

# ITはどこへ向かうのか Part2 ～デジタル革命の次に来るもの～

2023年 11月 15日

東京通信大学 情報マネジメント学部

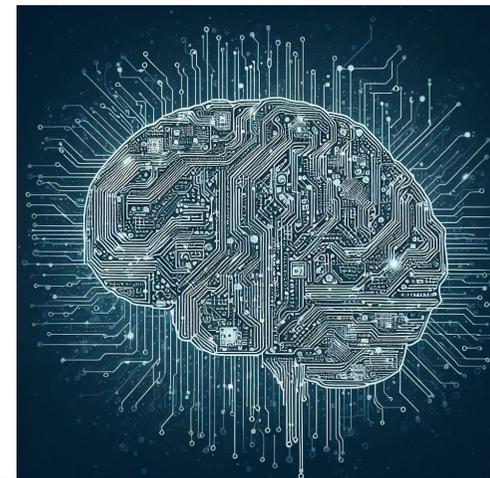
前川 徹

1

## 📺 今日の構成

1. はじめに
2. デジタル革命の系譜
3. DXと第四次産業革命
4. 知的労働の代替と増幅
5. 次のパラダイムシフト

生成AIが描いたBrain Computerのイメージ



2

## 1. はじめに

3

## 📺 ビッグトレンド ITはどこへ向かうのか



◆ 編著：安延 申、前川 徹、著：田中辰雄

◆ 2009年 6月 4日、アスペクト

◆ 本書の内容

序 章 ITは何を変えてきたのか

第一章 計算機の時代からパソコンの時代へ

第二章 オープン化、インターネットの登場と発展

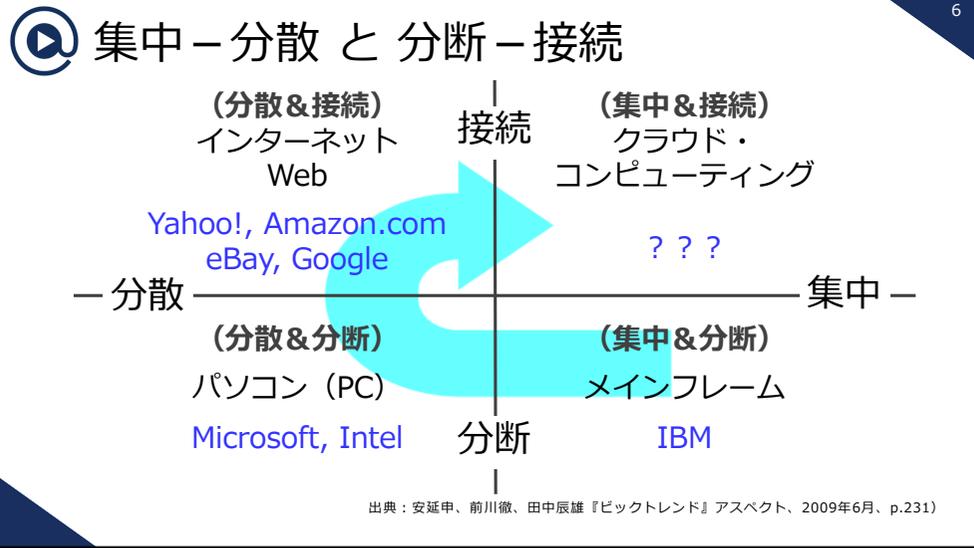
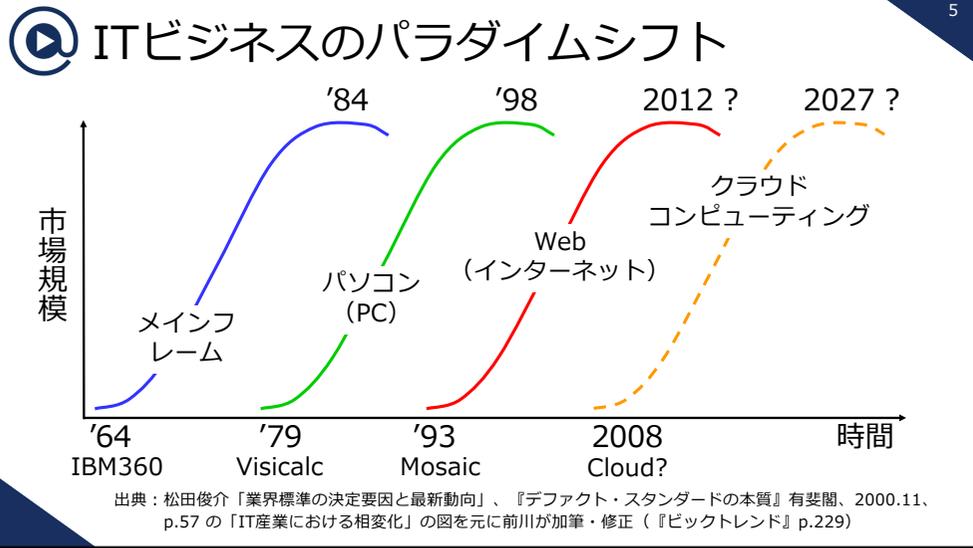
第三章 情報化の長期トレンド

第四章 SaaSとソフトウェア・ビジネスの未来

第五章 ITの未来を探る ～クラウド・コンピューティング～

終 章 ITはどこへ向かうのか

4



## 2. デジタル革命の系譜

### ライプニッツと二進法

- ◆ ゴットフリート・ヴィルヘルム・ライプニッツ (1646-1716)
- ◆ ドイツの法律家、哲学者、数学者
- ◆ 「0と1（あるいは白と黒の玉）で表現される二進数の文字列を使えば、どんな曖昧で複雑な概念も、明確な形で記号化し、論理的に操作することができる」と考えた



Gottfried Leibniz

出典：ジョージ・ダイソン『アナロジア』早川書房、2023年5月、p.8

## ④ ライプニッツの機械式計算機

9

- ◆ ライプニッツが1670年代に考案、乗除算も可能

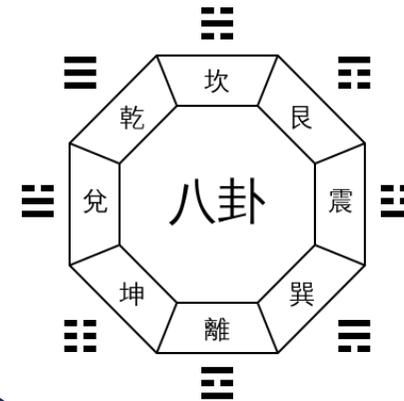


出典: <http://ds-wordpress.haverford.edu/bitbybit/bit-by-bit-contents/chapter-one/1-8-leibniz-and-the-stepped-reckoner/>

9

## ④ 二進法の原点：八卦／六四卦

10



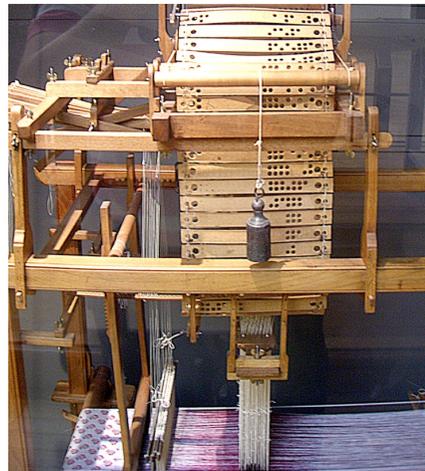
- ◆ 数学的に二進法を確立したと言われているライプニッツは、**二進法の発見は中国人の功績だと認めていた**
- ◆ 易経の六四卦は二進法を表現している。六四卦は八卦を2つ重ねたもの
- ◆ ライプニッツは、歯車を使わない、**二進法によるデジタル計算機**を考えていた

10

## ④ プログラム内蔵方式とジャカード織機

11

- ◆ 仏の発明家、ジョゼフ・マリー・ジャカル（1752-1834）が発明した自動織機
- ◆ **パンチカードの穴の有無**によって複雑は模様を織ることが可能
- ◆ 一種の**プログラム内蔵方式**
- ◆ パンチカードは、その後タビュレーティングマシンや大型電子計算機でも利用された



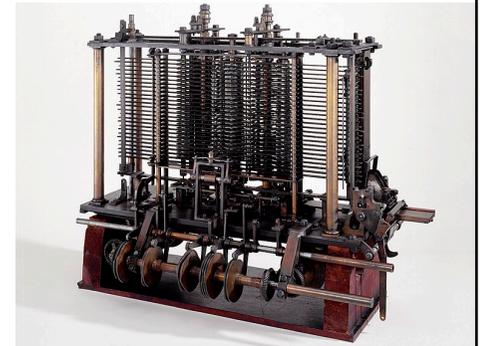
11

## ④ バベッジの解析機関

12

- ◆ チャールズ・バベッジ（1791-1871）イギリスの数学者。哲学者、計算機科学者
- ◆ 世界で初めて**プログラム可能な計算機を考案**（分岐、条件付き実行が可能）資金不足で未完成
- ◆ 蒸気機関で動き、プログラムとデータはパンチカードを利用
- ◆ プログラマブルであるが、計算は二進方式ではない

解析機関 (Analytical Engine) の一部 (試作品)  
© Bruno Barral, CC BY-SA 2.5



12

# ラブレス伯爵夫人 (エイダ・ラブレス)

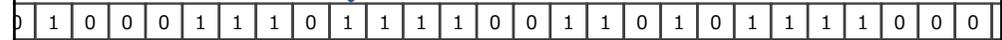
- ◆ オーガスタ・エイダ・キング (1815-1852) バベッジの弟子で、解析機関に関する著作で有名
- ◆ **世界初のプログラマ (?)**
- ◆ 解析機関 (コンピュータ) は音楽の作曲もできると予言
- ◆ プログミング言語「Ada」、NVIDIAのGPUアーキテクチャ「Ada Lovelace」は彼女の名前から



# チューリングマシン

- ◆ アラン・チューリング (1912-1954) が「計算可能性」に関する議論のために提示した**抽象機械**、万能計算機
- ◆ 無限の長さのテープ、テープ上の記号を読み書きするヘッド、状態遷移表と読み書きとテープを左右に操作する制御部で構成
- ◆ **チューリングマシンを具体化したものがノイマン型コンピュータ**

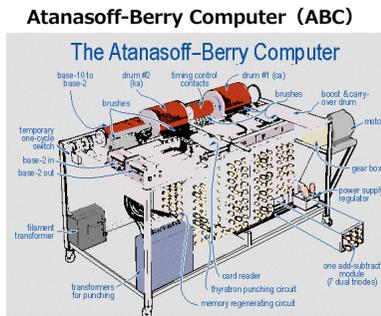
ヘッドはテープの特定のセルを読み、書き換えるかどうか  
テープを左右に動かすかどうかを遷移表によって決める



チューリングマシンのイメージ

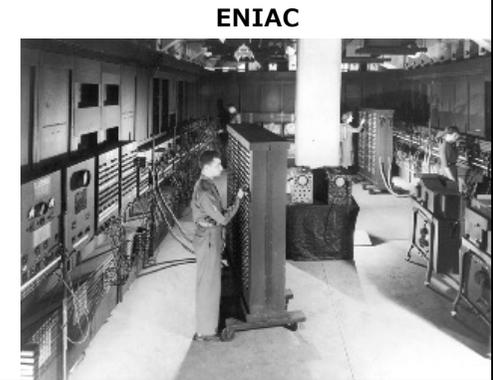
# アタナソフ&ベリー・コンピュータ

- ◆ アタナソフ&ベリー・コンピュータ (ABC)
  - **世界初のコンピュータ (電子式デジタル計算機)**
  - 1937~42年に開発
  - 真空管280本と熱陰極管31個を使用
  - 二進法を採用
  - 演算部とメモリ (記憶部) の分離
  - 計算はすべて電子的
  - **プログラム内蔵式ではない**



# ENIAC

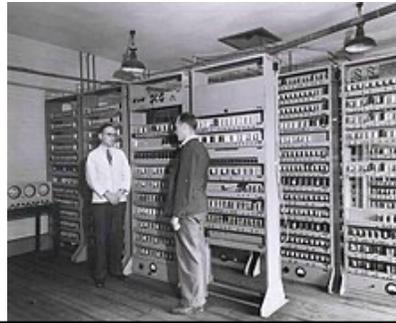
- ◆ ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Computer)
  - 1946年に公開、陸軍の弾道計算用に開発
  - 真空管17,468本、ダイオード7,200個、リレー1,500個、抵抗器7万個、コンデンサ1万個等で構成
  - 毎秒385回の乗算が可能
  - **プログラム内蔵式ではない**



# EDSAC (エドサク)

- ◆ Electronic Delay Storage Automatic Calculator
- ◆ モーリス・ウィルクスとケンブリッジ大学の数学研究所のチームが開発
- ◆ 1949年稼働
- ◆ 主記憶装置は水銀遅延管
- ◆ 素子は真空管 (約3000本)
- ◆ **世界最初の実用的なプログラム内蔵式コンピュータ**

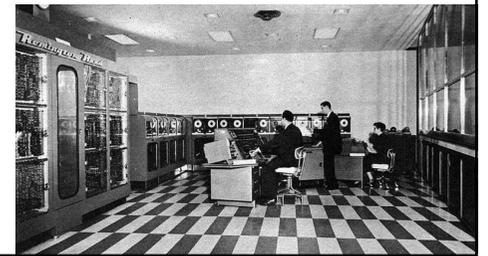
Maurice Wilkes and Bill Renwick  
in front of the complete EDSAC  
© Computer Laboratory, University of Cambridge  
CC BY-SA 2.0



# 世界最初の商用コンピュータ

- ◆ UNIVAC-I : ジョン・エッカートとジョン・モークリーが開発
- ◆ **世界最初の商用コンピュータ、1950年に完成**
- ◆ 1951年にレミントンランド社が発売
- ◆ 販売価格は100万ドル以上
- ◆ 主に政府機関が購入
- ◆ 民間企業では、1953年にGEが8号機を購入

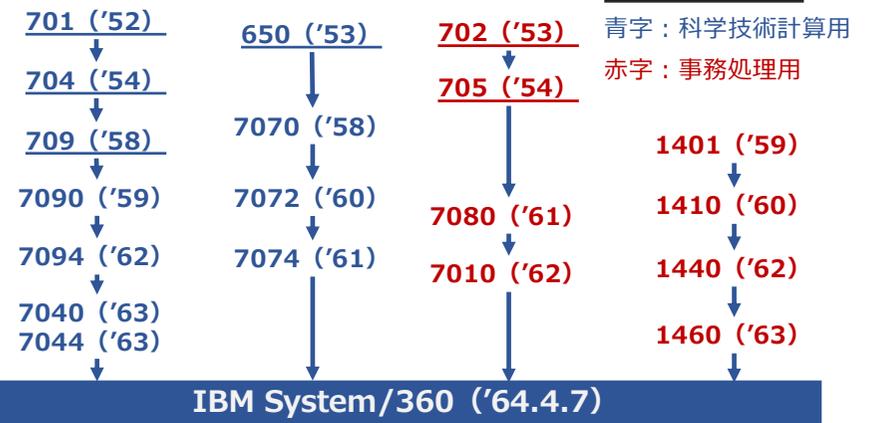
フランクリン生命保険会社のUNIVAC-I



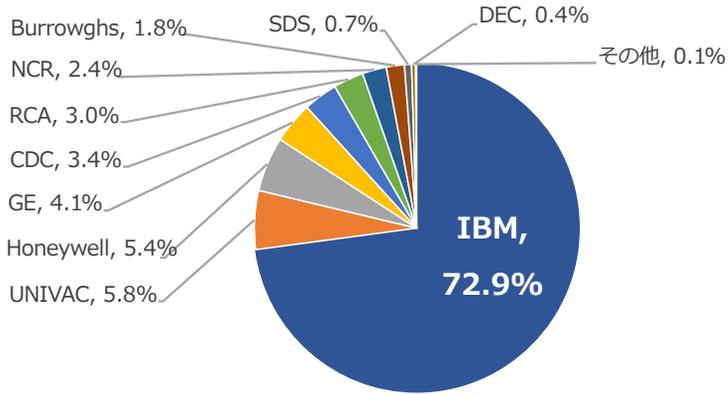
# IBM System/360

- ◆ **1964年4月に発表された「最初の汎用コンピュータ」**  
ソフトウェア次第で科学技術計算にも事務処理にも利用可能
  - ◆ System/360の「360」は360度 (全方位) を意味する
  - ◆ 開発費総額は約50億ドル (当時IBMの年間売上高は約30億ドル)
  - ◆ 中小型機から超大型機までシリーズになっており、「**上位互換**」があるのが特徴 (アーキテクチャが統一されていて、上位機種に乗り換えても、ソフトウェアを書き換える必要がなかった)
- (注) 上位互換 : 上位機種が下位機種の機能をカバーしていること  
アーキテクチャ : 基本設計、設計思想

# IBMコンピュータの系譜



# 1967年の米国コンピュータ市場



データの出典 : EDP Industry Report, Jan. 8, 1968

# パソコンの原点

- ◆ MITS Altair8800  
CPU: Intel8080、メモリ : 4KB  
価格 : 397ドル (発売当初)  
ソフト : Altair BASIC (別売)  
発売 : 1975年
- ◆ パソコンというよりマニア向け組立キット、キーボードもディスプレイもついていない!



# Popular Electronics Jan. 1975



- ◆ Altair8800の写真の上に "World's First Minicomputer Kit"とある
- ◆ Altair8800の記事は、1975年の1月号と2月号に連続して掲載された
- ◆ この雑誌のMITS Altair8800に関する記事が契機となって、MicrosoftとAppleの2社が生まれたと言われている

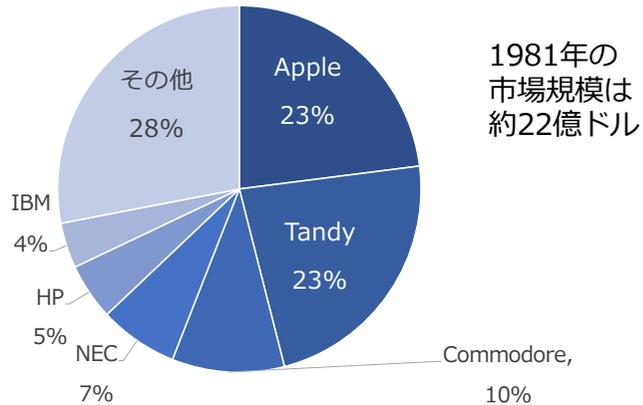
写真の出典 : Kanda News Network (https://4knn.tv/アルテア-altair-8800-1975年1月のポピュラーエレクトロニクス/)

# VisiCalc

- ◆ 1979年5月に発表された世界初の表計算ソフト
- ◆ ダン・ブリックリンとボブ・フランクストンが開発
- ◆ Apple II用のソフト
- ◆ 2年間で20万本を販売
- ◆ Apple IIの設置台数は1981年10月時点の30万台



# 1981年のパソコン市場

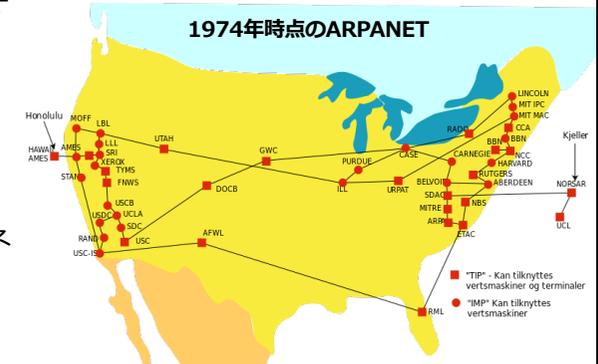


1981年の市場規模は約22億ドル

データの出典 : Kathryn Rudie Harrigan "Vertical Integration, Outsourcing, and Corporate Strategy" Beard Books Inc, June 2003, p.253

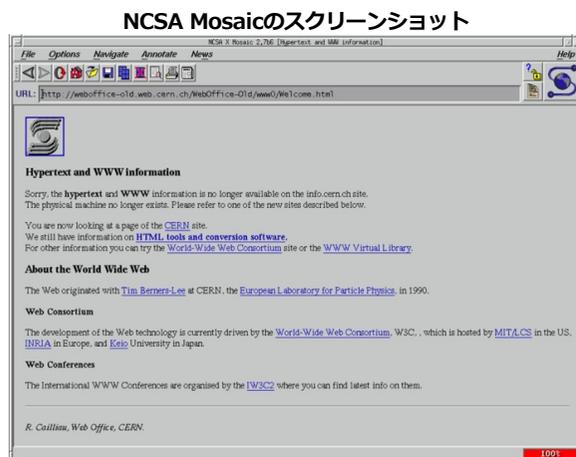
# ARPANETとTCP/IP

- ◆ ARPA (米国防総省高等研究計画局) によって1969年運用開始
- ◆ 1974年、TCP/IPに関する論文が発表される (著者はVinton CerfとRobert Kahn)
- ◆ 1980年TCP/IPが、UNIX BSD 4.1のカーネルに組み込まれる



# NCSA Mosaic (Webブラウザ)

- ◆ 1993年にリリース
- ◆ ファイル転送、ネットニュースにも対応
- ◆ テキストと画像を同一ウィンドウに表示可能
- ◆ NCSAはMosaicのマスターライセンスをスパイグラス社に付与



# 3. DXと第四次産業革命

# DXの定義

デジタル技術によってもたらされる、生活のすべての面での変化  
(the changes that the digital technology causes or influences in all aspects of human life)

出典 : Stolterman E., Fors A.C. (2004) Information Technology and the Good Life.  
(<https://www8.informatik.umu.se/~acroon/Publikationer%20Anna/Stolterman.pdf>)

企業がビジネス環境の激しい変化に対応し、データとデジタル技術を活用して、顧客や社会のニーズを基に、製品やサービス、ビジネスモデルを変革するとともに、業務そのものや、組織、プロセス、企業文化・風土を変革し、競争上の優位性を確立すること

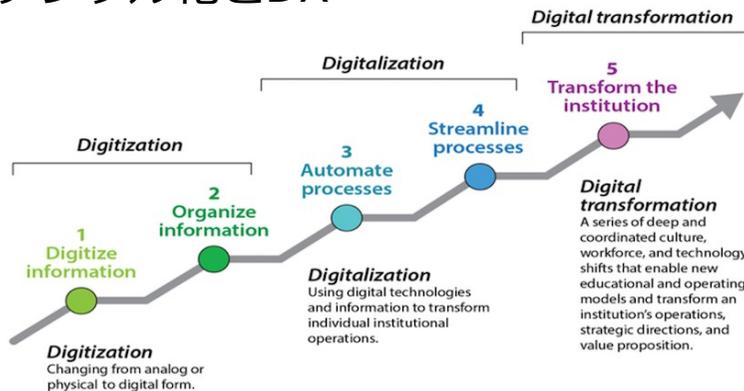
出典 : 経済産業省「デジタルトランスフォーメーションを推進するためのガイドライン (DX推進ガイドライン) Ver. 1.0」2018年12月、  
(<https://www.meti.go.jp/press/2018/12/20181212004/20181212004-1.pdf/>)

# DXは単なるデジタル化ではない

- ◆ DXを過去の情報化、デジタル化の延長で考えてはいけない
- ◆ 効率の改善ではなく、イノベーションを起こすことが重要

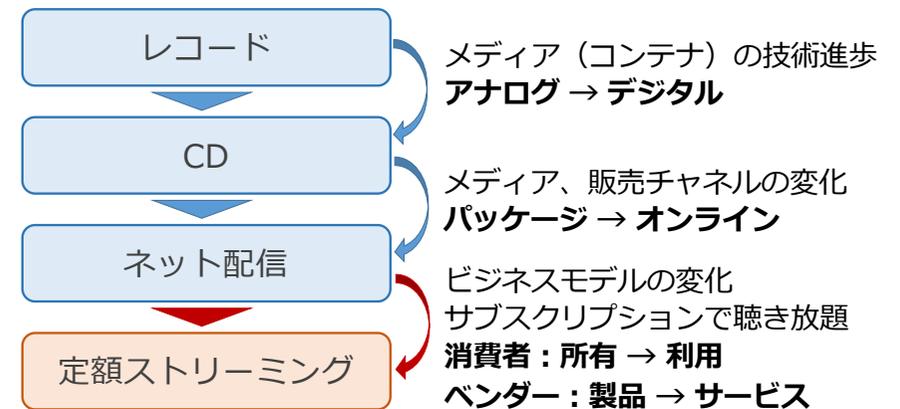
情報化/デジタル化	DX
情報化による効率改善 デジタル化による新製品	デジタルを前提とした 経営やビジネスの再構築
製品・サービス・プロセスの 情報化	組織、ビジネス、企業文化の 変革

# デジタル化とDX



出典 : D. Christopher Brooks and Mark McCormack "Defining Digital Transformation" , EDUCAUSE  
(<https://www.educause.edu/ecar/research-publications/driving-digital-transformation-in-higher-education/2020/defining-digital-transformation>)

# 事例：音楽ビジネス



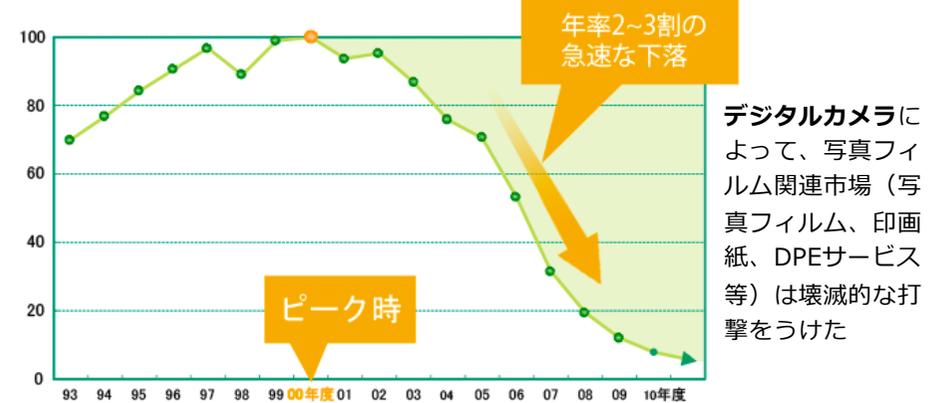
## デジタル・ディスラプション

デジタル技術の普及によってもたらされるイノベーション、既存の商品・サービス、ビジネス、産業が破壊される現象

- Uber** : 世界最大のタクシー会社は、車を1台も所有していない!
- Facebook** : 世界で最も人気のあるメディアは、自分でコンテンツを作っていない!
- Alibaba** : 世界で一番時価総額が大きい小売業は、在庫をいっさい持っていない!
- Airbnb** : 世界最大の宿泊サービス企業は不動産を保有していない!

(出典) Tom Goodwin "The Battle Is For The Customer Interface", 2015.3.3, TechCrunch 等を基に作成  
(<https://techcrunch.com/2015/03/03/in-the-age-of-disintermediation-the-battle-is-all-for-the-customer-interface/>)

## 事例：カラー写真フィルム市場の推移



出典：富士フィルムホールディングスの株主・投資家向けWebページ「富士フィルムの強み」  
(<https://ir.fujifilm.com/ja/investors/individual/strength.html>)

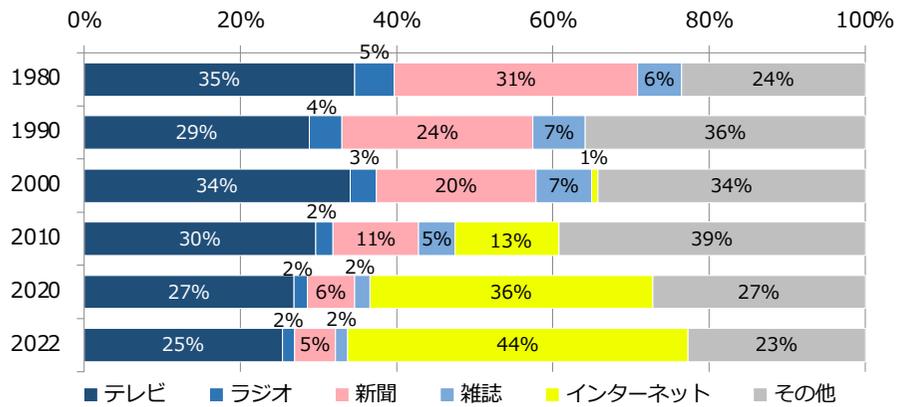
## デジタル・ディスラプションの構図 (1/2)

新技術／新ビジネスモデル	ディスラプター	標的となる産業
デジタルカメラ	ソニーなど	写真フィルム、DPE産業
カメラ付き携帯電話	Appleなど	デジタルカメラ
音楽のストリーミング	Apple Music、Spotifyなど	音楽のダウンロード販売、音楽CD、レコード店
動画のネット配信	Netflix、Hulu、YouTube	映画産業、TVドラマ業界、ビデオレンタル店
ネット書店	Amazon.comなど	書店
キュレーション・メディア	SmartNews、Gunosyなど	紙媒体の新聞・雑誌

## デジタル・ディスラプションの構図 (2/2)

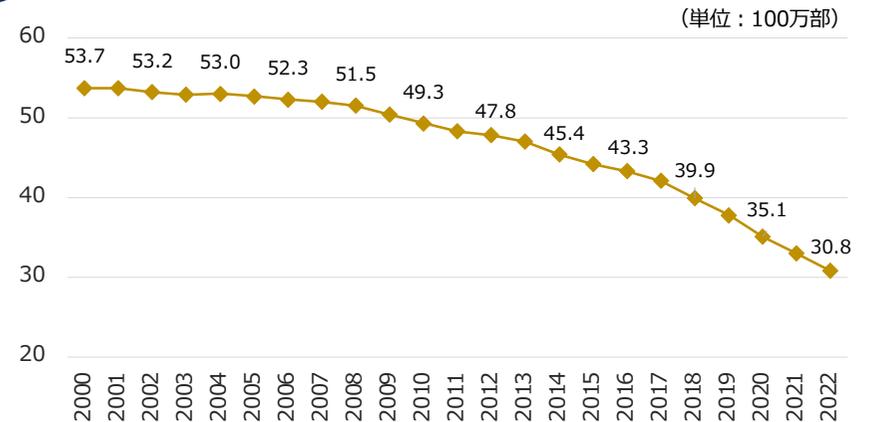
新技術／新ビジネスモデル	ディスラプター	標的となる産業
インターネット広告	Googleなど	紙媒体の新聞、TV
民泊仲介サイト	AirBNBなど	ホテルなど
ライドシェアサービス	Uber、Lyft、DiDi、Grabなど	タクシー、公共交通機関
Fintech系サービス	Lending Club、PayPal、PayPayなど	銀行などの金融機関
暗号資産（仮想通貨）	ビットコインなど	銀行、既存金融システム
自動運転＋シェアリング	?	自動車

# 日本の媒体別広告費の推移



出典：電通「広告景気年表」 [http://www.dentsu.co.jp/knowledge/ad\\_nenpyo.html](http://www.dentsu.co.jp/knowledge/ad_nenpyo.html)

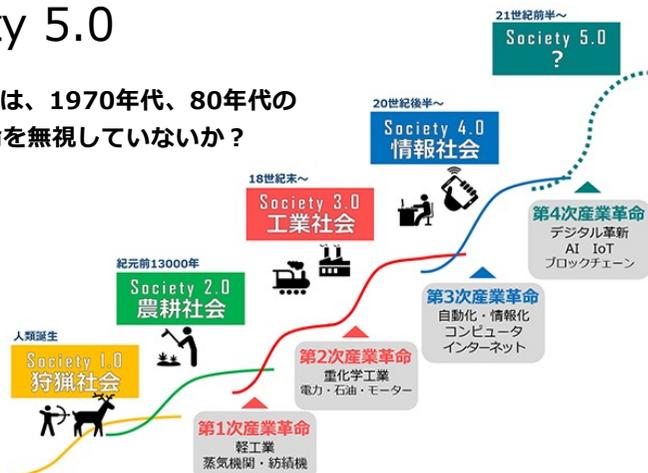
# 新聞の発行部数の推移



出典：日本新聞協会 (<https://www.pressnet.or.jp/data/finance/finance01.php>) から筆者作成

# Society 5.0

✓ Society 5.0は、1970年代、80年代の情報化社会論を無視していないか？



出典：経団連「Society 5.0 - ともに創造する未来 -」 (<https://www.keidanren.or.jp/policy/society5.0.html>)

# 増田米二

◆ 労働省出身の未来学者、情報社会論者のパイオニア

◆ "Father of the Information Society"

出典：[https://en.wikipedia.org/wiki/Yoneji\\_Masuda](https://en.wikipedia.org/wiki/Yoneji_Masuda)

- 『コンピュートピア』, 『情報社会入門』 (1968)
- 『情報化社会のゆくえ』 (1972)
- "The information society, as post-industrial society" (1980)
- 『原典 情報社会』 (1985) ⇨
- ダニエル・ベル"post-industrial society"は1962年、アルビン・トフラー『第3の波』(1980年)

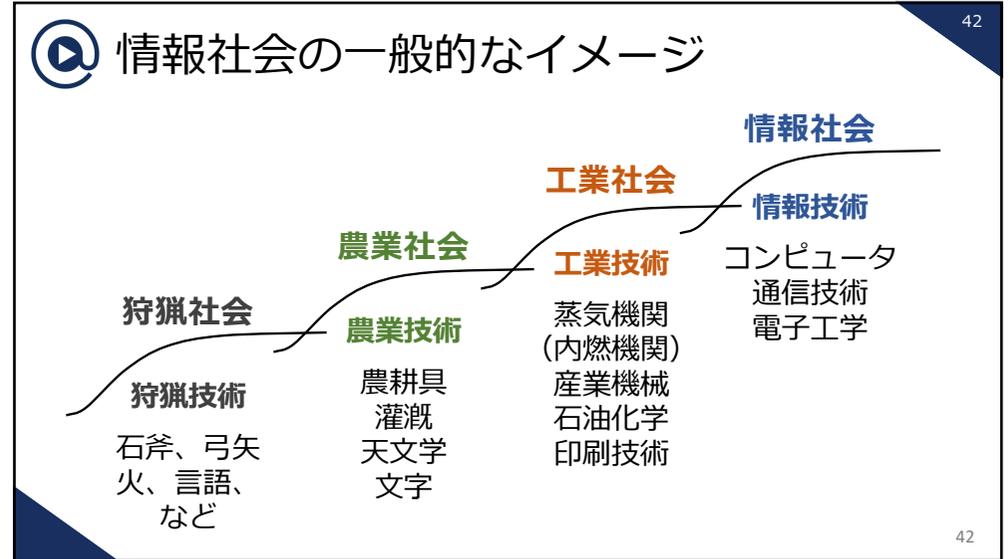


## 41 工業社会と情報化社会

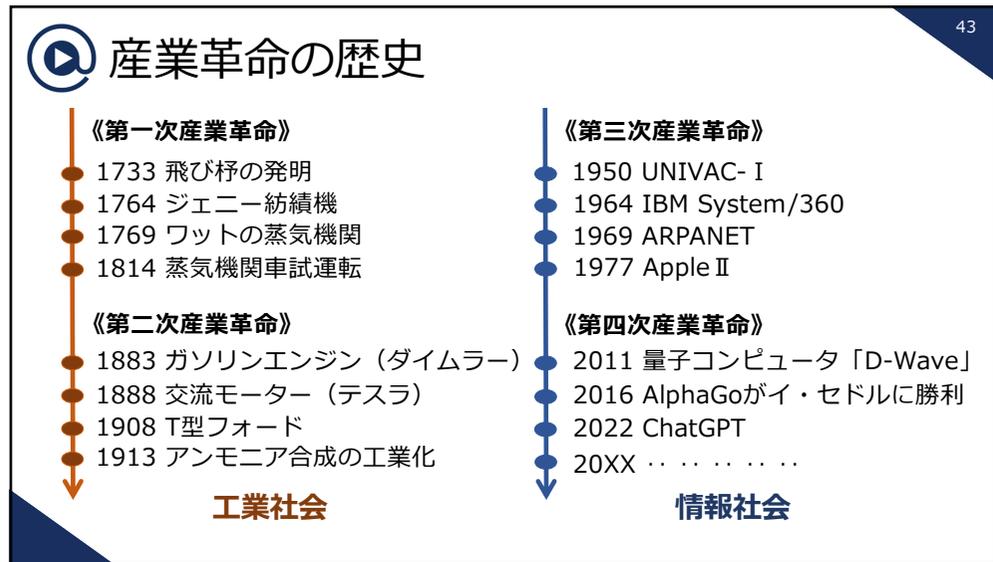
	工業社会	情報化社会
中核体	蒸気機関（動力） 産業・輸送機械、石油化学	コンピュータ （記憶・演算・制御）
基本的機能	<b>肉体的労働の代替と増幅</b>	<b>知的労働の代替と増幅</b>
生産力	物的生産力 一人あたり生産量の増加	情報生産力 最適行動選択能力の増大
生産機関	近代工場（機械・装置）	<b>情報ユーティリティ</b>

（出典）増田米二『原典 情報社会』TBSブリタニカ、1985.11を参考に作成

41



42



43

## 4. 知的労働の代替と増幅

44

# DX時代の自動化

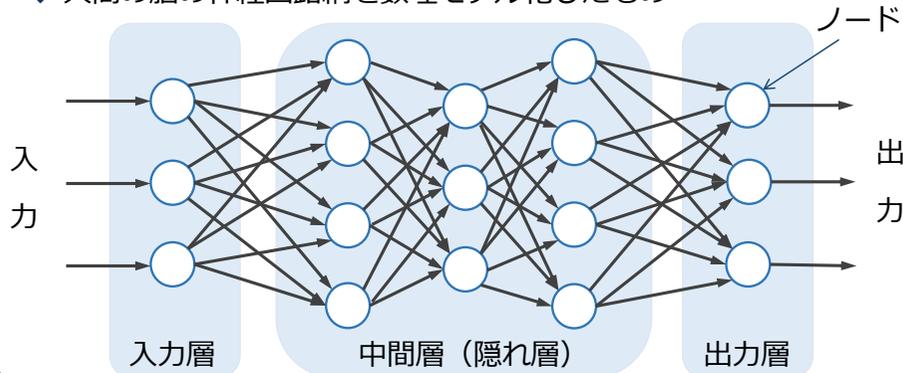
	Before DXの自動化	After DXの自動化
作業の種類	単純な繰返し作業	ルール化された繰返し作業 フィードバックのある繰返し作業
適用場所	工場が中心	あらゆる場所
労働の種類	肉体労働	<b>知的労働</b> <b>知的労働を伴う肉体労働</b>
対象者	ブルーカラー中心	ホワイトカラーに拡大
産業	主に製造業	金融、サービス、流通、小売、 製造、農業、不動産、政府

# ディープ・ラーニング

- ◆ 「人工知能研究における**50年来のブレークスルー**」 (松尾豊)  
(出典) 松尾豊『人工知能は人間を超えるか』KADOKAWA、2015年3月、p.147
- ◆ 多階層のニューラルネットワーク (一般的には4層以上)
- ◆ 音声認識、画像認識などに利用
  - 2012年、Googleが猫を認識できたと発表
  - 2016年、AlphaGoが「世界最強」の棋士イ・セドルに4勝1敗
- ◆ 「**大人が外国語を学ぶ方法**」 vs. 「**子供が言葉を覚える方法**」  
(エキスパート・システム) (ディープ・ラーニング)  
**ノイマン型コンピュータ** **非ノイマン型コンピュータ**

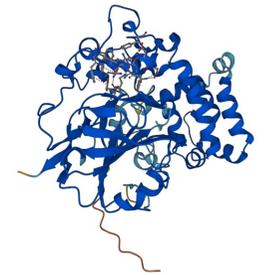
# ニューラル・ネットワーク

◆ 人間の脳の神経回路網を数理モデル化したもの



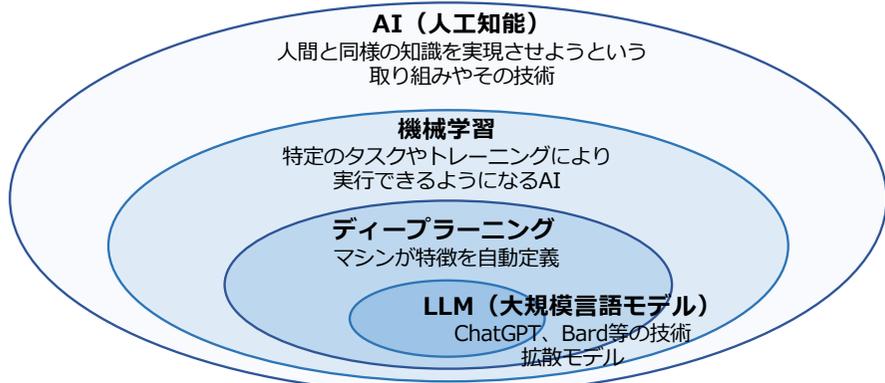
# タンパク質の折りたたみ問題

- ◆ 2020年11月にDeepMindが開発した**AlphaFold2**が、アミノ酸配列からその立体構造を高い精度で予測できることを証明
- ◆ タンパク質は、アミノ酸のシンプルな文字列として表現可能だが、実際には非常に複雑な立体構造をとる。(一つの立体構造を実験によって決定するコストは、平均10万ドル)
- ◆ 2022年7月**AlphaFold2**が、**ほぼすべてのタンパク質 (2億種類以上) の構造を予測した**と発表 (電子顕微鏡やNMR等を用いて過去60年に立体構造がわかった約17万種類の千倍以上)



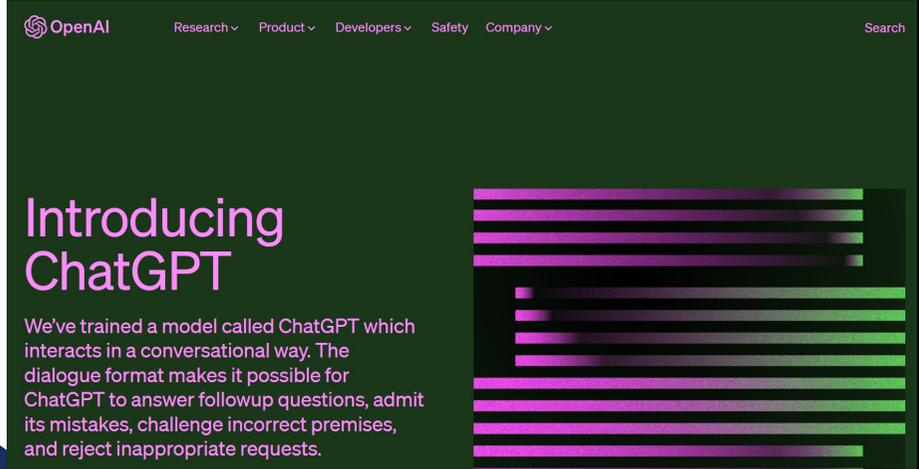
Predicted crystal structure of L-tryptophan Decarboxylase  
© AlphaFold Structure Prediction  
CC BY-SA 4.0

# AI、機械学習、DL、LLM

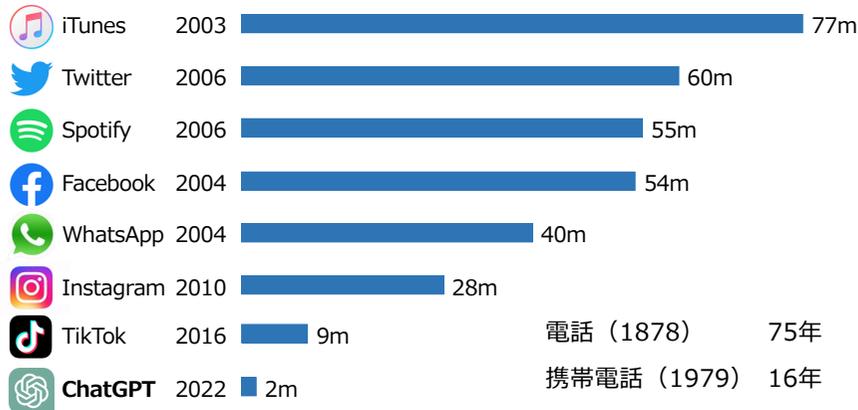


出典：松尾研究室「生成AI時代の人材育成」デジタル時代の人材政策に関する検討会（2023.6.13）資料を元に作成

# ChatGPT

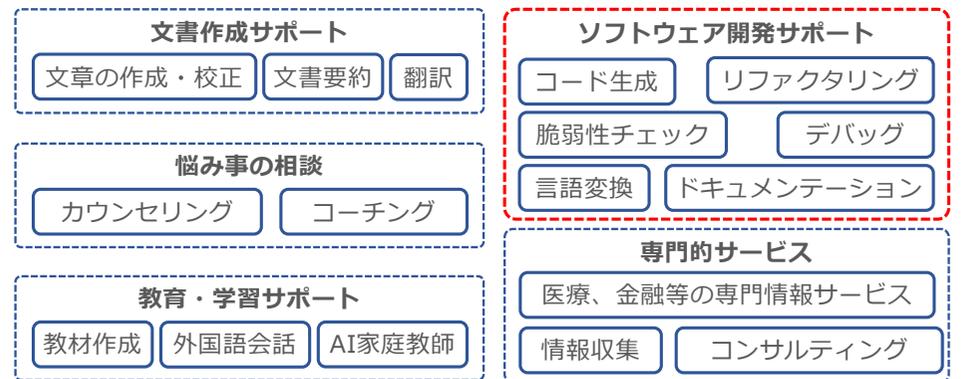


# ユーザ数が1億人に達するまでの時間



出典：インターネット上の各種資料から作成

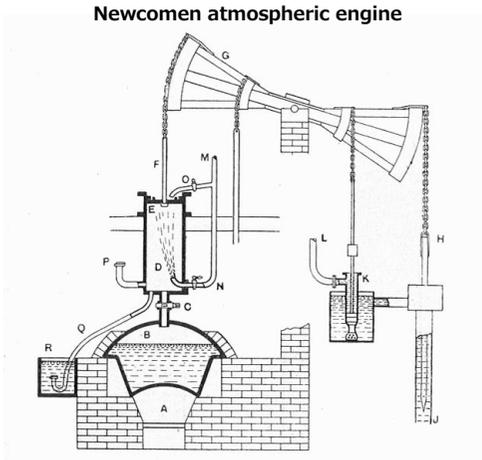
# 大規模言語モデル（LLM）の用途



出典：logmiTech (<https://logmi.jp/tech/articles/328983>)などを元に作成

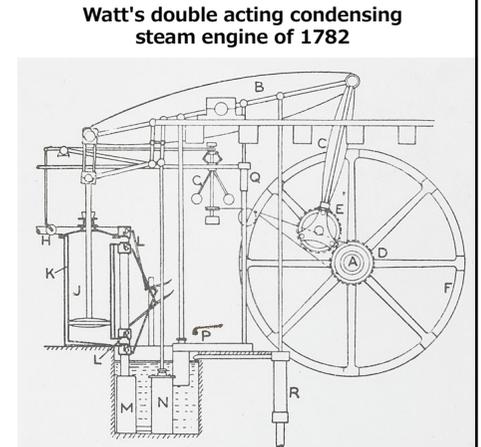
### 🎥 イノベーションに要する時間（蒸気機関）

- ◆ トーマス・ニューコメン (1664-1729) : イギリスの発明家、技術者
- ◆ ニューコメンは、**1710年頃**に初めて**実用的な蒸気機関**を発明
- ◆ ピストンとシリンダを用いた**最初の蒸気機関**
- ◆ 炭鉱・鉱山での揚水に活用



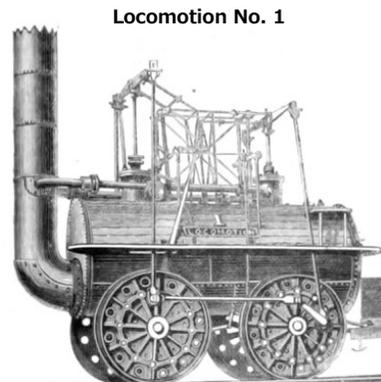
### 🎥 ジェームズ・ワットの蒸気機関

- ◆ ジェームズ・ワット (1736-1819) : 発明家
- ◆ **1769年にニューコメンの蒸気機関を改良**（ニューコメンは大気圧の凝縮により生じる負圧を利用していたが、ワットは蒸気による正圧も利用している）
- ◆ 1800年に特許が失効し、より効率の高い蒸気機関が開発

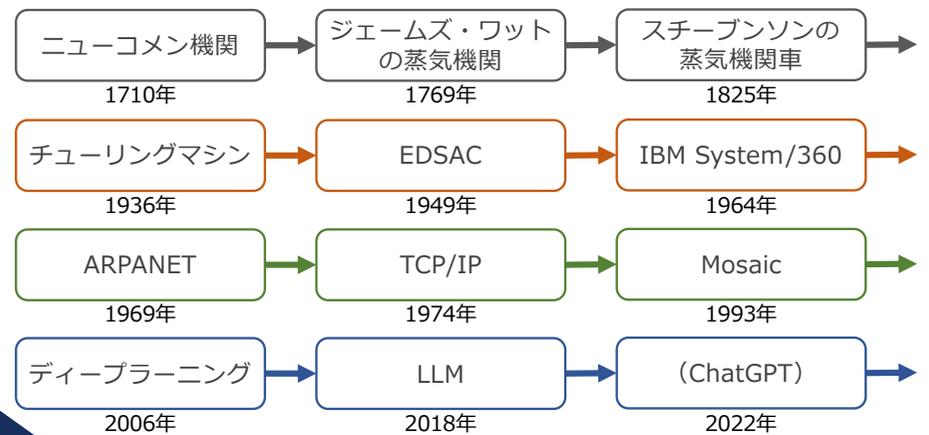


### 🎥 スチーブンスンの蒸気機関車

- ◆ ジョージ・スチーブンスン (1781-1848) 土木技術者、機械技術者
- ◆ 1802年、リチャード・トレビシックが世界初の実動する蒸気機関車を発明
- ◆ 1825年、スチーブンスンが**蒸気機関車による鉄道運行に成功**
- ◆ ニューコメン機関の**115年後**、ワットの蒸気機関の**56年後**



### 🎥 イノベーションに必要な時間



## 5. 次のパラダイムシフト

57

## 『アナロジア AIの次にくるもの』

58

- ◆ 原題は、“ANALOGIA The Emergence of Technology Beyond Programable Control”
- ◆ 次の革命は、プログラム可能なマシンを、**プログラム制御を超えたシステム**に融合させることだ
- ◆ **アルゴリズムの時代は終わったのだ**。未来は別の何か握っている
- ◆ **人工知能をプログラムして思い通りに動かすことができる**と信じることは、神と話することができる人がいるとか、ある人は生まれつきの奴隷だと信じるぐらい、**根拠のないものである**ことがはっきりするだろう（『アナロジア』第0章より）



58

## デジタルとアナログ

59

アナログ	デジタル
フィルムカメラ	デジタルカメラ
レコード	CD
$\aleph$ (アレフ)	$\aleph_0$ (アレフ・ヌル)
ニューラルネットワーク	チューリングマシン
脳	DNA (※)

※二重螺旋はアデニン (A)、チミン (T)、グアニン (G)、シトシン (C) の4種類の塩基からなる

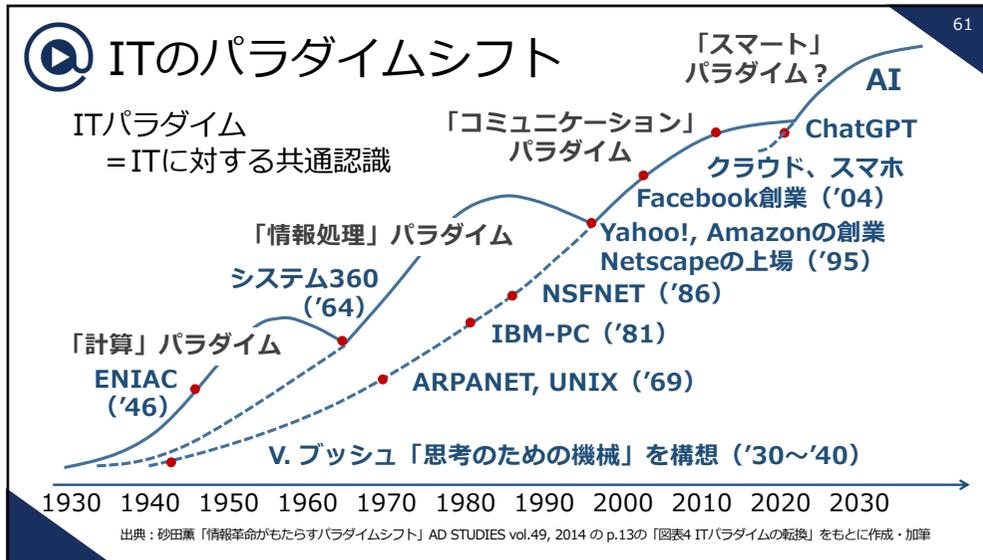
59

## Programable Control かどうか

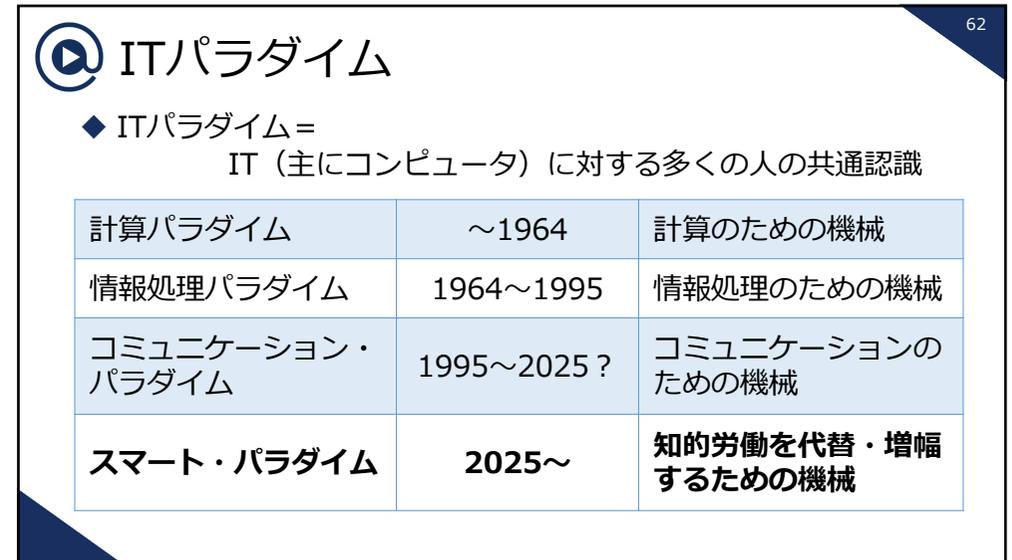
60

- ◆ チューリング・マシン、ノイマン型コンピュータ（過去のほとんどのコンピュータ）は、**デジタル**でかつ **Programable Control**
- ◆ 脳と神経系は、**アナログ**で、**Programable Control** ではない
- ◆ ニューラル・ネットワークは、脳の神経網を模した数理モデル
- ◆ ディープラーニング (DL) や大規模言語モデル (LLM) のAIは、**デジタルな素子を使ってアナログな情報処理**を実装しており、**Programable Control** ではない (LLMの知識保存の方法は、驚くほど脳と似ているらしい)
- ◆ **アナログな素子を使った** (あるいは、**アナログな情報処理を模倣した**) **Programable Control** ではないコンピュータの時代？

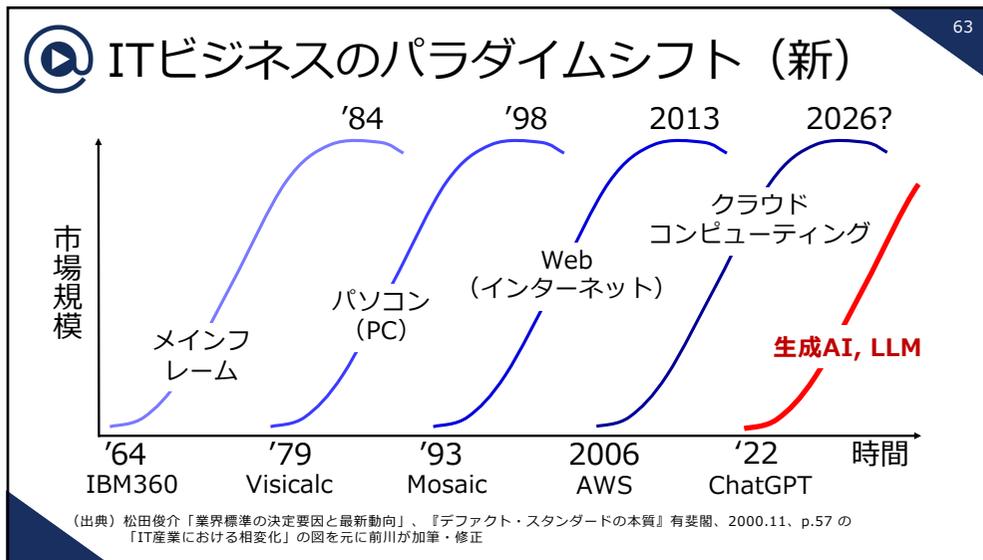
60



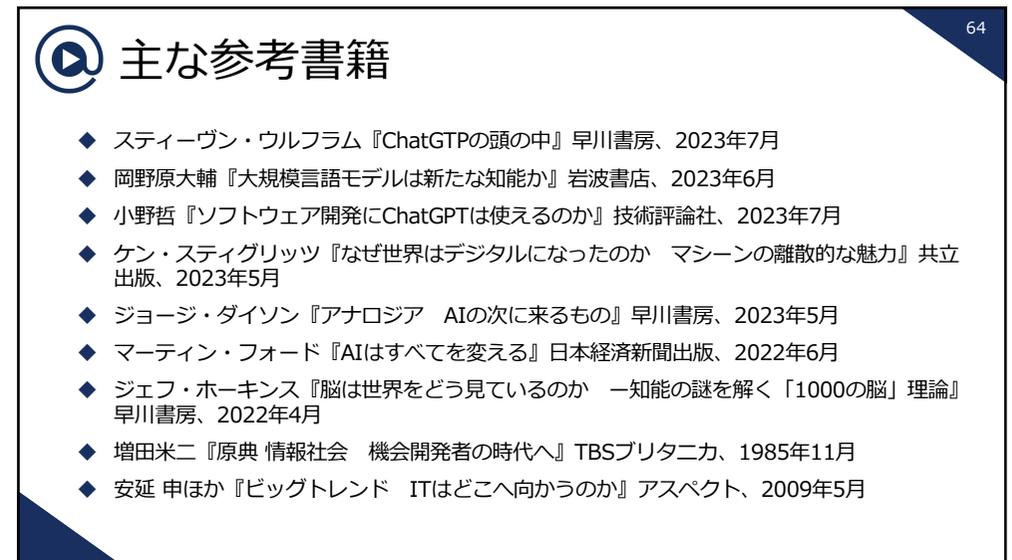
61



62



63



64