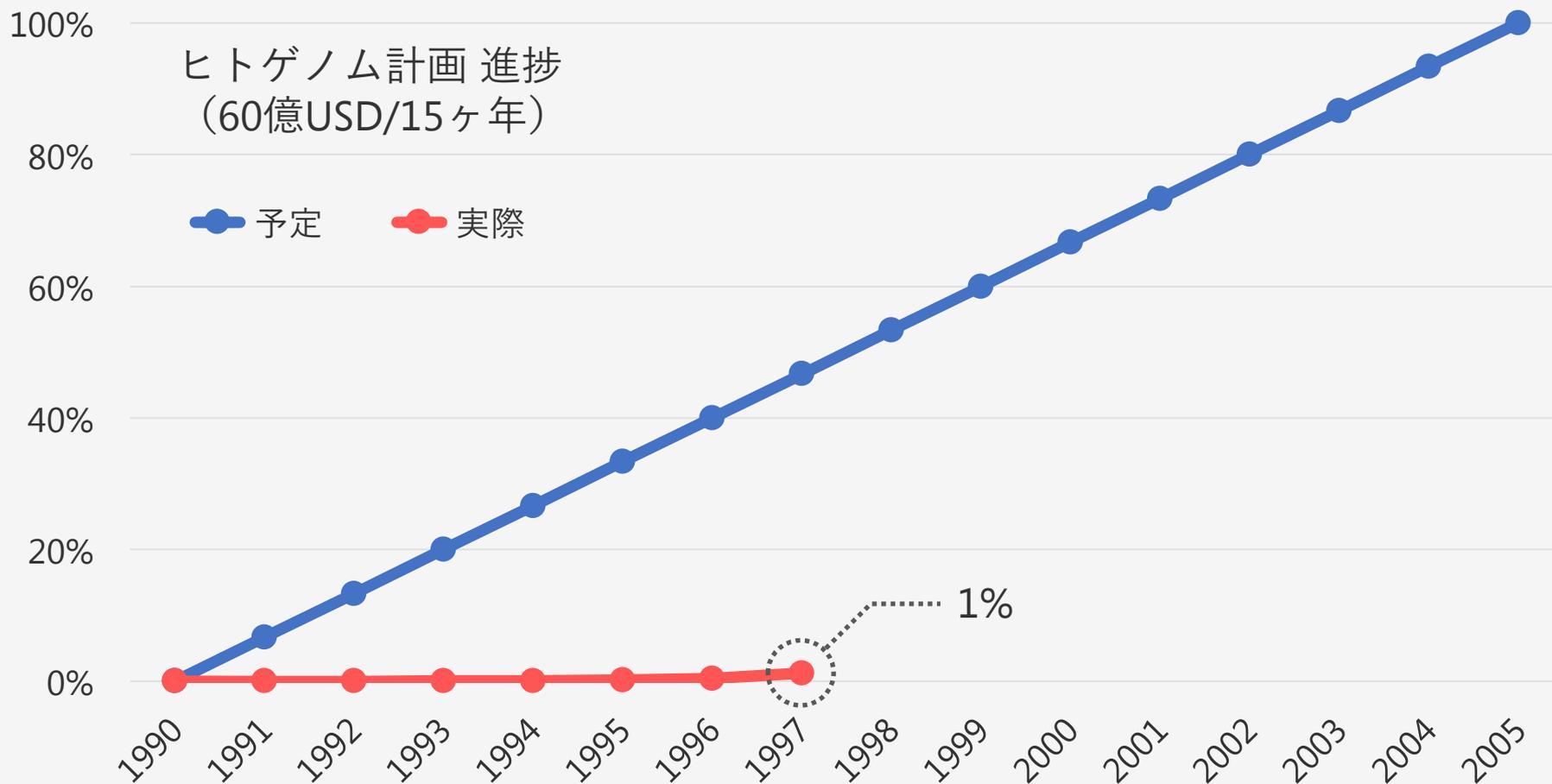


“2030年、あるいは遅くとも  
2030年代の終わりまでには、  
人類は全ての病気を  
乗り越えられるだろう”

—レイ・カーツワイル

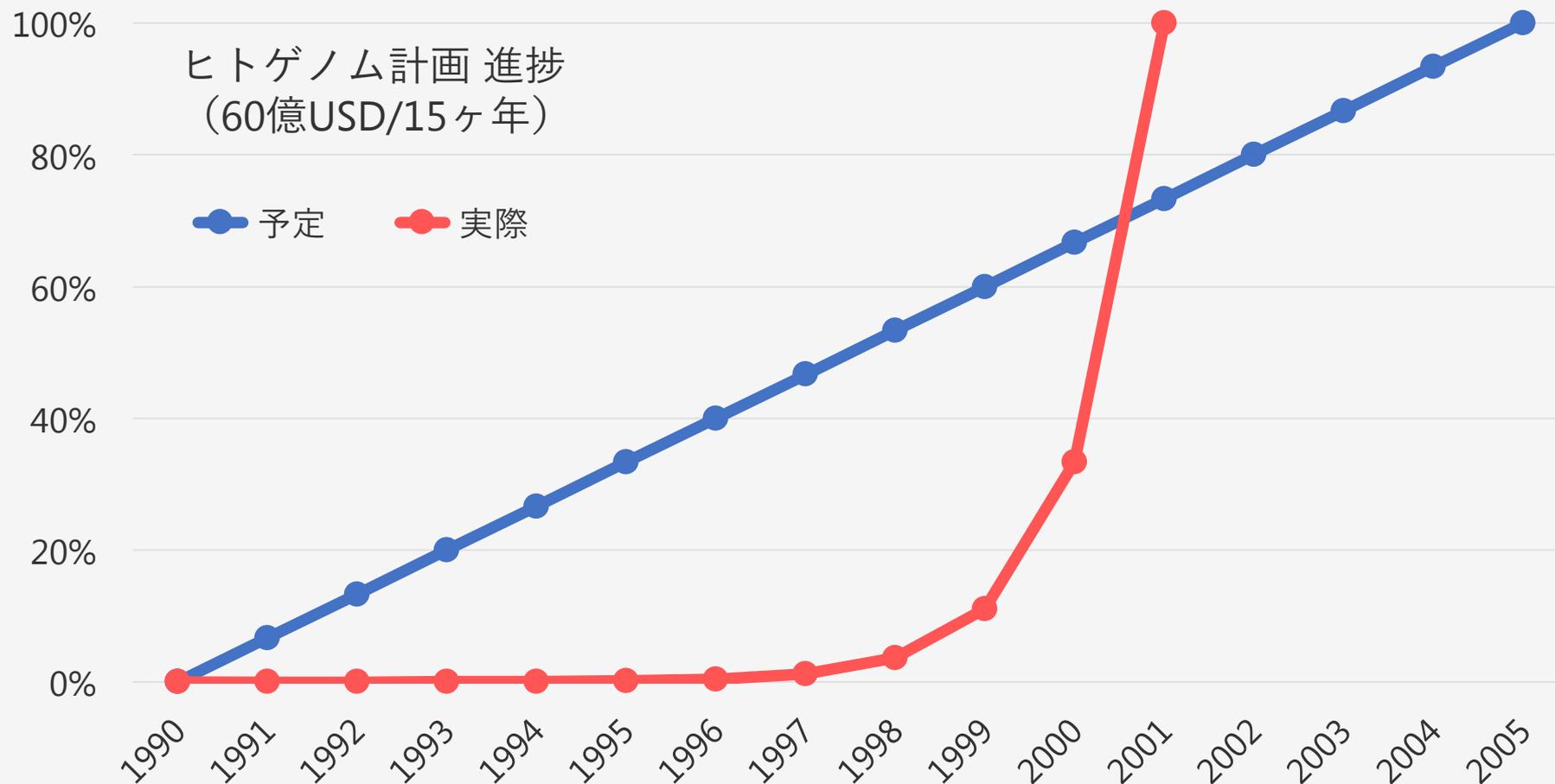


# テクノロジーの進歩は指数関数的



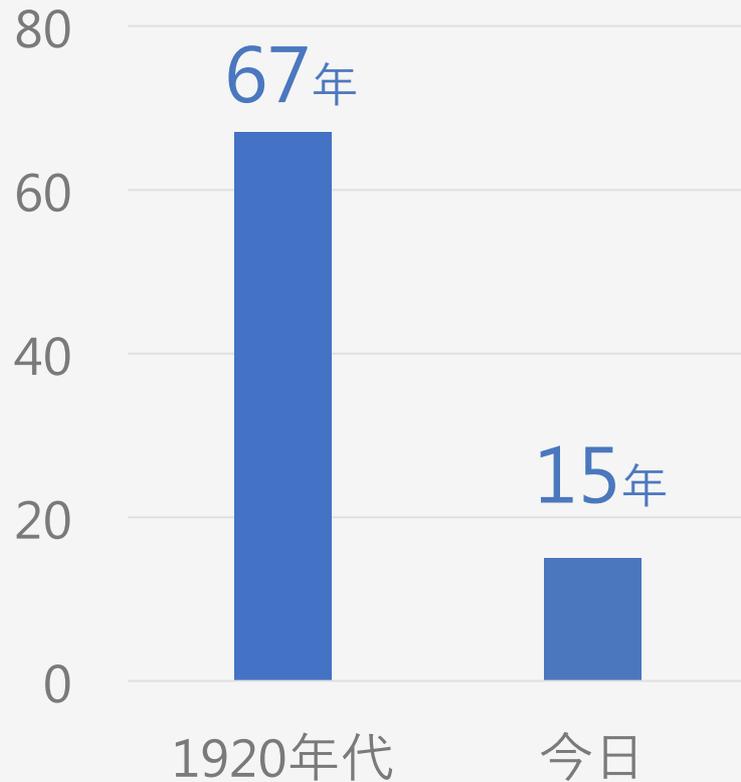
1997年 ゲノムの解読達成率は1% 多くが計画中止を主張  
しかし「1%終わったのなら、もう半分終わったに等しい」

# テクノロジーの進歩は指数関数的



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」

# 企業の平均寿命



“10年後には Fortune 500企業の40%  
が、もはや存在していないだろう”

*Babson Olin School of Business, Fast Company (2011)*

S&P 500在籍期間は  
大きく減少

産業構造の変化と、  
プレイヤーの入れ替わり

# 産業構造の変化



1996

時価総額：\$28B  
従業員数：14万人



2012

経営破綻



*Instagram*

2012

時価総額：\$1B  
従業員数：13人

# 人工知能 (AI)



# なぜいまAIなのか

---



## 大量のデータ

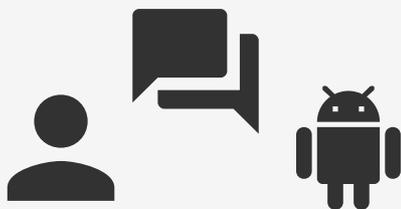


クラウド化による大量のデータ



## ハードウェアの進化

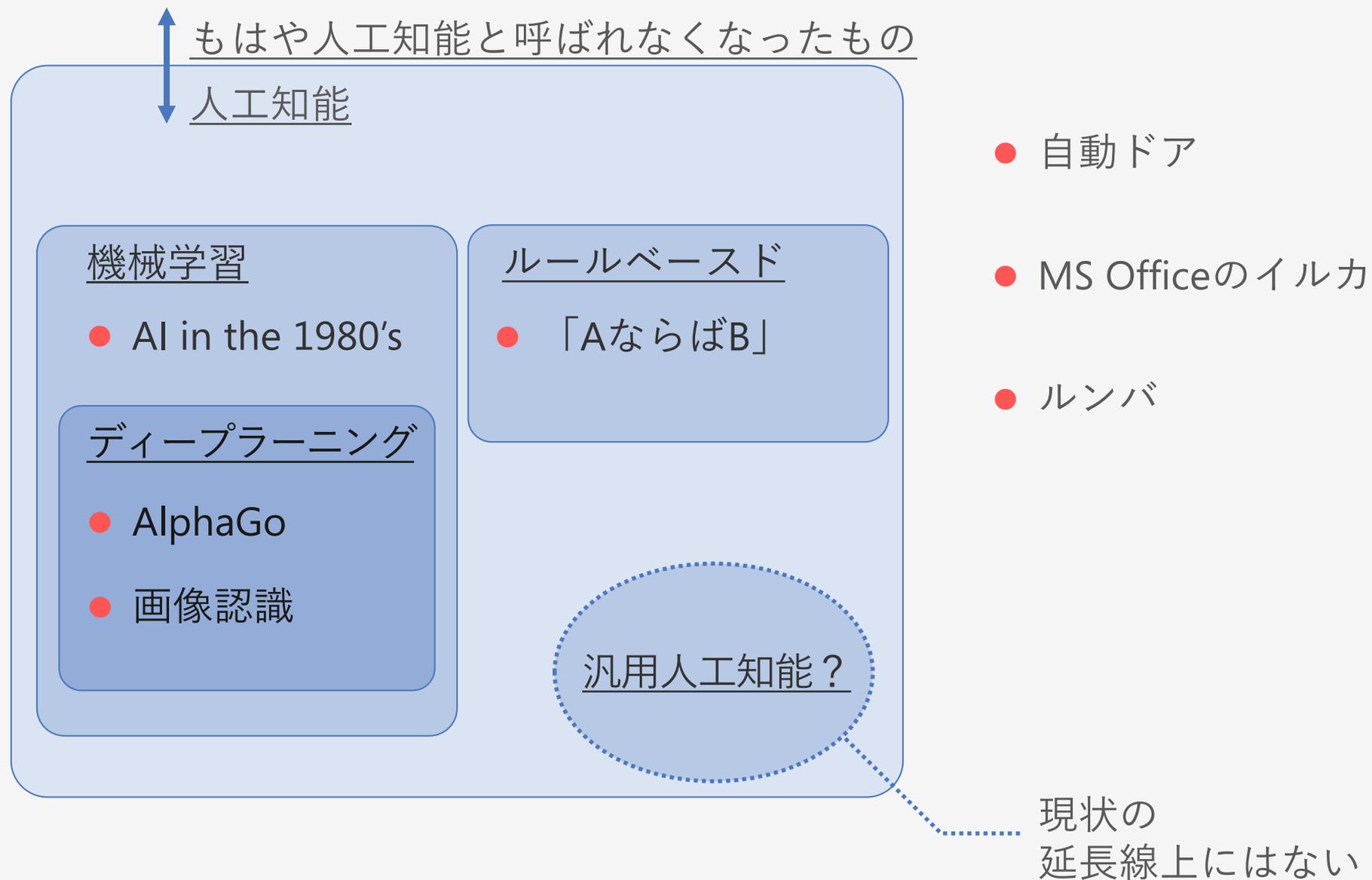
GPUによる並列処理、計算速度の向上



## 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



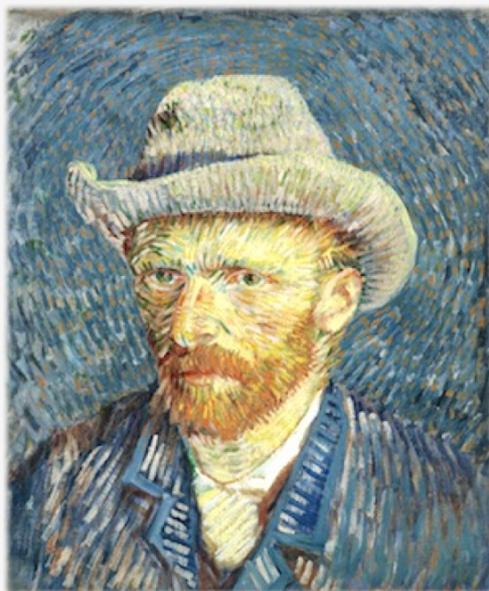
定義しづらい抽象的な概念も  
性質のまま (=特徴量) 扱える

# 特徴量の演算



元絵

+



画風



<https://deepart.io/>

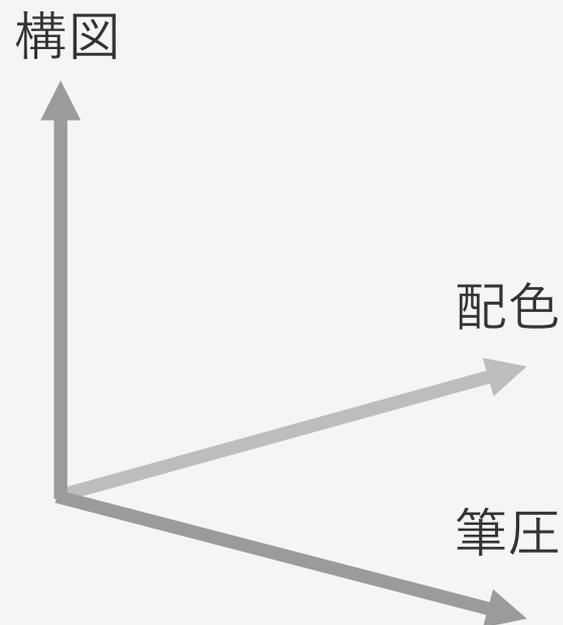
絵の単純な合成ではなく、  
“ゴッホらしさ” という  
特徴量の取り扱いが可能に

# あらゆる要素のパラメータ化



<http://www.adweek.com/>, "Inside 'The Next Rembrandt'"

レンブラントの**新作**  
(Microsoft, 2016.04)



“レンブラントらしさ”を  
AIが因数分解。それに  
沿ってイメージ合成

(動画)



"Synthesizing Obama: Learning Lip Sync from Audio"

<https://youtu.be/9Yq67CjDqvw>

# AIのもたらす価値

---



**認識**：文章、音声、画像、動画

リスニングの能力は人間を上回る



**予測**：おすすめ商品、数値予測

過去の傾向から統計推論



**最適化**：囲碁、自動運転など

最善手を選ぶ

## トレーダーの数：600人 → 2人

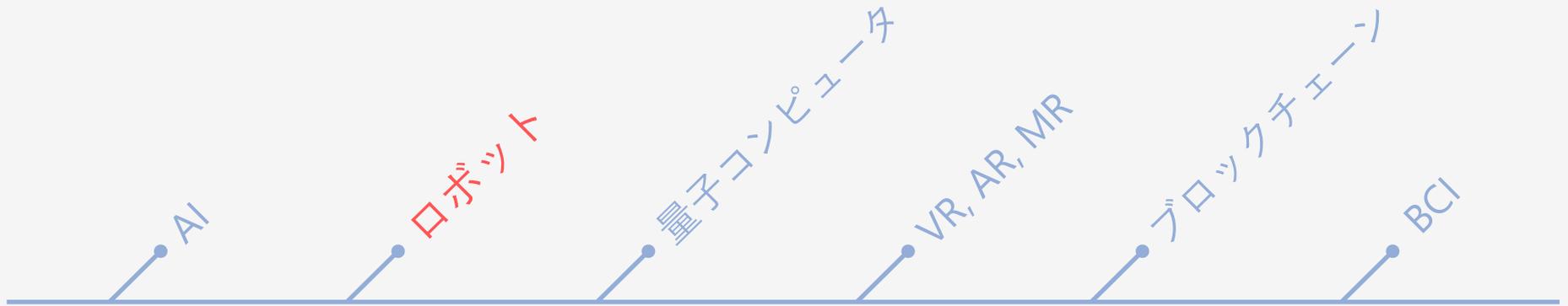
- トレーダー職は AI にその地位を譲った
- アナリストレポートの「行間を読む力」は人間以上
- 衛星写真の解析：駐車場の利用率、農作物の栽培状況から投資判断

## NYオフィスには200人のAI開発者

リターンは30年前の2-5倍

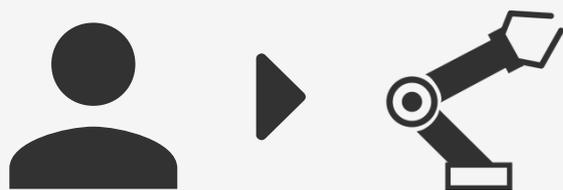
人間が利活用できないデータで差がつく

# 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

操縦式と自走式で異なる用途

## ダ・ヴィンチ（操縦式ロボット）

- 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**

## バクスター（自走式ロボット）

- 自動学習：はじめに手を取って課題を教えると次から自走
- 汎用性：プログラミング不要で多用途
- 2.5万ドル/体：時給300円/365日  
平均投資回収期間 < 1年

直感的に教育できる自走ロボット  
製造業のコスト構造が変化





# ロボットの応用可能性

---



## 人的リソースの代替

自動化によるコスト削減

ロボットのユーティリティ化も進む



## 専門技術のコモディティ化（運動能力拡張）

動作に機械のフィルタを通すことで、

再現性や巧緻性が向上



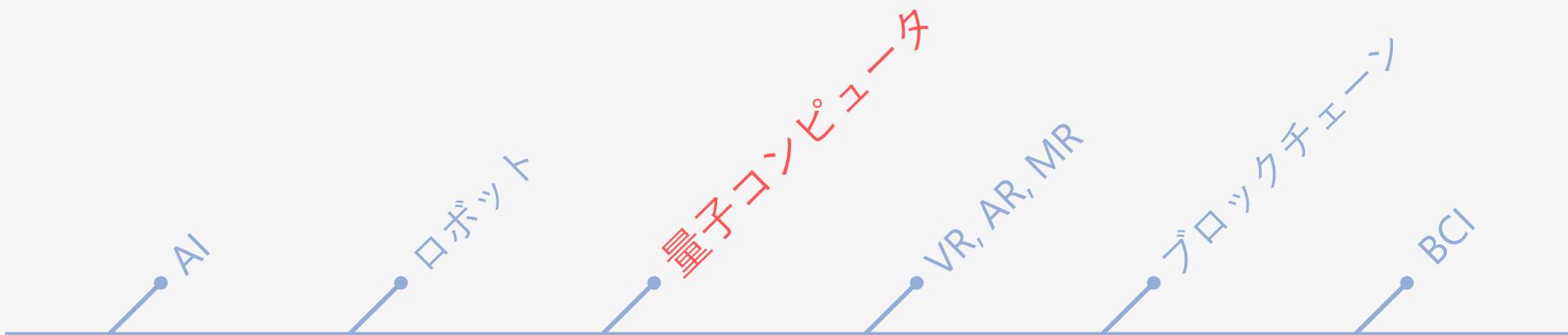
## 事前情報量の増加（知覚能力拡張）

五感が深まり、温度や磁場など

第六感、第七感を作業に反映

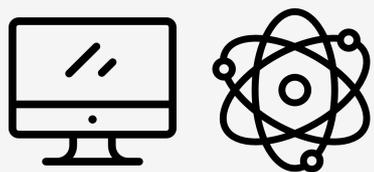
人間の 複製 + 能力共有 + 能力拡張

# 量子コンピュータ



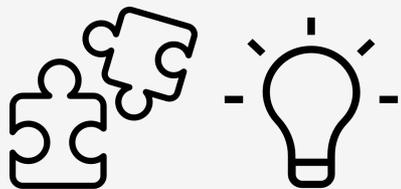
# 量子コンピュータとは

---



「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...」

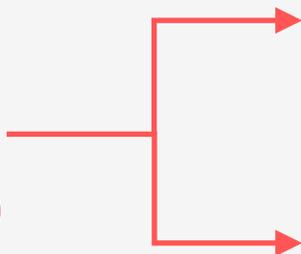
直近5年で大きな進展。研究から商用化フェーズへ

# コンピュータの種類

古典的  
コンピュータ



量子コンピュータ  
(QC: Quantum Computer)



その他の  
"コンピュータ"



デジタルコンピュータ

現在のコンピュータ

ゲート方式QC

イジングマシン方式QC

- アニーリング型
- レーザーネットワーク型

DNAコンピュータ

粘菌コンピュータ

スパゲティコンピュータ

etc.

アナログコンピュータ

# 量子コンピュータの種類

---

## ゲート方式

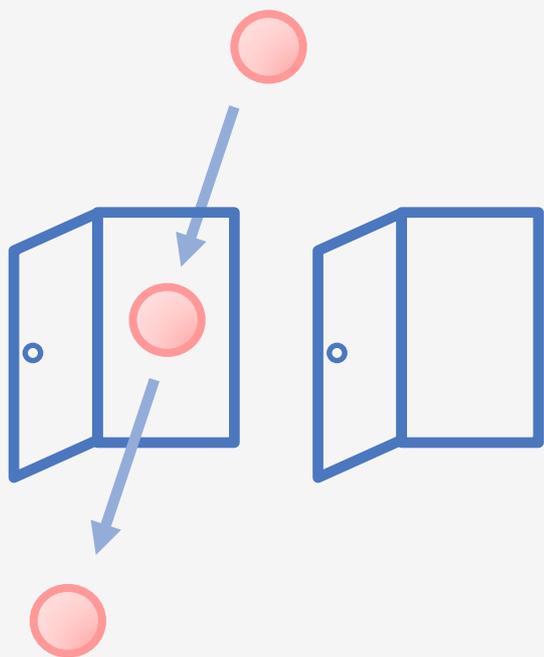
- 今のコンピュータの数万倍早い上位互換（理論上）
- ハードは小ビット数のプロトタイプのみ存在
- ソフトもまだまだ研究段階でアルゴリズム種類少ない

## イジングマシン方式

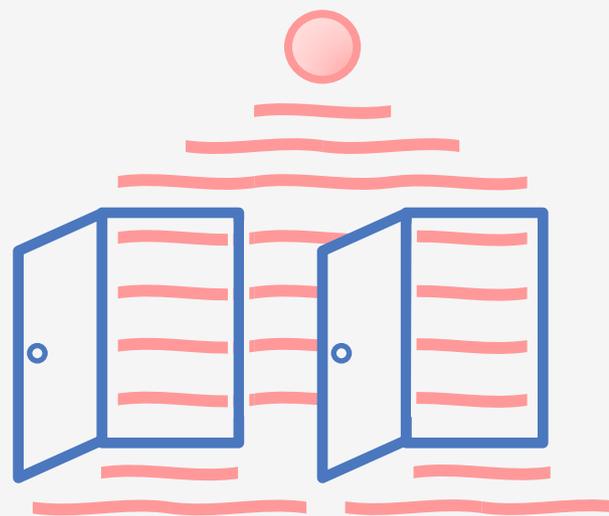
- 今のコンピュータと根本的に概念が異なる、物理シミュレータ
- 用途限られるがこの型のみ解ける問題が存在（最適化問題）
- D-Wave社より2011年に発売開始

# 量子の性質

粒子であり、波でもある

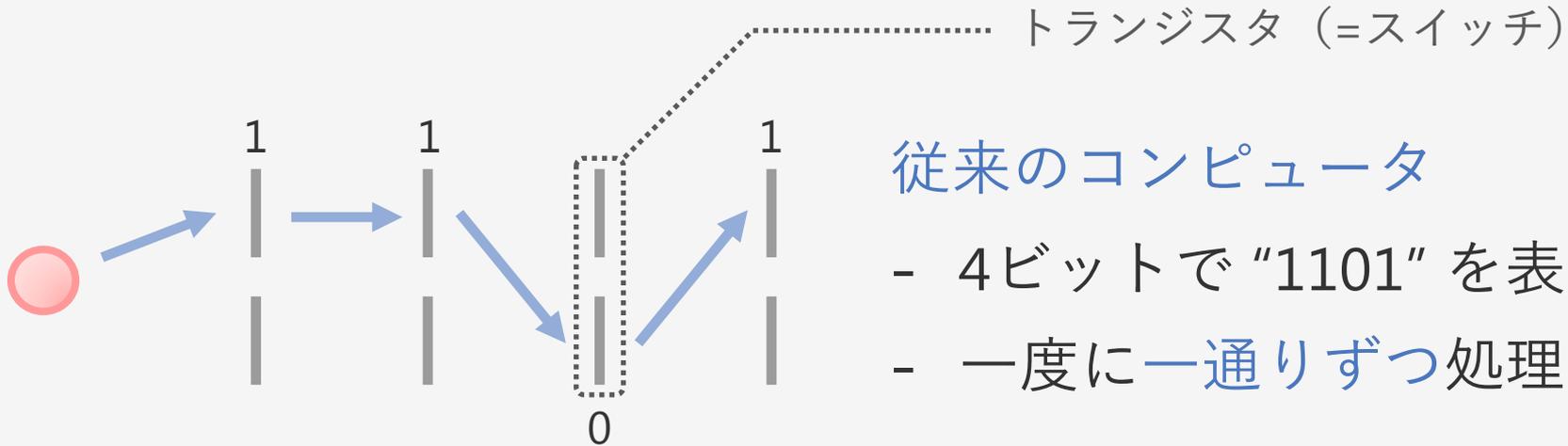


粒子：どちらか一方を通る



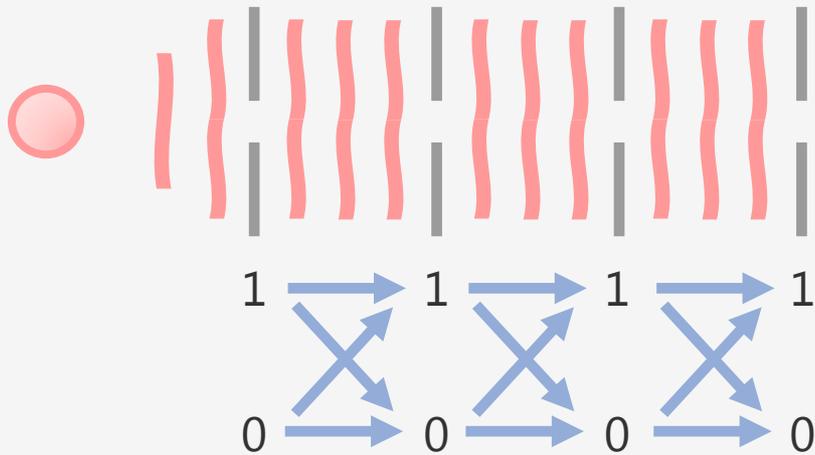
波：同時に両方を通る

# 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



## ゲート方式 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) を利用したのがゲート方式QC

もう一つ的方式

---

ゲート方式



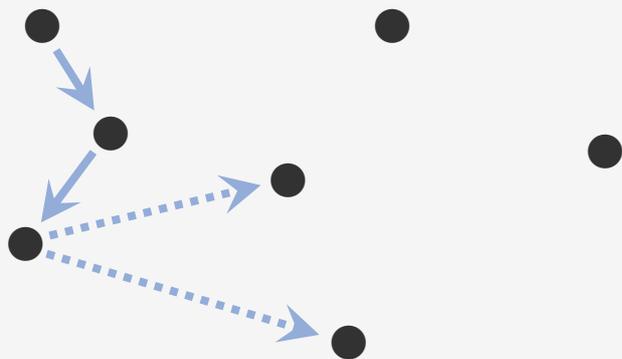
イジングマシン方式

# 向いている問題

## 最適化問題

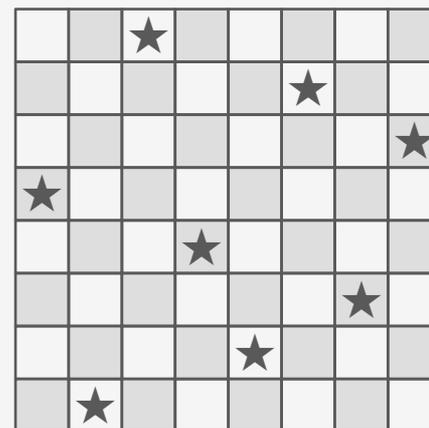
与えられた条件内で目標値を最小化する問題

### 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

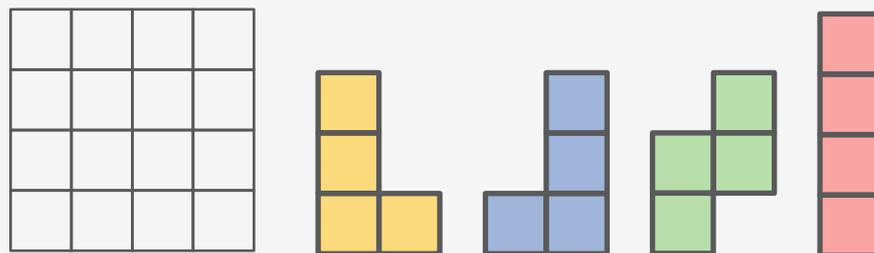


$N \times N$ 格子にチェスのクイーンを $N$ 個並べ、経路上の重複を最小化する（無くす）

# 問題へのアプローチ（アニーリング型）

問題

きれいに埋めなさい



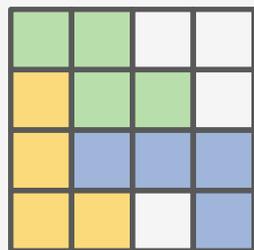
条件

「余白がゼロに近づくよう、配置を最適化」

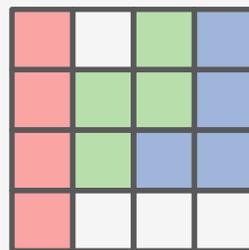
方針

余白が多いと不安定になる量子モデルを組む

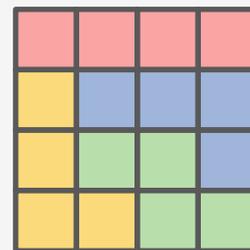
なお  
回答例



余白 = 4



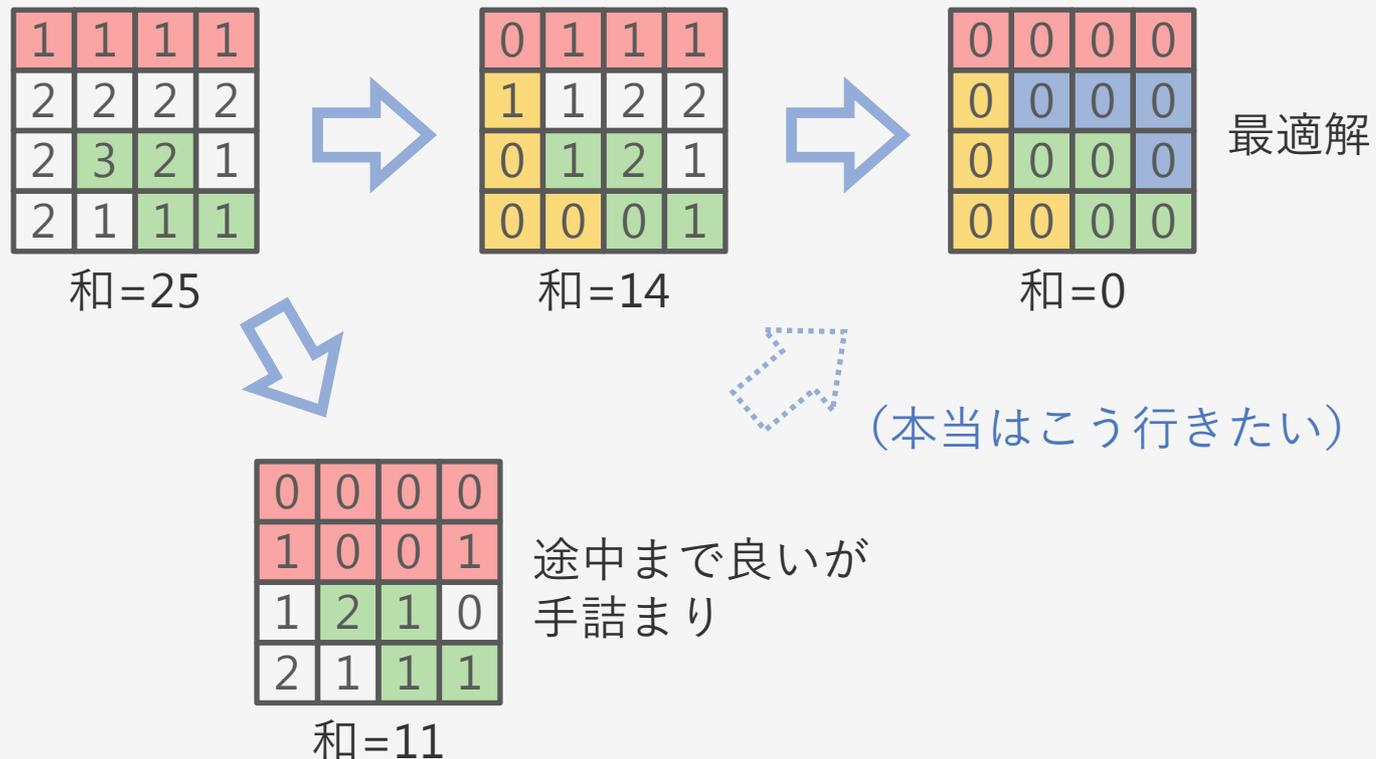
余白 = 4



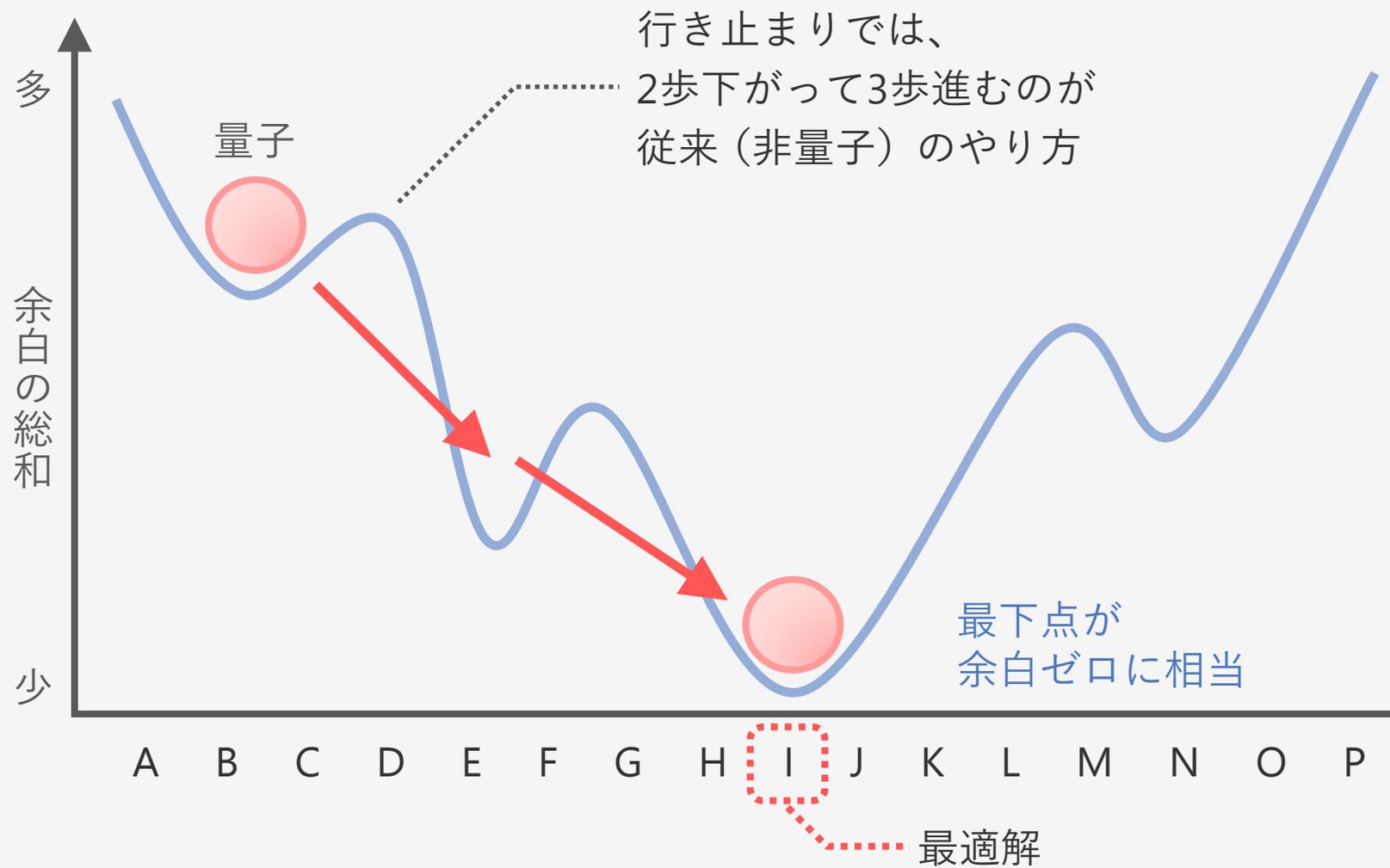
余白 = 0

# 「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

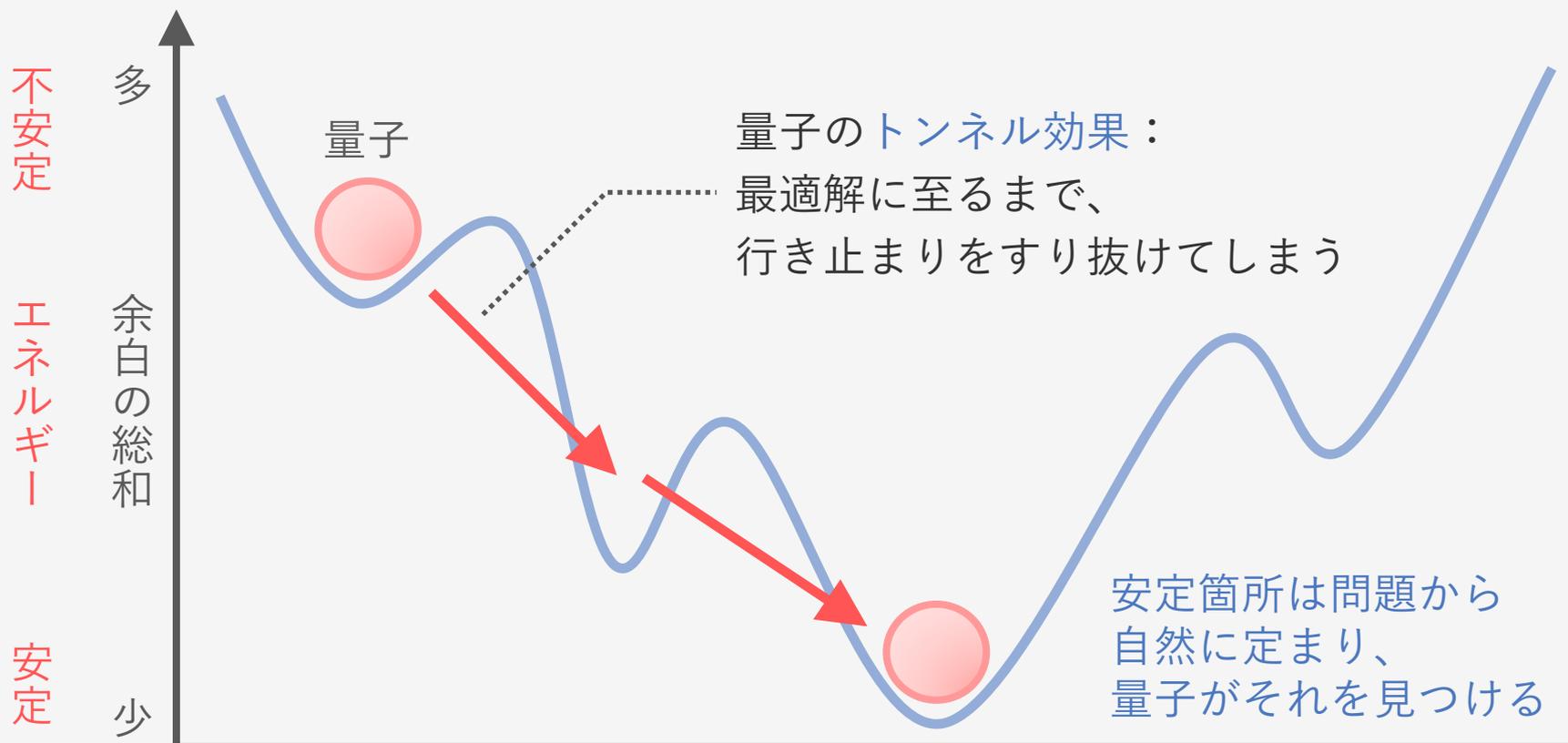


# 高いところから低いところへ



← 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



0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1
0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1
0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1

← ブロックの配置パターン →  
(ビットが示すパターン)

## D-Wave 2Q（アニーリング型）

- 初号機は2011年発売：128量子ビット
- 2000量子ビット
- Google/NASA, ロッキードマーティン, VW社が利用
- 国内ではデンソーが交通経路の演算に導入  
ほか研究施設（東北大、早稲田大）

先行投資ベースでの商業利用が進む

# その他 注目の取り組み

---

## IBM Q

ゲート方式で17量子ビット。2017年3月より **商業利用開始**  
**クラウドでの体験利用** を無料公開

## 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方式**の  
量子コンピュータを商用化予定

## Rigetti Computing

米国の **量子コンピュータ スタートアップ**

ゲート方式8量子ビット、2017年3月に6400万ドルの資金調達

# 量子コンピュータの応用可能性

---



## 高速汎用計算（ゲート方式）

スーパーコンピュータを上回る計算速度



## 電子レベルの化学シミュレーション

工業用の触媒、新素材の開発、医薬品



## 機械学習の加速

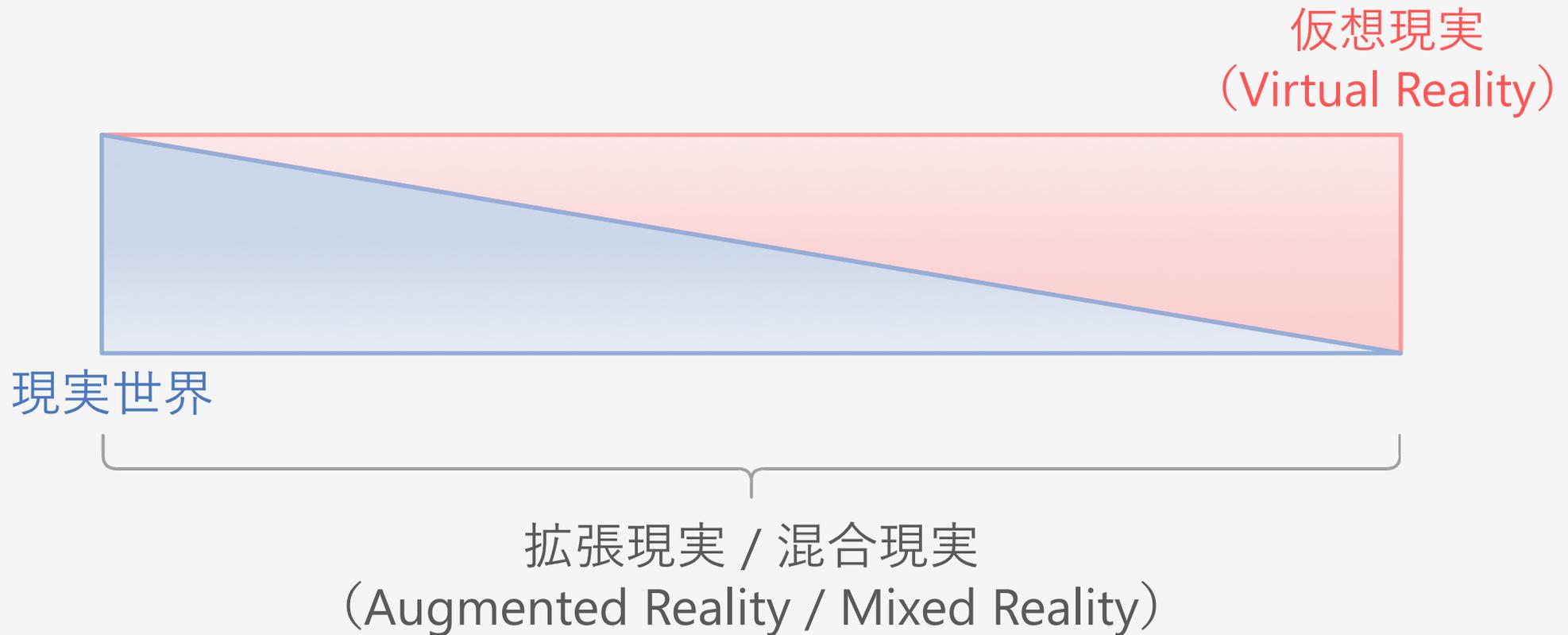
学習プロセスで生じる最適化問題を解く

ハードとともにアルゴリズムの開発が進む

# VR, AR, MR



# VR, AR, MRとは



VR：100% 仮想空間。その場で使うのが前提

AR/MR：現実空間も見える。動きながら体験可能

# AR（拡張現実） vs MR（混合現実）

---

AR (augmented), MR (mixed)

現実の拡張という立場の AR に対して、  
現実、仮想世界の境界のなさを強調したのが MR。

仕組みは同じ、世界観の違い

（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



## Meta2

2017/7~ : 開発者向けモデル。90度の広い視野角

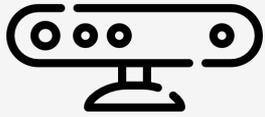


## Magic Leap (未公表 未発売)

プロダクト完全秘匿のまま企業価値は \$6B へ

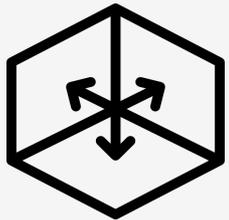
# ARの核となる技術

---



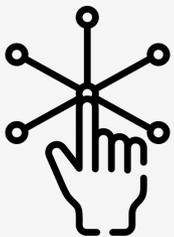
## 現実空間の把握

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



## AR vs リアルデータの同一座標処理

視線方向が変わっても、  
ARデータは現実空間上でそのまま



## 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



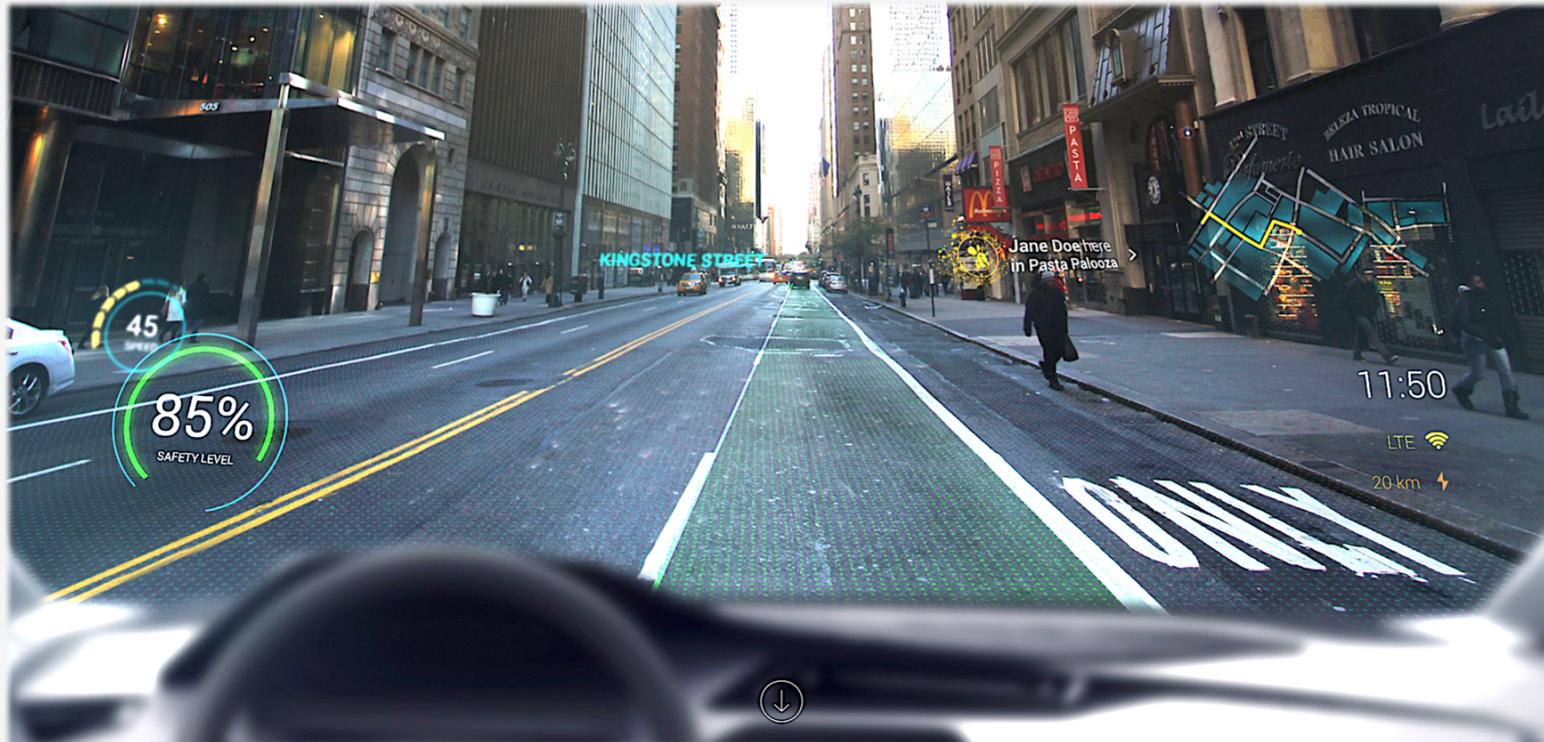
W A Y R A Y

<https://wayray.com/>

## Navion

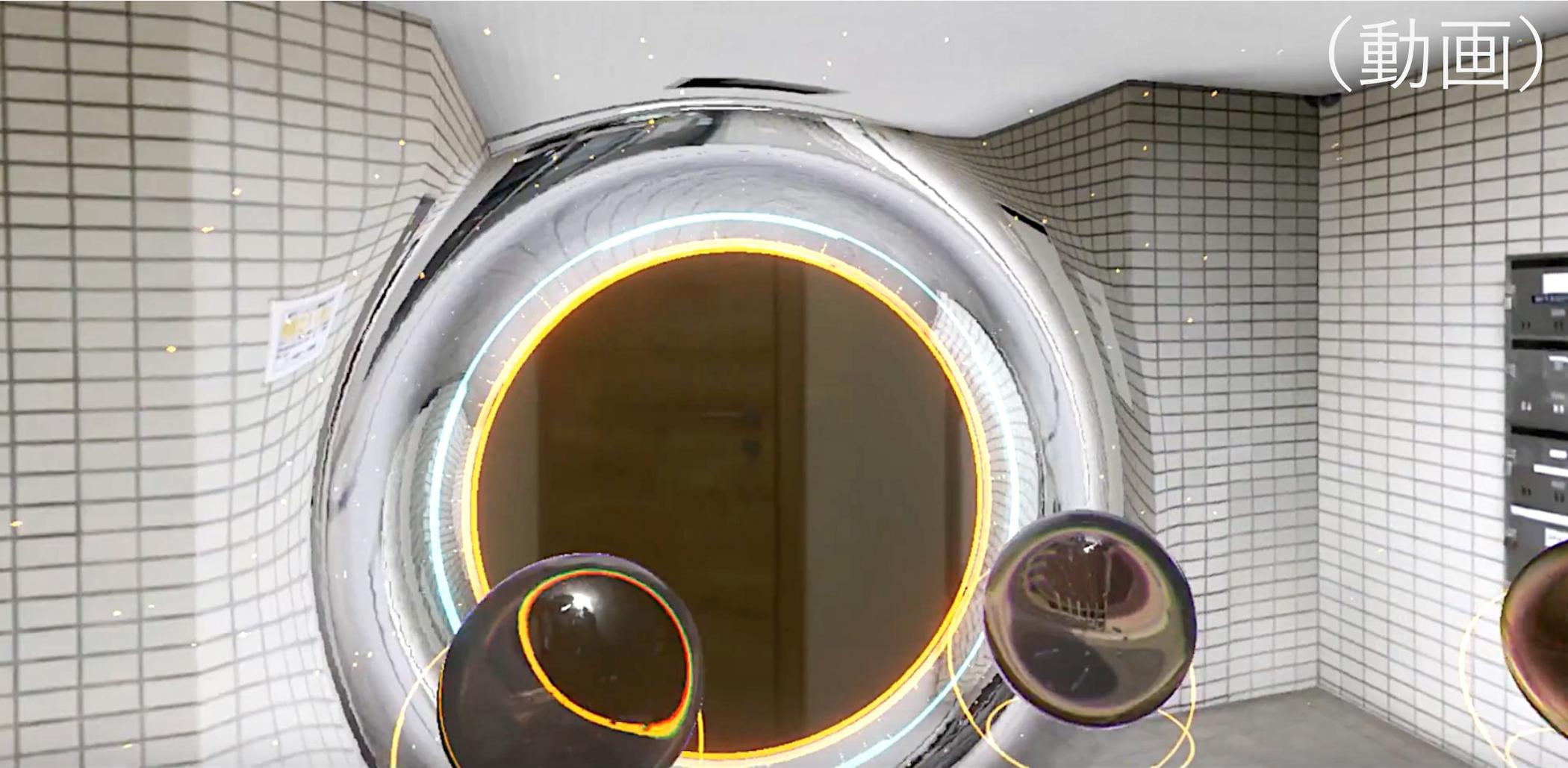
通常運転時：カーナビ機能、ダッシュボード表示

自動運転時：地域情報の表示、コミュニケーションパネル



<https://wayray.com/industry/>

(動画)



Finally, it became possible to use both 360 spherical images and geometrical structures within SpatialOrb data.

▶ ▶ 🔊 0:18 / 1:16

SpatialGate & SpatialOrb WIP    

“SpatialGate & SpatialOrb WIP”

<https://youtu.be/6D-8kkH1KPE>

# 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

# 小型化の後に起こる質的転換



## ディスプレイの変化

- ・ 鏡、窓
- ・ 網膜投影
- ・ コンタクトレンズ
- ・ プロジェクションマッピング
- ・ ホログラム
- ・ BCI

## モダリティの統合

- ・ ハプティクス
- ・ BCI

## デバイスの融合

- ・ スマホ、PC、テレビ  
vs 眼鏡、鏡、家具、空間



???

(動画)



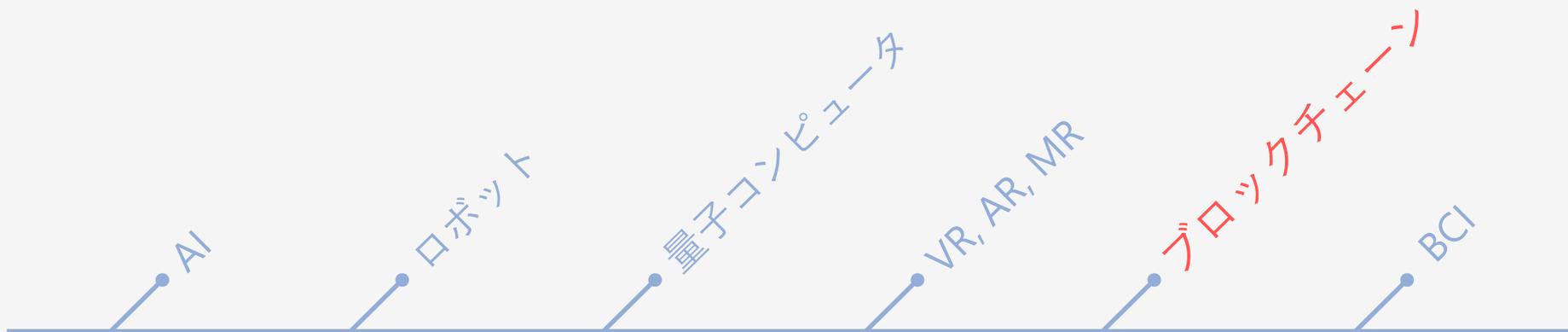
▶ ⏪ 🔊 1:46 / 2:00



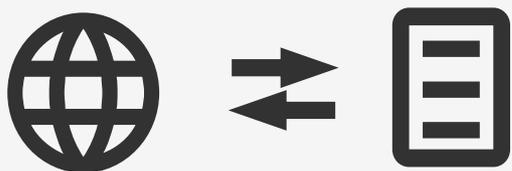
“Desktopography: Supporting Responsive Cohabitation  
Between Virtual Interfaces and Physical Objects”

<https://youtu.be/L5mCxfjk6hc>

# ブロックチェーン



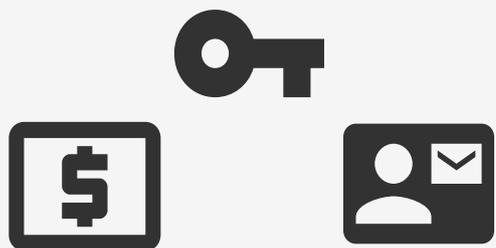
# ブロックチェーンとは



インターネットは情報を扱う



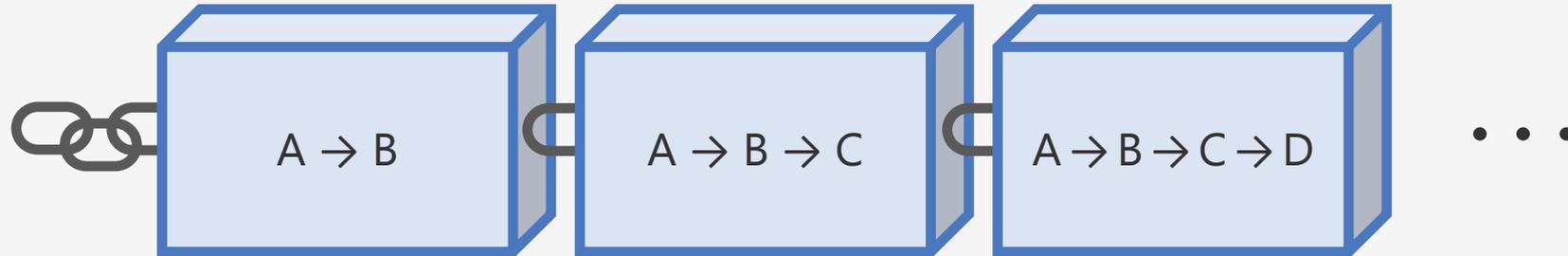
情報はコピー、改竄できてしまう



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

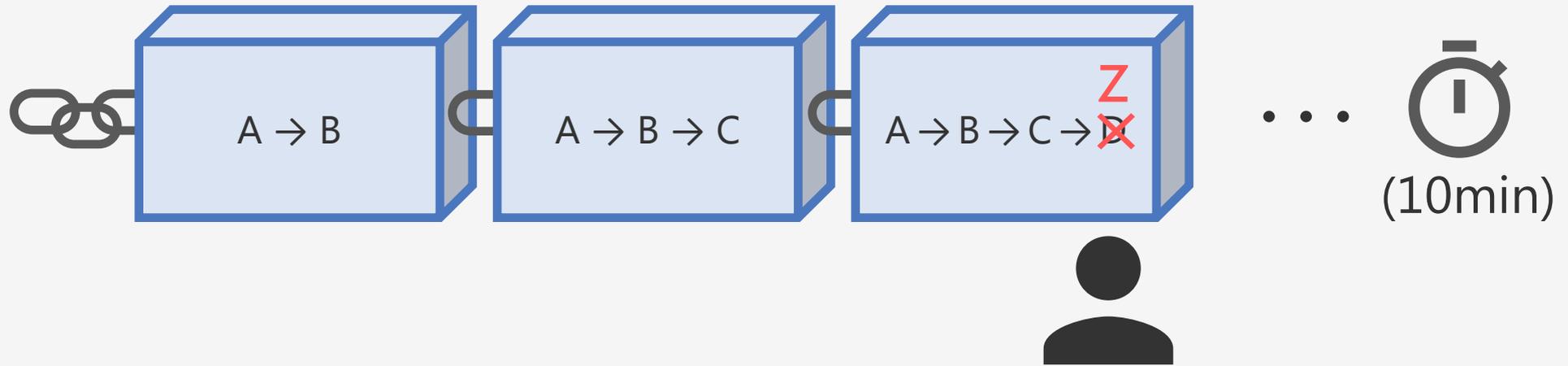
# 仕組み（ビットコインを例に）



- 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

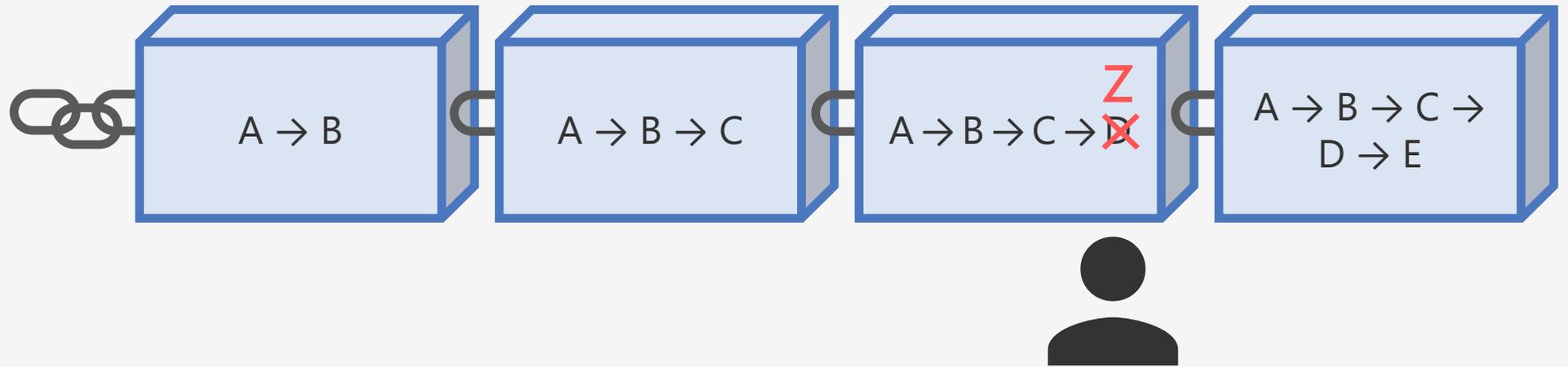
ブロック + チェーン = ブロックチェーン

# 仕組み（ビットコインを例に）



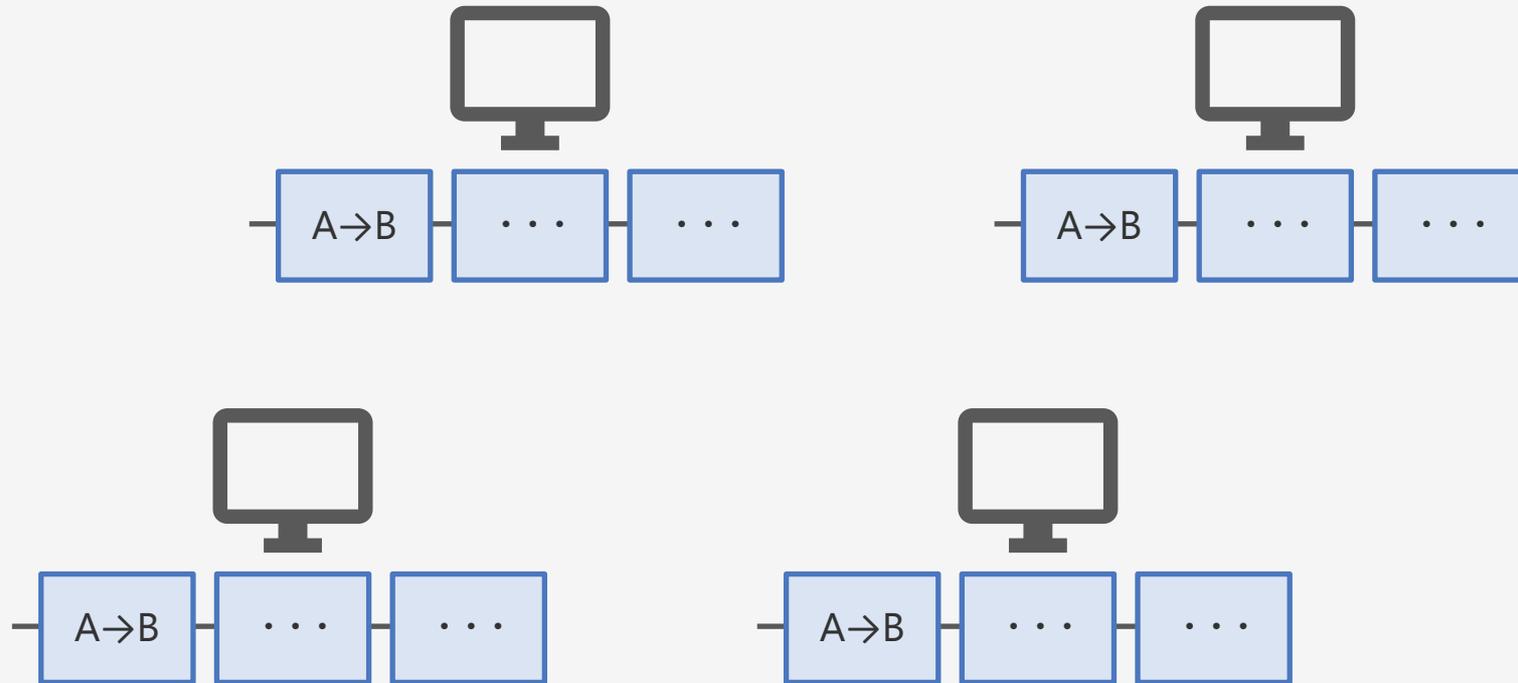
不正書き換えは10分以内に済ませないと、

# 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

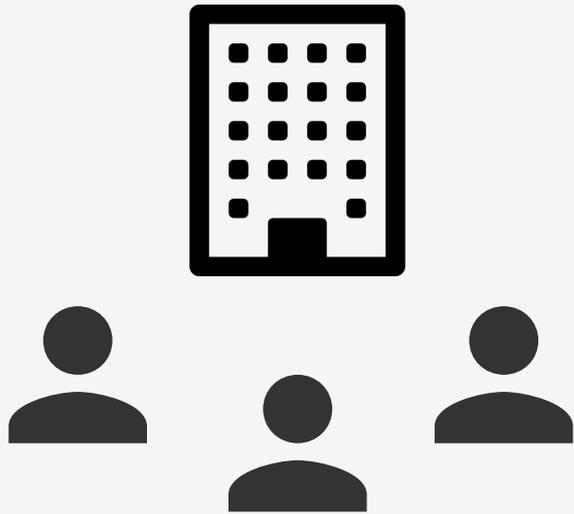
しかも全員が同じチェーンをもっている



「不正ができない取引記録台帳」

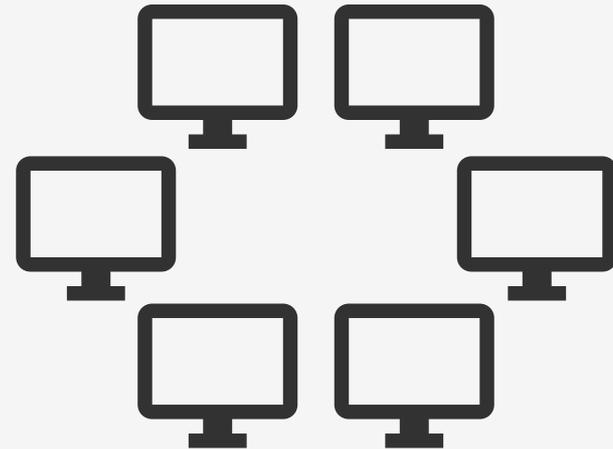
# 情報の分散管理

## 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



エストニア (人口 100万人)

## e-Residency

電子居住登録によって誰でも公共サービスが利用可能

電子手続きのみで会社設立 (法人税 0-20%)

## エストコイン

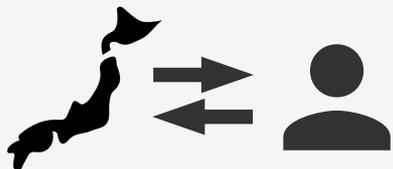
仮想通貨 **estcoin** の発行 (ICO) 検討中

## 行政手続

99%がインターネットで完結 (電子ID、電子サイン)

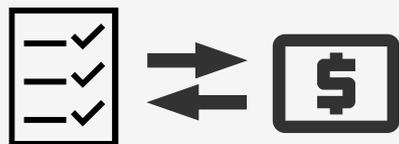
電子居住者 **1,000万人**の電子国家を目指す (~2025)

# ブロックチェーンの応用可能性



## 所属という概念の変化

国に個人が従属するのではなく、  
国籍や採用貨幣、制度は**個人が選択可能なパラメータに**



## スマートコントラクト

将来の契約執行が保証される。**将来価値の前借りが可能に**



## 民主主義の改変

直接民主制や投票権の委託、投票権の勾配付け

いずれも技術上は可能。採用するかは**意思決定の問題**

# 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

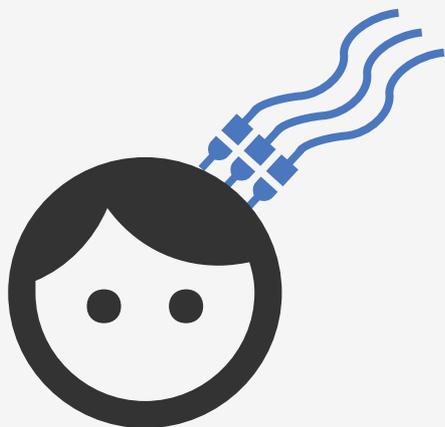
- 1998年 サルが思考のみでアームを操作（1,000km遠隔）
- 1999年 意思表示ができない患者 脳波による文字会話実現

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

(動画)



"Brain-Computer Interface allows Fast, Accurate Typing by people with Paralysis | QPT"

<https://youtu.be/Rma2JDQaY1I>

# 2017年上半期の動き



- 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)

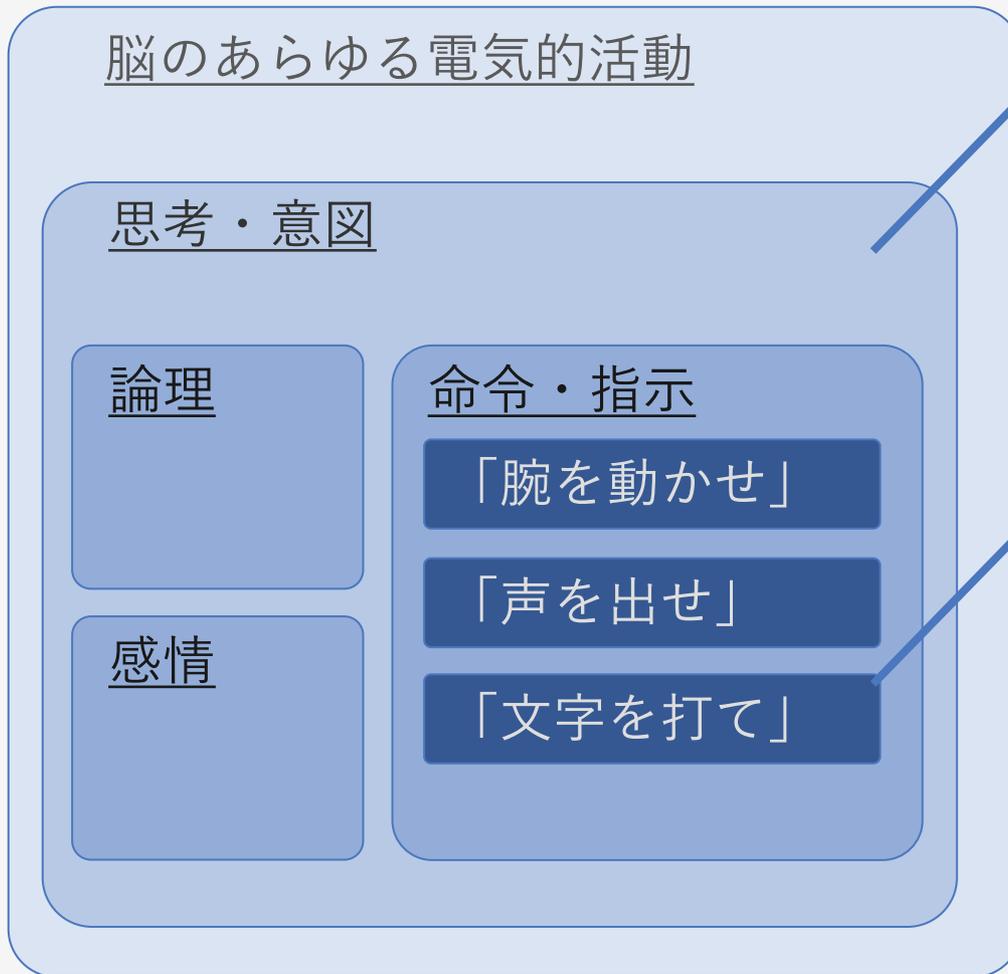


- 思考によるタイピングデバイス
- 装着型BCI
- 「100語/minの機器を2年で作成」 (2017/4)

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

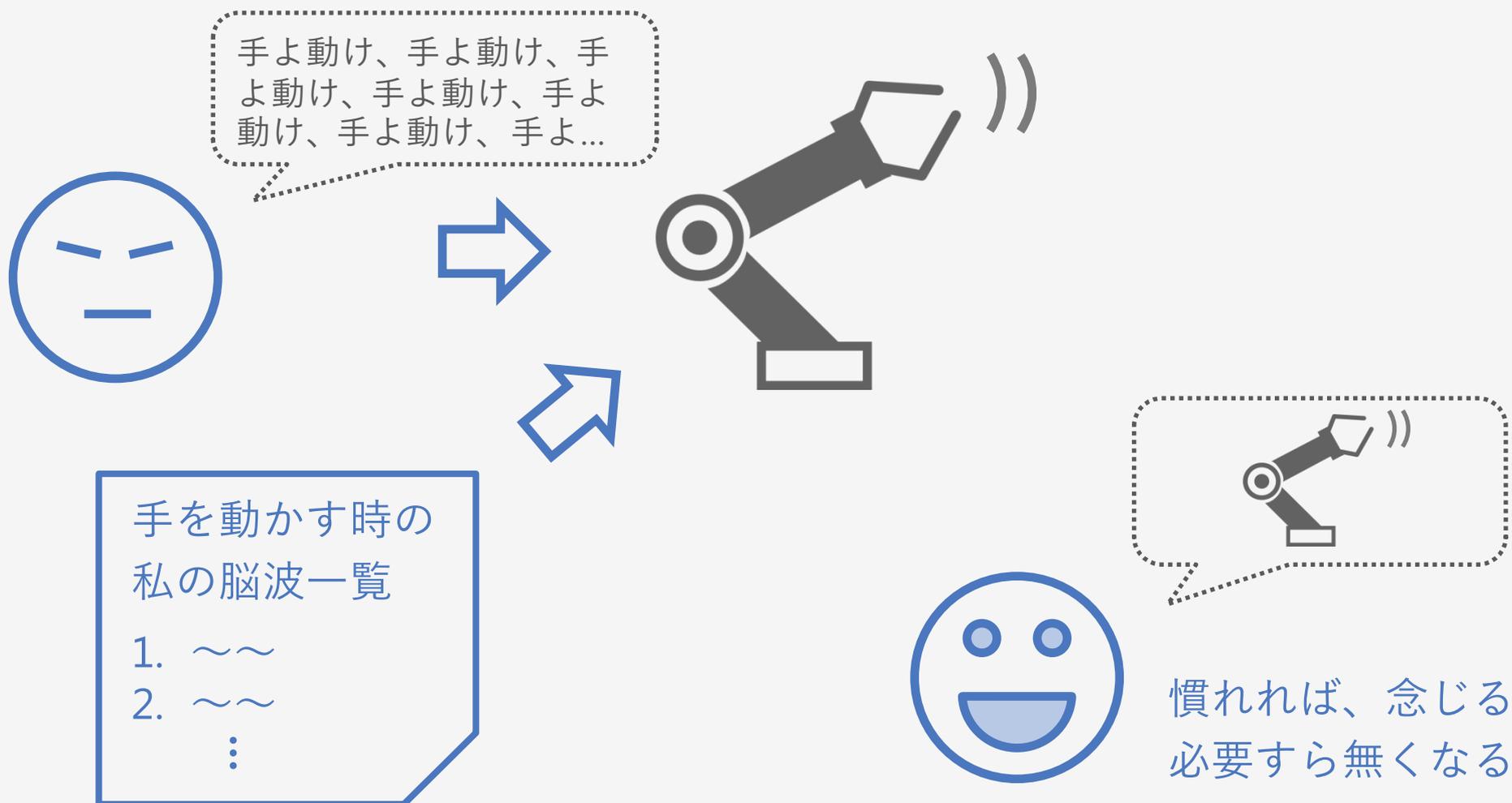
出力対象はこのレイヤー。  
目の前の人を

- 腕が勝手に殴ってしまわない
- 無自覚に口説いてしまわない

のと同じように**自制は可能**

# ロボットアームの仕組み

人間語の脳波を機械学習し、機械語に自動翻訳して操作



# 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

- 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

# BCIの可能性



## 身体の機械化

身体的制限の克服



## 脳と身体の空間的分離

有機物的に非連続な自己。存在という概念の転換

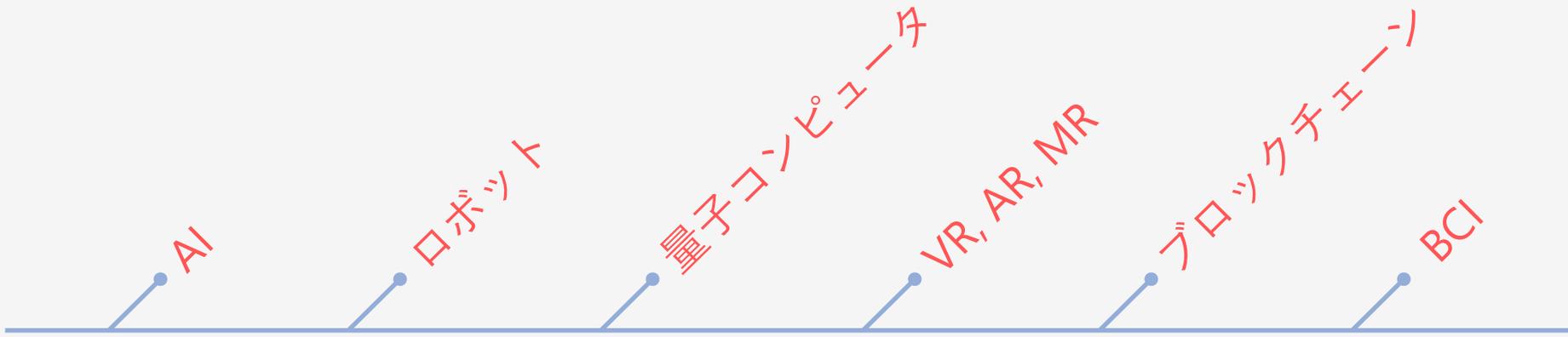


## 非圧縮 = 1分の1 コミュニケーション

言語というボトルネックのバイパス

brain-to-brain interface (BBI) も実例あり

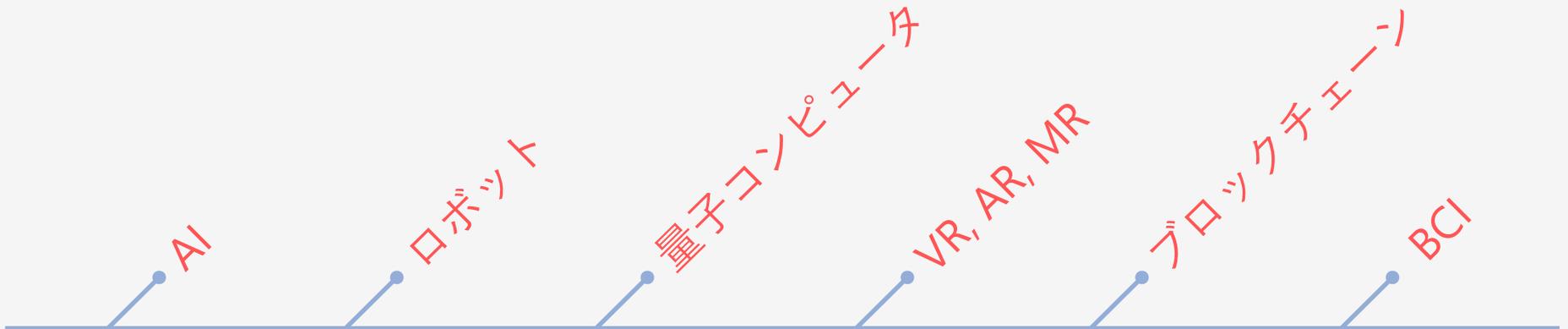
環境ではなく、**我々の身体を対象とした改変**



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)

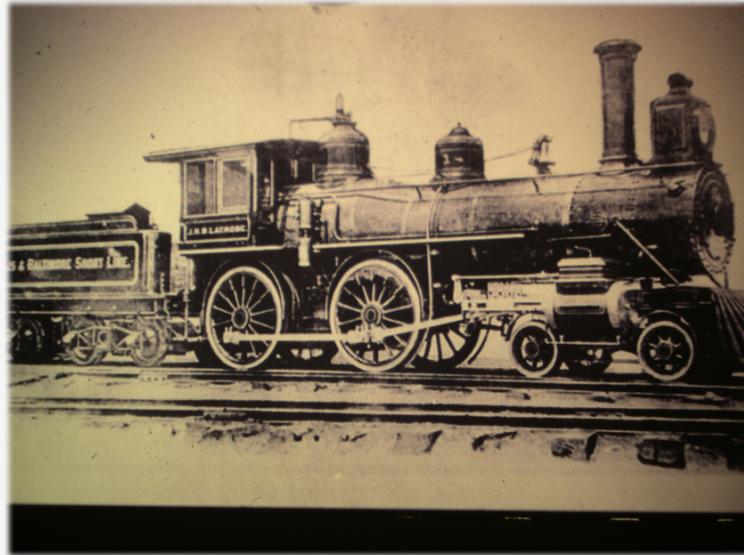
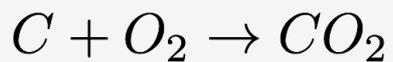


# テクノロジーのもつ性質

# テクノロジーと科学

## テクノロジーとは

この世界の科学法則を、人間に役立つ形に変換する技術



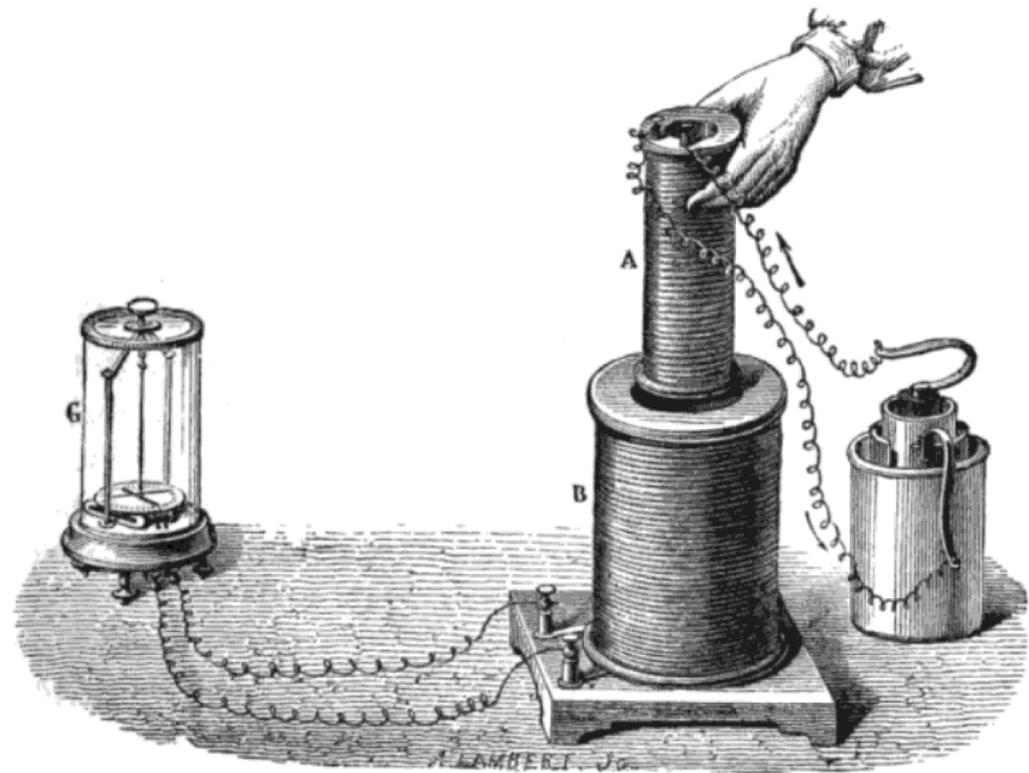
$$pV = nRT$$



CC BY SA 2.0 Fr, Rama

$$\nabla(\varepsilon \nabla \varphi) = -\rho$$

背景には常に科学法則



“電気が何の役に立つのか、私には分かりません。ただあなた方（大蔵省）が将来それに課税することは確信しております”

— マイケル・ファラデー —

# 基礎研究の場は大学から企業へ

科学法則

$$\oint_S \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$$



テクノロジー

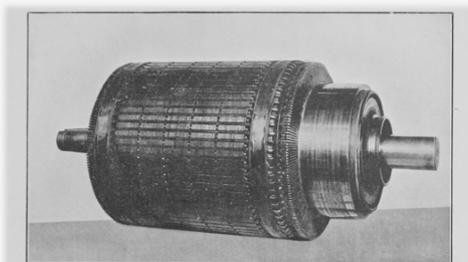


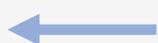
Fig. 377. ARMATURE OF BRITISH WESTINGHOUSE ELECTRIC AND MANUFACTURING CO.'S 150 H.-P. SINGLE-PHASE RAILWAY MOTOR.



製品



基礎研究



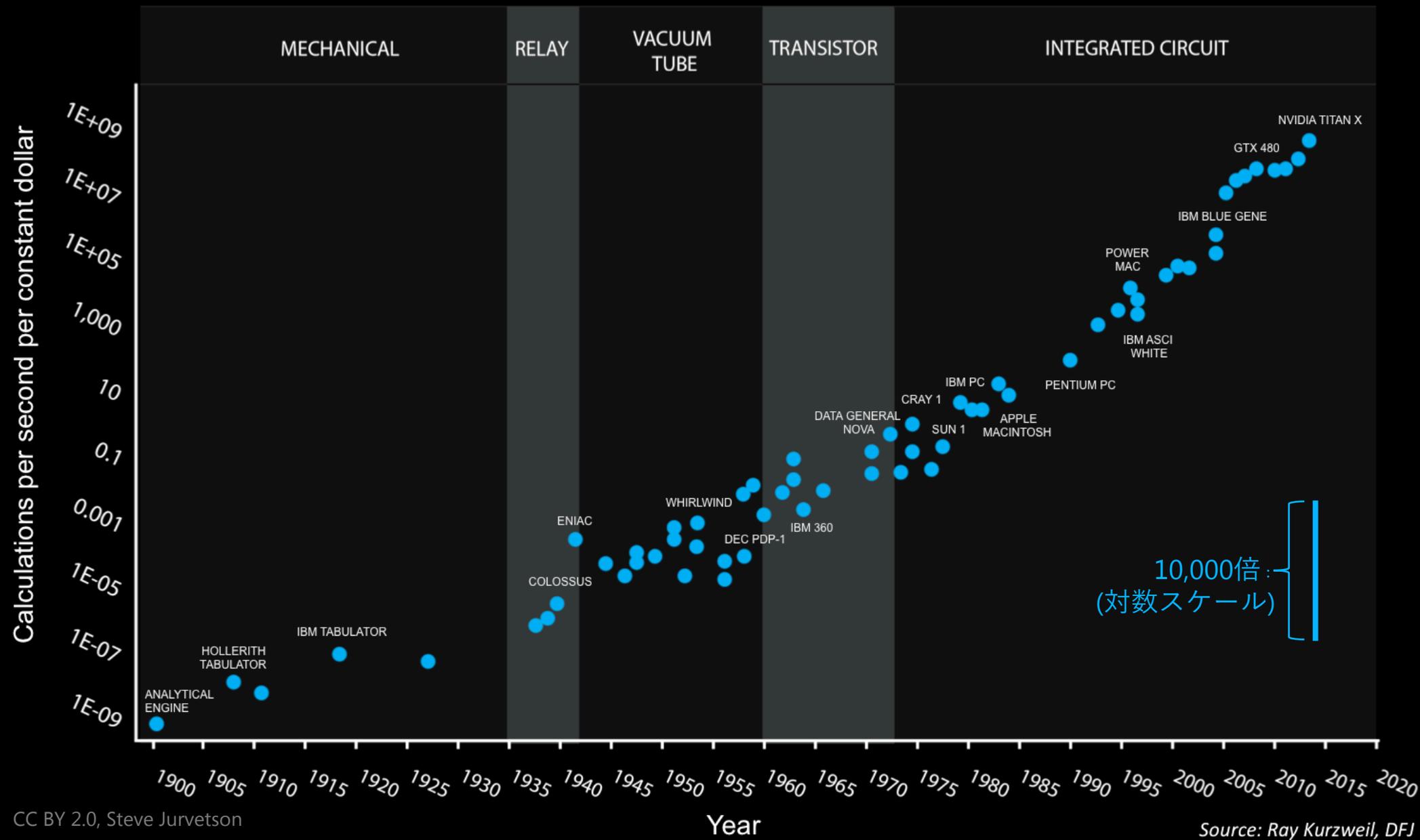
R & D

製品開発

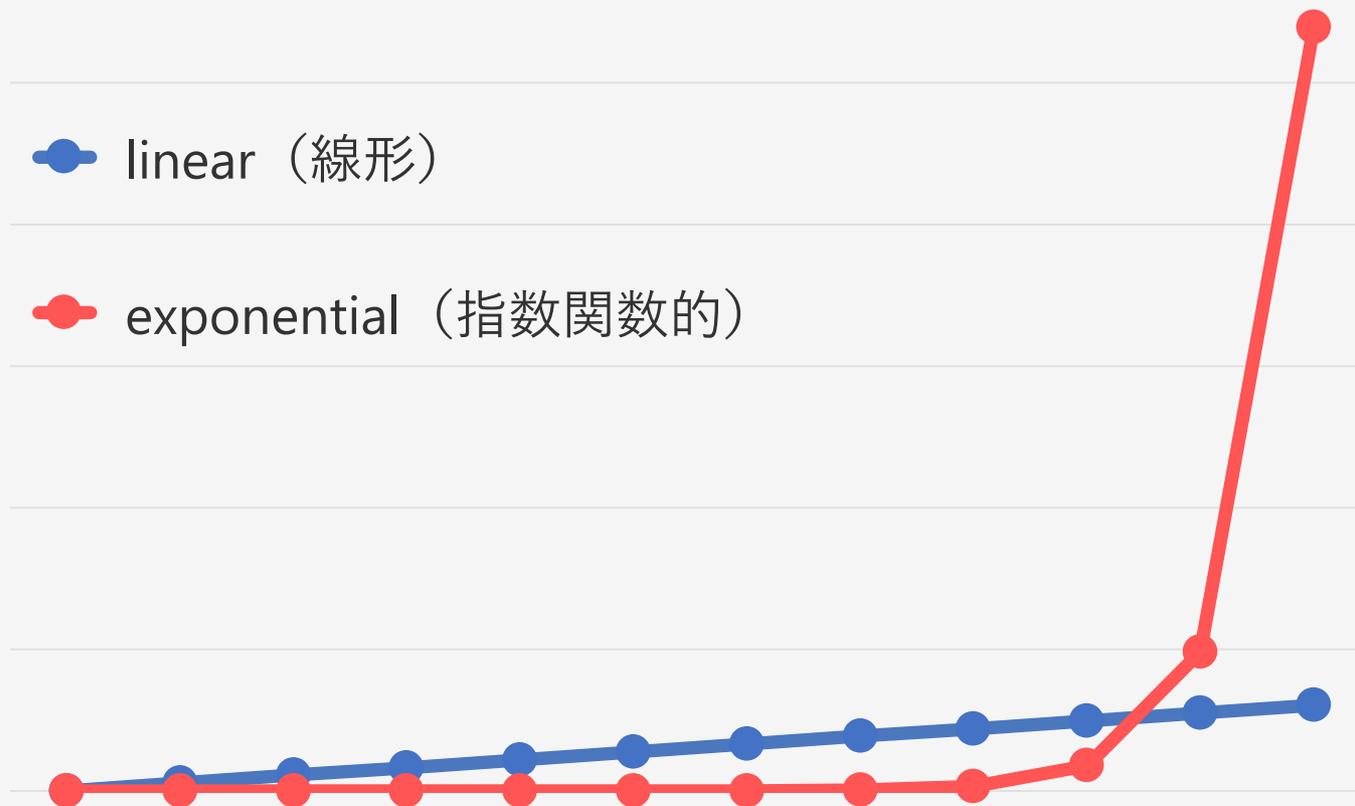
企業内部門の範囲拡大

- 大学の研究室ごと **acqui-hire** の対象に
- 敢えて**モントリオール**にAI研究所をつくるFacebook社

# 120 Years of Moore's Law



# Linear vs Exponential



アマラの法則：人は短期的には技術の影響を過大評価し、長期的にはその影響を過小評価しがちである

# 直近500年の変化

世界人口

 **14**倍

1500年  
VS  
現代

5億人  
70億人

総生産

 **240**倍

2500億USD  
60兆USD

消費熱量

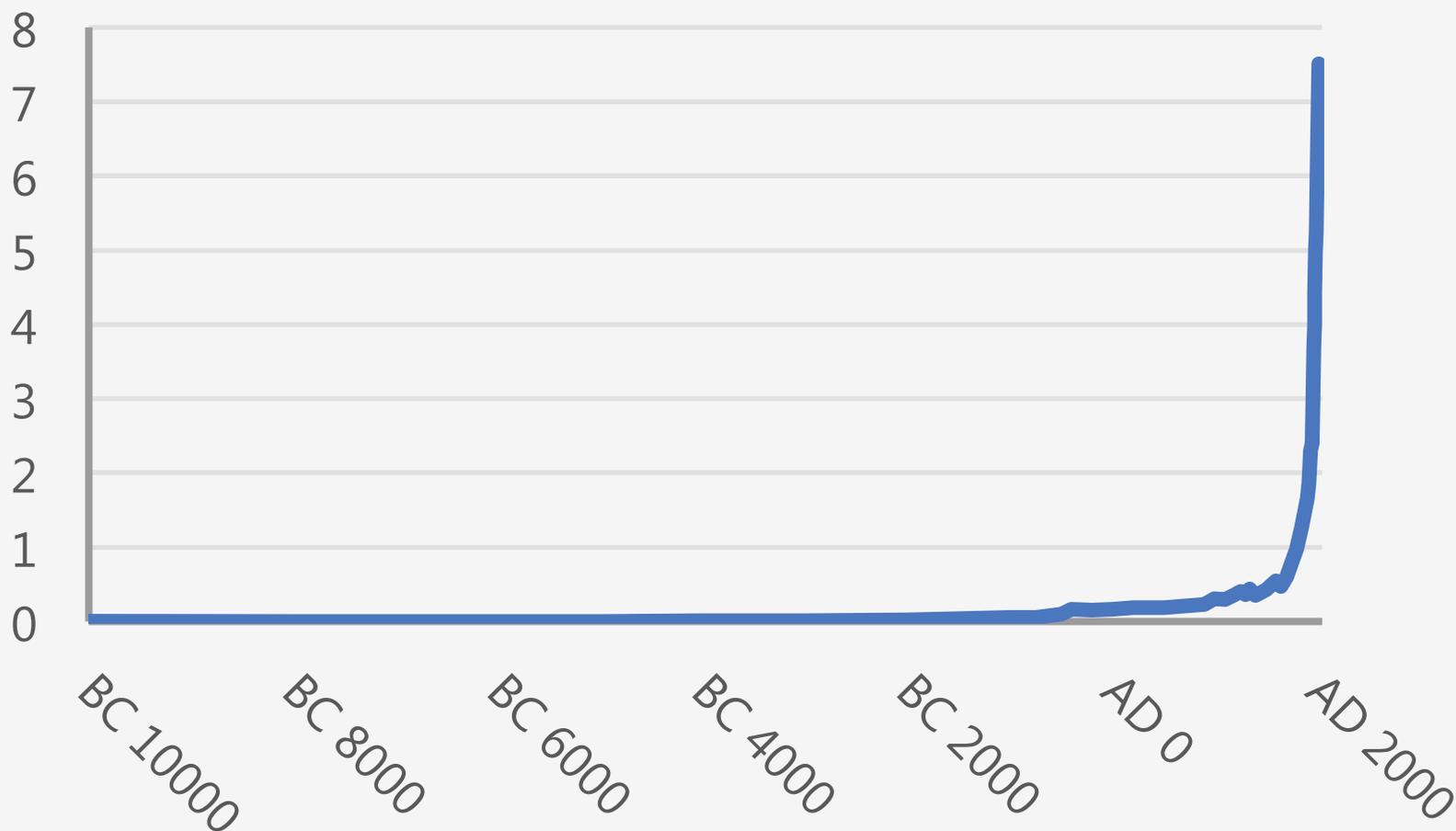
 **115**倍

130億kcal/day  
1.5兆kcal/day

(『サピエンス全史』 Yuval Noah Harari – 2011年原著)

過去500年の非連続的な変化  
そして変化のペースは大幅に加速

# 世界人口 (億人)

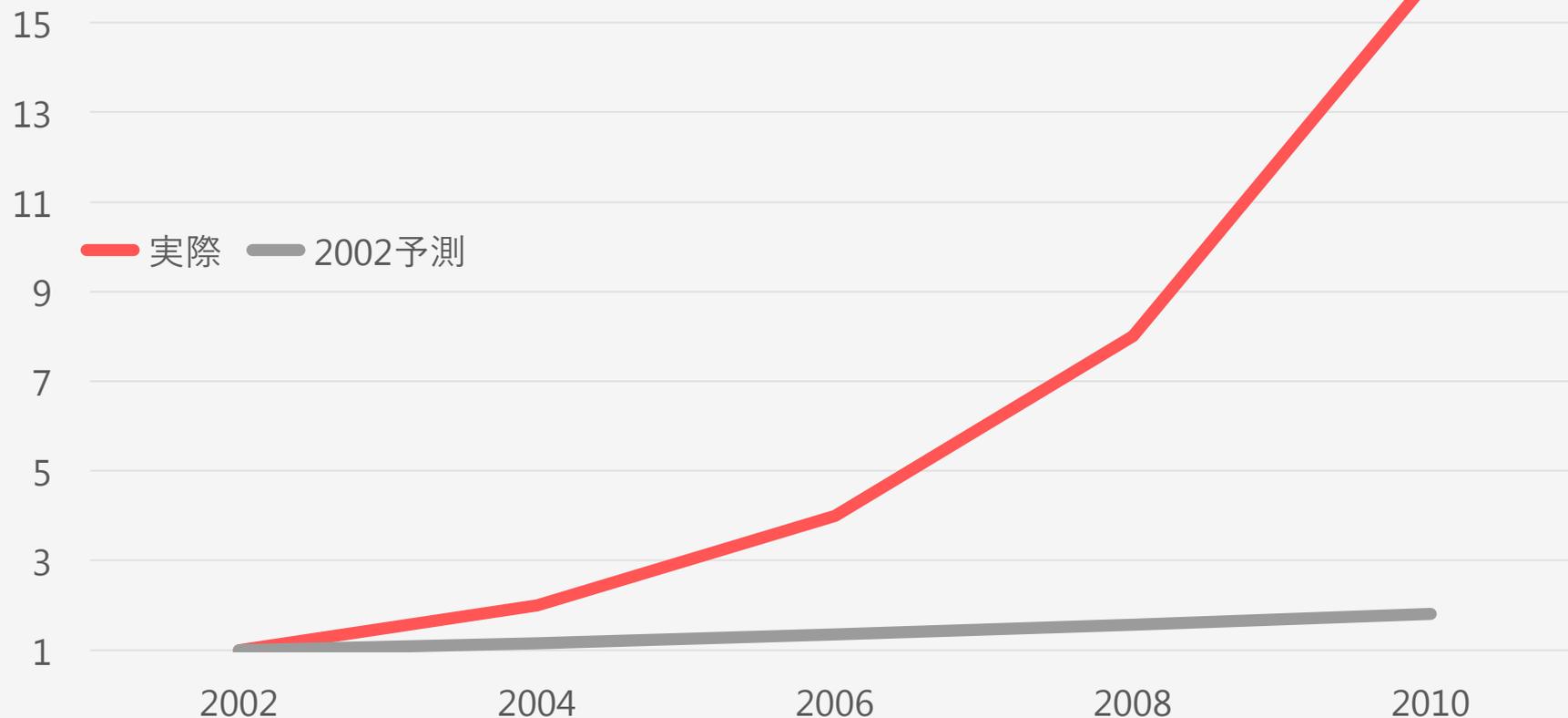


いま50歳：世界人口は **40億人** と教わった世代

いま0歳：世界人口は **85億人** と教わる世代

# 判断の誤謬

携帯電話の市場予測 (2002年相対値)



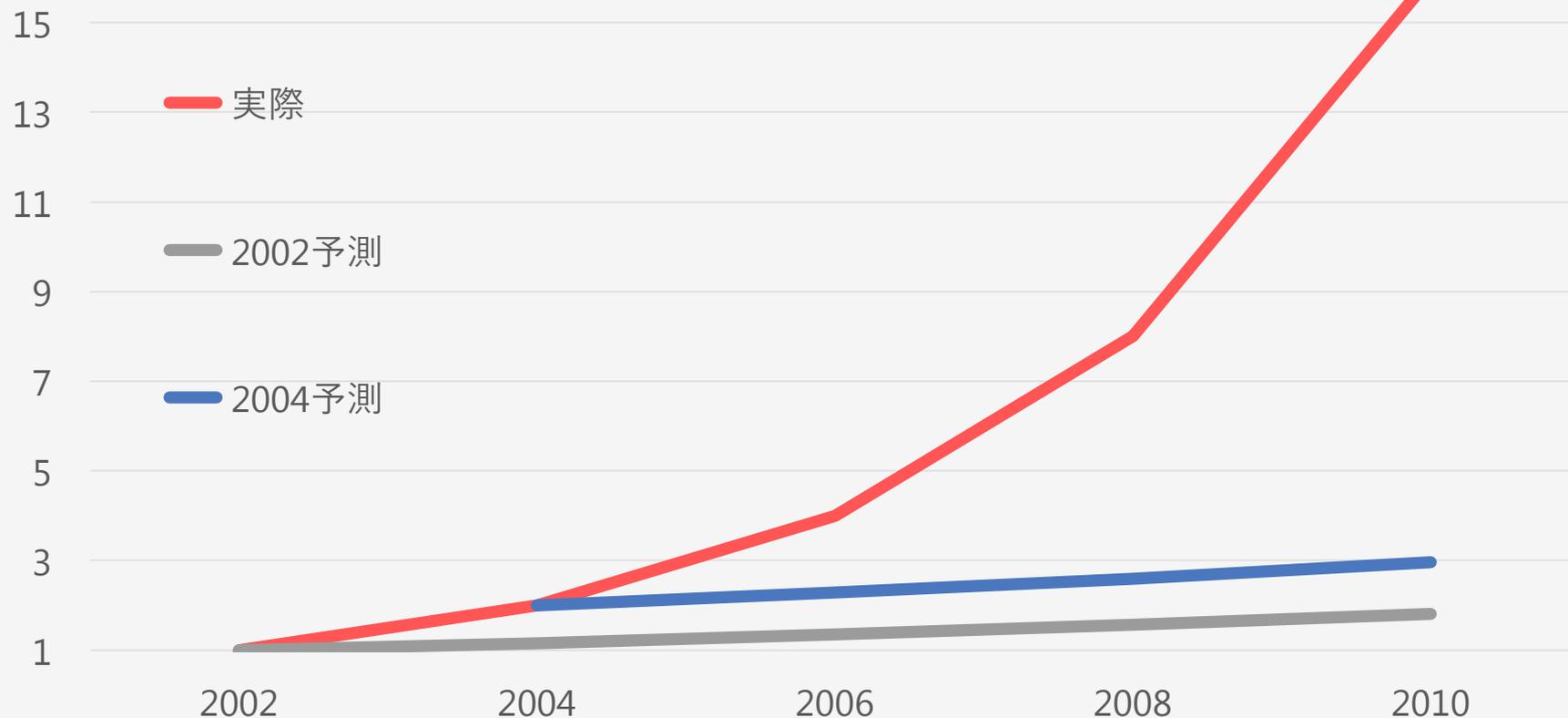
実際の成長曲線 (YoY +100%) vs

コンサルティングファーム4社の予測

(McKinsey, Gartner, Forrester, Jupiter)

# 判断の誤謬

携帯電話の市場予測 (2002年相対値)



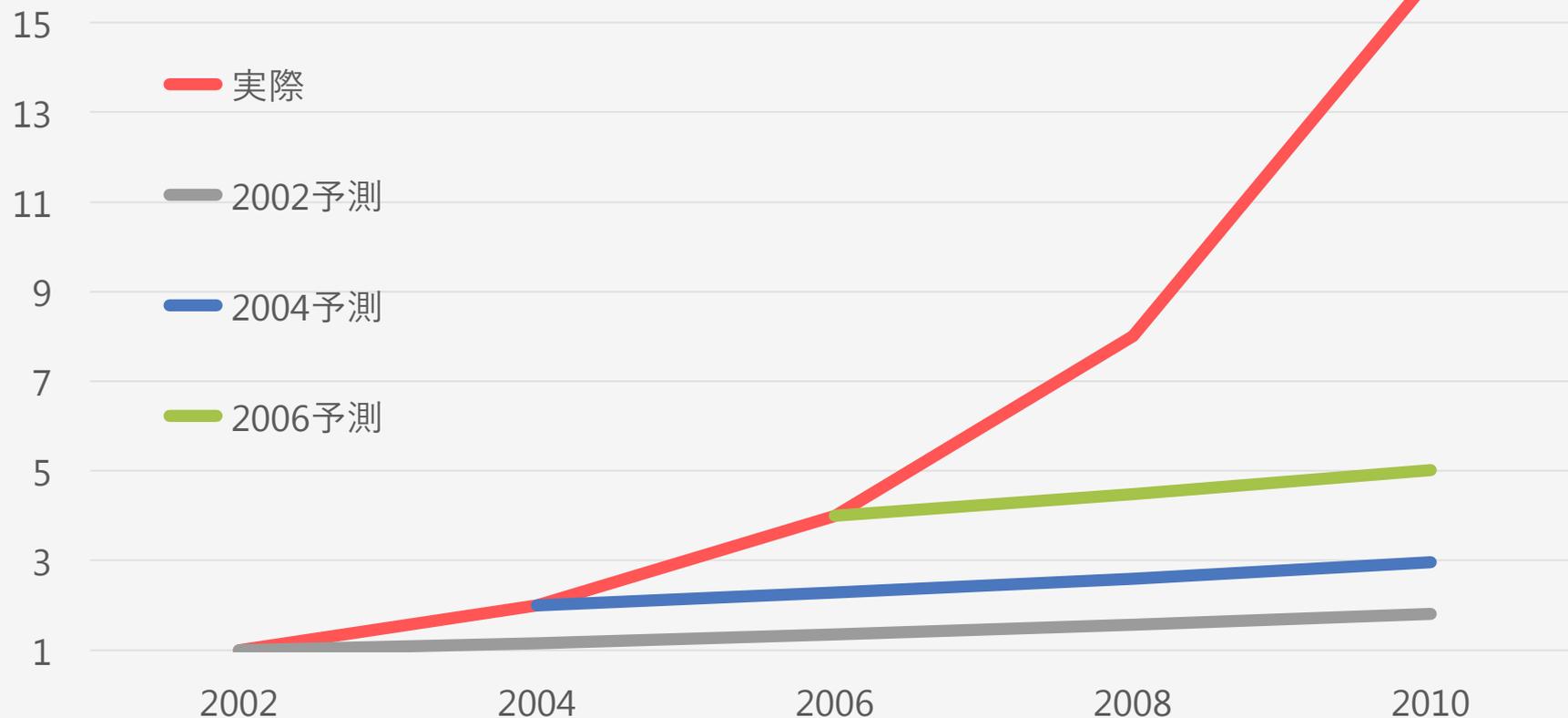
実際の成長曲線 (YoY +100%) vs

コンサルティングファーム4社の予測

(McKinsey, Gartner, Forrester, Jupiter)

# 判断の誤謬

## 携帯電話の市場予測 (2002年相対値)



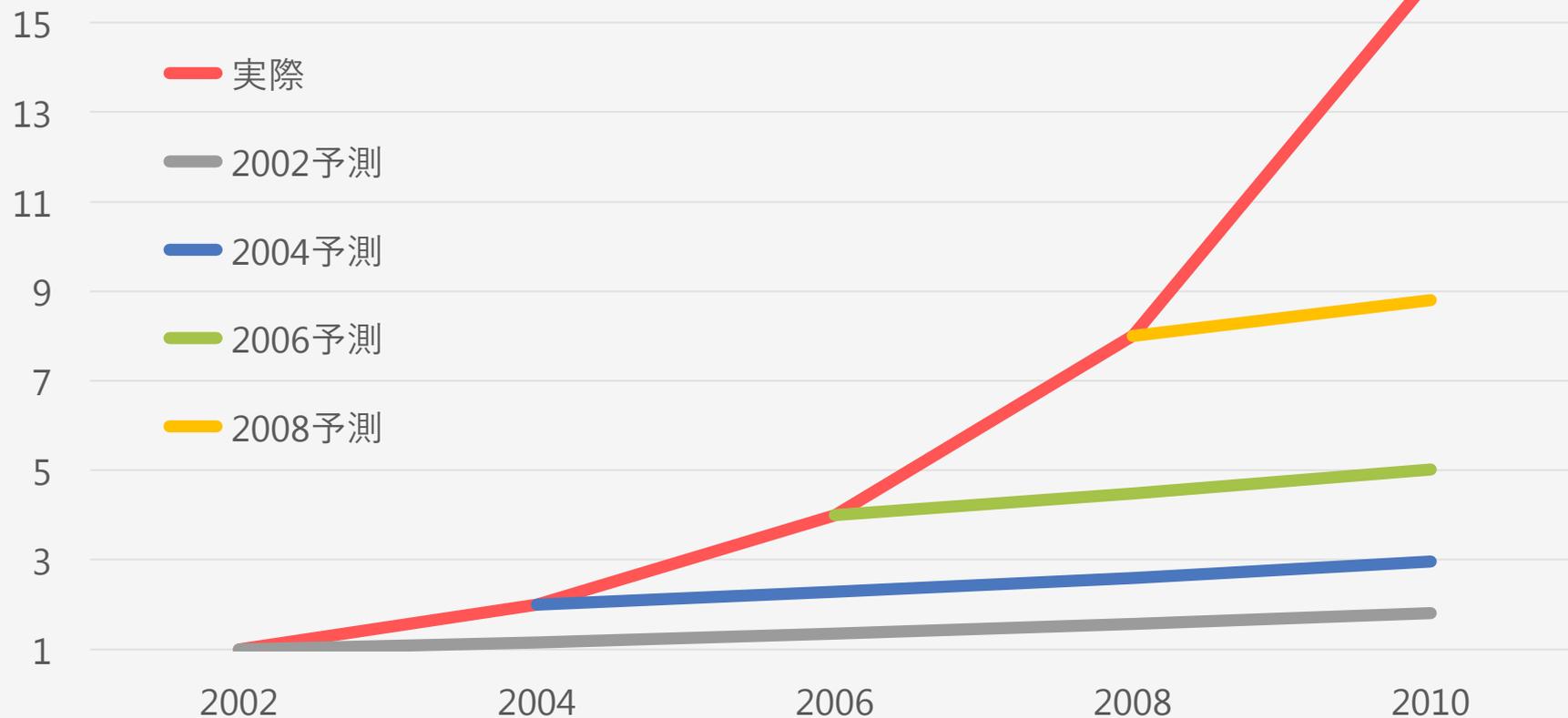
実際の成長曲線 (YoY +100%) vs

コンサルティングファーム4社の予測

(McKinsey, Gartner, Forrester, Jupiter)

# 判断の誤謬

携帯電話の市場予測 (2002年相対値)



Exponential な成長を見ても、予測は linear のまま

# Exponential な性質はどこから来るのか

$$T_{2017} = T_{2016} \times M_{2016} \times P_{2016}$$

(T: technology M: money P: people)

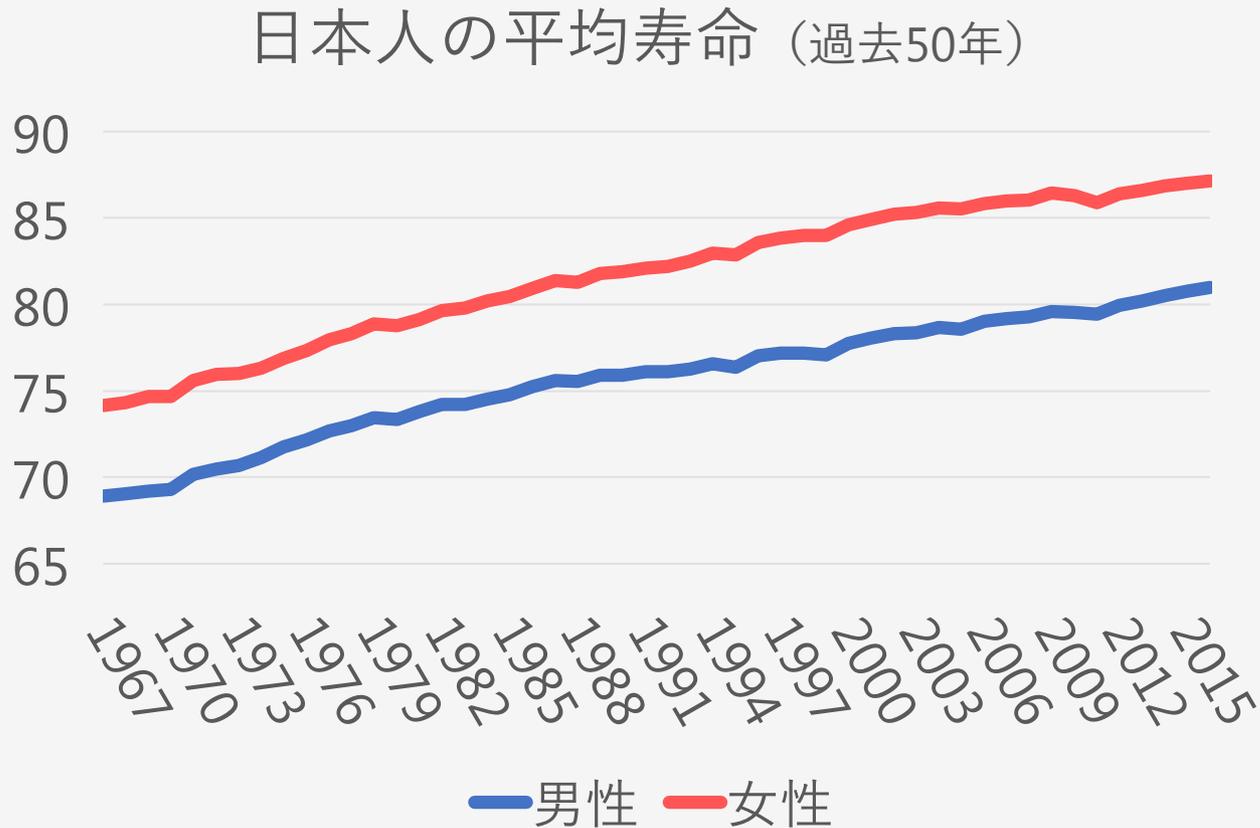
- テクノロジーがテクノロジーを進歩させる
- 正の循環構造

## 産業革命の源泉は何か

- 蒸気機関、ではなく、石炭 → 蒸気機関 → 石炭の 循環構造
- 石炭生産量：300万トン/年 (18世紀) → 1億トン/年 (19世紀)

ポジティブフィードバックが鍵

# “Thinking beyond the rules”



- 寿命の壁は125歳か？
- 人類は100m走で9秒を切れるか？8秒は切れるか？



(動画)



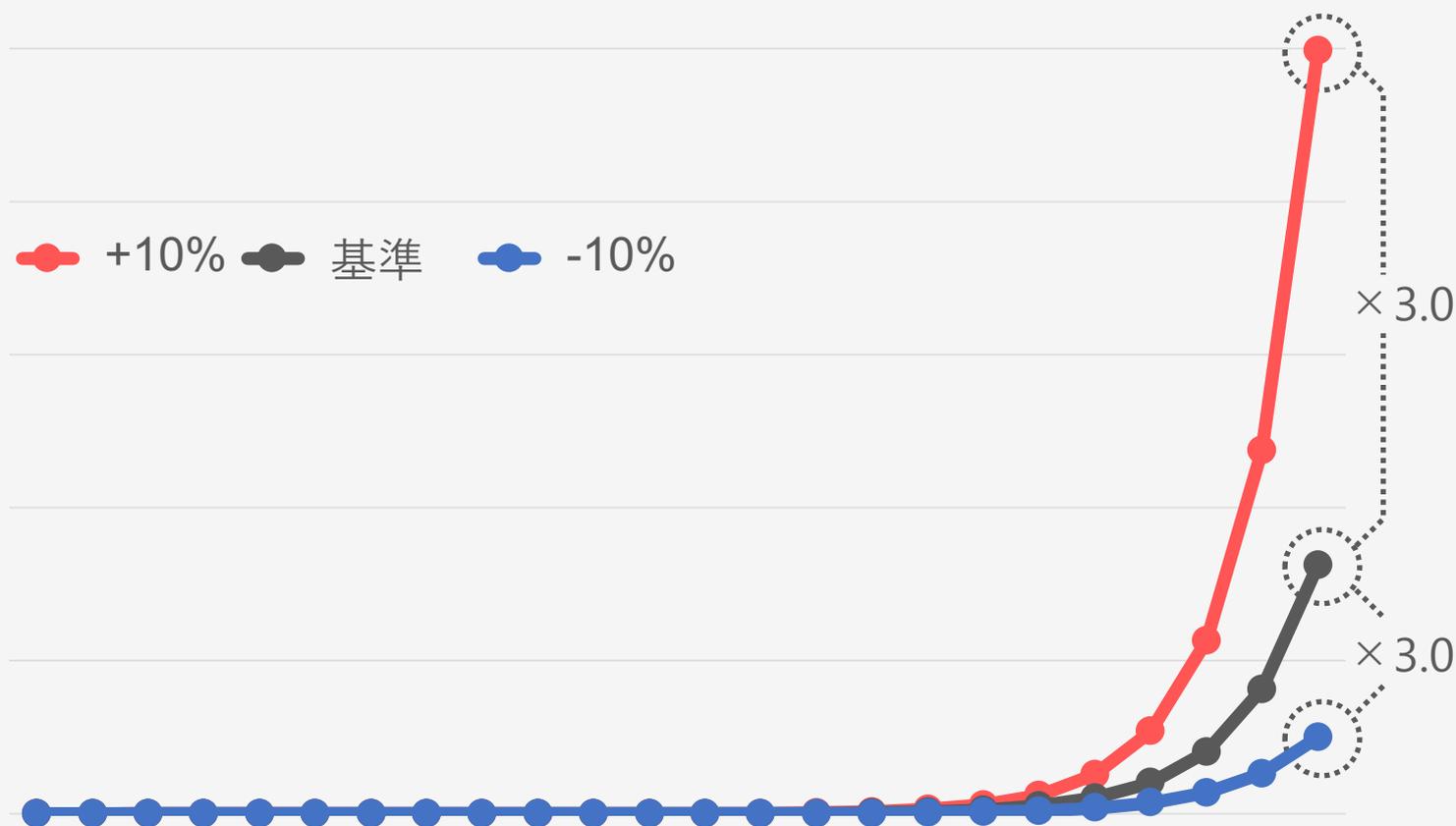
**ANDREW JONES**

**PROFESSIONAL FITNESS MODEL**

“The Fitness Model Without a Pulse”

<https://youtu.be/gNUATS8Jhuk>

# 未来は正確に予測できない



月1割の予測誤差 = 2年で3倍の誤差。Exponential なものは、  
そうと分かっているにもかかわらず時期と規模の予測が困難

# 予測できないものへの対処法

---

## Linear かつ 予測不能なもの

- どれが伸びるか不明のため解無し
- コストもリターンも linear であり、ギャンブル

## Exponential かつ 予測不能なもの

- ポートフォリオ化すれば、どれかが伸びる
- コストは linear だが、リターンは exponential

投資の経済合理性がある = GAFAが全てに手を出す理由

テクノロジーを 早く、広く押さえる ことの価値

The revolution in AI  
has been profound,  
it definitely surprised  
me, even though I was  
sitting right there.

Sergey Brin

*Google co-founder*



WORLD  
ECONOMIC  
FORUM

<https://www.weforum.org/>

正確な予測はできなくて当然

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 (哲学者)

# 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