

第1回 組織のダイナミズム研究会

シンギュラリティに関する情報の提供

2018年4月7日

サステナブル・イノベーションズ株式会社
池邊純一

Agenda



1. 科学技術の未来とシンギュラリティ
2. カーツワイルのシンギュラリティ
3. シンギュラリティに関する議論
 - (1) ノーム・チョムスキーによる批判
 - (2) ミチオ・カクによる批判
4. シンギュラリティと社会の持続可能な発展

人工知能の未来 機械の進歩（１）

ロボットが人間より賢くなる運命の日をついに迎えたら、われわれがもはや地球上で最も高い知能を持つ存在ではなくなるだけでなく、**われわれの創造物が自分よりさらに賢いコンピュータを作り出す**可能性がある。

その自己複製するロボットの群れは、いくらでも未来の世代のロボットを作り、どれも前の世代より賢くなっている。理論上、ロボットは短期間でどんどん賢い次世代のロボットを作り出せるから、やがてこのプロセスは爆発的に進行し、ついにはロボットが、どこまでも高い知能を求めて、この星の資源をむさぼり尽くすようになる。（中略）

これが「特異点（シンギュラリティ）」だ。この言葉は元来、私の専門である相対論的物理学の世界のもので、この世界で特異点は、ブラックホールのようにいっさいのものが逃げ出せない、重力が無限大になる点を指す。光そのものが逃げ出せないため、そこから向こうを見通せない「地平線」と言える。

人工知能の未来 機械の進歩（２）

人工知能の特異点という考え方が最初に語られたのは、**1958年、スタニワフ・ウラム（水素爆弾の設計で大きな突破口を開いた人物）とジョン・フォン・ノイマンというふたりの数学者が交わした会話**においてだった。ウラムはこう書いている。

「ある会話で中心となった話題は、テクノロジーの進歩と人間の生活様式の変化が加速しつづけており、その結果、それを超えると従来の人間の営みが続けられなくなるような、何か本質的な特異点に近づいているかに見えることだった」。

この考えは、あれこれタイプの違いはあっても、数十年は放置された。ところその後。SF作家で数学者であるヴァーナー・ヴィンジが小説やエッセイで扱って、人口に膾炙（かいしゃ）していった。

それでもまだ、重大な問題が答えられずにいる。特異点にはいつ到達するのか？ われわれが生きているうちか？ あるいは来世紀？ それとも決して到達しないのか？ ここで、2009年のアシロマ会議に参加した科学者による答えに、**20年後から1000年後まで幅があった**ことが思い出される。

アシロマ会議 (Asilomar conference) は遺伝子組換えに関するガイドラインが議論された会議。1975年開催。アメリカ合衆国カリフォルニア州アシロマにおいて開催されたことからこう呼ばれる。28か国から140人ほどの専門家が参加した。科学者自らが研究の自由を束縛してまでも自らの社会責任を問うたことで科学史に残る。 Wikipedia 「アシロマ会議」で2018年4月2日に検索

人工知能の未来 機械の進歩（3）

特異点のいわばスポークスマンとなったひとりが、発明家にしてベストセラー作家であるレイ・カーツワイルだ。（中略）。カーツワイルはまず、コンピュータの革命に着手した。言語認識機能や光学式文字認識や電子式鍵盤楽器など、パターン認識にかかわる様々な分野で起業したのだ。1999年、彼はベストセラーとなった『スピリチュアル・マシン』を著し、その中でロボットの知能がいつ人間を超えるかを予言した。2005年には『ピスト・ヒューマン誕生』を著し、その予言をさらに詳しく説明した。コンピュータの知能が人間を超える日は、段階的にやってくるのである。

（中略）カーツワイルは私に、人生にひとつ転機があったと語った。それは、35歳で思いもよらず2型糖尿病と診断されたときに訪れたらしい。不意に、自分の予言が当たるかどうかわかるほど長生きできなくなるという、厳しい現実と直面したのである。カーツワイルの肉体は、長年不摂生を続けた結果、実年齢以上に年をとっていた。この診断に慌てた彼は。コンピュータの革命に注いだのと同じ熱意とエネルギーをもって、今度はみずからの健康の問題に取り組んだ（今日、カーツワイルは日に100以上の錠剤を飲み、寿命の革命にかんする本をいくつか著している。また、微小なロボットで革命が起きて、人体の掃除や修繕ができるようになり、人間が永遠の命を手にすることを期待している。われわれの寿命を無限に延ばせるような医療の大進歩を目の当たりにするほど、長生きしたいと考えているのだ。つまり彼は、永遠に生きられるときが来るほど長く生きたがっているのである。）

カーツワイル自身は、このように考えている。「知能を持つマシンが地平線の向こうからやってきて侵略するのではない。**われわれはこのテクノロジーと融合するのだ。・・・そうした知能をもつ装置を身体や脳のなかに入れ、自分たちを健康に長生きさせる**ようになる」

コンピュータの未来

現在開発されつつある技術の近未来（～2030年）、**世紀の半ば（～2070年）**、**遠い未来（～2100年）**
 多くの人達が人生をかけていく世代かによって確立されていく技術

コンピュータ
 ユビキタス・コンピューティング
 バーチャル・リアリティ（仮想現実）
 バーチャルリアリティゴーグル
 触覚テクノロジー
 トレッドミル
 ホログラム
 3D映像
 3Dホログラム
 ホログラムテレビ
 仮想網膜ディスプレイ
 インターネット眼鏡
 インターネットコンタクトレンズ
 壁面スクリーン
 テレビ会議
 テレプレゼンス
 拡張現実（AR）
 サイバー世界
 目の前にある何でもコンピュータの画面にする
 x線ビジョン
 有機発光ダイオード
 フレキシブル・スクリーン・テクノロジー
 スクラップ・コンピュータ
 クラウド・コンピューティング

話しかける医師
 小型MRI
 病気のサインとなるDNAの存在を検知するセンサー
 スマートピル

万能翻訳機

コンピュータを心でじかに制御する
 バイオフィードバック
 脳波計タイプの電極
 機能的磁気共鳴画像法（fMRI）
 心を読む
 夢を録画する
 脳をスキャンする
 小型MRI

シリコンの時代
 ポストシリコンの時代
 電気の時代
 磁気の時代
 超伝導体
 常温超伝導体
 思考によって物を動かす

人工知能の未来

現在開発されつつある技術の近未来（～2030年）、**世紀の半ば（～2070年）**、**遠い未来（～2100年）**
 多くの人達が人生をかけていく世代かによって確立されていく技術

ロボティクス
 遠隔操作
 自律型ロボット
 遠隔操作型ロボット
 産業用ロボット
 地上走行ロボット
 ヒューマノイドロボット
モジュール型ロボット
感情を持つロボット
昆虫型ロボット

パターン認識
常識的判断
 トップダウン型アプローチ
 チューリングマシン
 ボトムアップ型アプローチ

ロボット工学3原則
社会ロボット工学

人工知能
 AI

ニューラルネットワーク
 エキスパートシステム
 ヒューリスティックス
 エキスパートシステム
フレンドリーな人工知能

思考の百科事典
 即時認識
 心的地図
 画像記憶

医師ロボット
外科医ロボット
 看護師ロボット
 介護ロボット
料理人ロボット
楽器を奏でるロボット
救助ロボット
 ペットロボット

脳のリバースエンジニアリング
光遺伝学
脳のシミュレーション
脳の神経構造の地図

環境の感知と認識（意識）
 自己認識
未来のシミュレーション

肉体と機械の融合
 人工網膜
 ロボットハンド
 身体の強化
 身体の不具合を治す
 リモートセンシング
 遠隔操作
全人格のダウンロード

サロゲート（身代わり）
アバター（化身）

無人運転車両
 ロボットカー

医療の未来

現在開発されつつある技術の近未来（～2030年）、**世紀の半ば（～2070年）**、**遠い未来（～2100年）**
 多くの人達が人生をかけていく世代かによって確立されていく技術

バイオテクノロジー ヒト胚細胞	遺伝子 遺伝子シーケンシング 遺伝子配列 配列決定 DNA分子 パーソナルゲノム バイオインフォマティクス 生命情報科学	ベクター（運び屋） 良い遺伝子	生体時計を巻き戻す テロメア ヘイフリック限界 テロメラーゼ
細菌論 分子医療 分子遺伝学		癌遺伝子 抑制遺伝子 発癌ウィルス	バーチャルドクター
幹細胞 幹細胞テクノロジー 成体幹細胞 体性幹細胞 成体ニューロン 細胞外基質 胚性幹細胞	組織工学 ヒューマンボディショップ 人間具品産業 器官培養 人間具品産業 器官培養	遺伝子修復 遺伝子強化 遺伝子改良 マイティマウス遺伝子 ミオスタチン遺伝子 ステロイド デザイナー遺伝子	パーフェクトストーム スーパーライス
クローン クローン作製 核移植 試験管ベビー クローン羊ドリー	遺伝病 遺伝子治療 体細胞 生殖細胞 体細胞向け遺伝子治療 生殖細胞向け遺伝子治療 デザイナー細菌	老化 老年学 老化の統一理論 老化遺伝子 老化プロセスの逆転 遺伝子の老化修復 カロリー制限 サーチュイン レスベラトロール クロマチン構造	ミッシングリンク ルーシー ASPM遺伝子 ゲノム領域 HARI FOXP2遺伝子
ヒトゲノム ゲノム医療			キメラ HOX遺伝子 マスター遺伝子 ヒト成長ホルモン（HGH）

ナノテクノロジーの未来

現在開発されつつある技術の近未来（～2030年）、**世紀の半ば（～2070年）**、**遠い未来（～2100年）**
 多くの人達が人生をかけていく世代かによって確立されていく技術

走査型トンネル顕微鏡
 原子間力顕微鏡

マイクロコーティング
 微小電子機械システム（MEMS）
 MEMS加速度センサー

ナノ粒子
 自己組織化

分子ハンター
 スマートピル
 癌細胞を見つけ出す抗体
 癌細胞を破壊する
 金属のナノスフィア
 ナノカー
 ナノロッド
 分子マシン
 原資モーター
 細菌駆動チップ
 ナノロボット

ラボ・オン・チップ
 バイオマーカー
 DNAチップ
 上皮細胞接着分子（EpCAM）

カーボンナノチューブ

分子トランジスタ
 グラフェン
 量子コンピュータ
 キュービット
 光コンピュータ
 量子ドットコンピュータ
 DNAコンピュータ

変形テクノロジー
スマートな砂粒
カトム
プログラム可能な物質
モーフィング

分子アセンブラー
レプリケータ
ナノファビルケータ

三次元コピー
 三次元スキャナー
 3Dプリンター
 個々の分子や原子まで
 スキャンできるMRI

グレイ・グー
キラーロボット

エネルギーの未来

現在開発されつつある技術の近未来（～2030年）、**世紀の半ば（～2070年）**、**遠い未来（～2100年）**
 多くの人達が人生をかけていく世代かによって確立されていく技術

確定石油埋蔵量

再生可能エネルギー
 再生可能なテクノロジー
 風力発電

太陽電池
 太陽光発電

電気自動車
 ハイブリッドカー
 プラグインハイブリッドカー
 燃料電池自動車
 水素燃料
 無公害

原子力発電
 炉心溶融
 水素爆発

ガス拡散法
 超遠心分離法
 レーザー濃縮法

オリオン計画
 デザイナー爆弾

地球温暖化
 温室効果ガス
 二酸化炭素
 メタンガス
 水蒸気
 メタンハイドレート

気候に関する政府間パネル
 汚染物質（二酸化硫黄）
 藻類の繁殖
 炭素隔離
 ドロマイト
 大量の二酸化炭素を吸収する生物の創造（遺伝子工学）

核融合発電
 常温核融合
 高温核融合
 磁気瓶
 金属チェンバ
 ブレークイーブン

卓上核融合
 音ルミネセンス
 超音波核融合
 バブル核融合
 粒子加速器
 原子破壊器

磁気の時代
 超伝導体
 常温超伝導体
 マイスナー効果

リニアモーターカー
 磁気浮上式自動車

宇宙太陽光発電（SSP）
 スペースコレクター
 宇宙集光器

宇宙旅行の未来

現在開発されつつある技術の近未来（～2030年）、**世紀の半ば（～2070年）**、**遠い未来（～2100年）**
 多くの人達が人生をかけていく世代かによって確立されていく技術

宇宙科学

地球型惑星探査機

レーザー干渉型宇宙アンテナ

ウィルキンソン・マイクロ波背景

放射非等方性探査衛星

重力波

ビッグバンオブザーバ

ロボット宇宙探索

有人宇宙ミッション

ジェットパック

コンステレーション

火星ミッション

火星のテラフォーミング

宇宙観光

レーザー推進エンジン

ブースターロケット

マイクロ波ロケット

ガス砲

スリングアトロン

宇宙エレベータ

スターシップ

太陽帆（ソーラーセイル）

原子力ロケット

核癒合ラムジェット

反物質ロケット

ナノシップ

群ロボット

文明のランクづけ

物理学者は、文明を評価する際、消費するエネルギーを元にランクづけする。このランクづけは、1964年、宇宙の先進文明からのシグナルを夜空に探すことに関心を寄せていたソヴィエトの宇宙物理学者、**ニコライ・カルダシェフ**が初めて導入した。

カルダシェフは、「地球外文明」といった曖昧模糊とした分類では満足せず、天文学的な研究の手引きとなる定量的な尺度を導入したのである。彼は、地球外文明が、文化や社会や政治などの点では違っているとしても、どんな文明でも従わなければならないものがひとつあることに気づいた。それは物理法則だ。そして地球からの観測や計測によって、こうした文明をいくつかのカテゴリーに分けられる基準がひとつあった。エネルギー消費量である。そこで彼は、理論上の三つのタイプを提案した。

タイプⅠ 惑星規模の文明で、その惑星に降り注ぐ主星の光、およそ 10^{17} ワットを消費する

タイプⅡ 恒星規模の文明で、主星が放つ全エネルギー、およそ 10^{27} ワットを消費する

タイプⅢ 銀河規模の文明で、数十億個の恒星のエネルギー、およそ 10^{37} ワットを消費する

この分類によると、現在のわれわれの文明はタイプ0にあたる。死んだ植物、つまり石油や石炭からエネルギーを得ているため、この尺度では評価に値しないのである。

カール・セーガンはこの分類を一般化し、われわれがこの宇宙尺度のどこに位置づけられるのかを、もっと正確に見積ろうとした。そして、計算の結果、**実際にはタイプ0.7H文明である**ことがわかった。

カール・セーガンは、情報処理に基づく別の尺度を導入した。Aからまでのアルファベットの文字が情報量に対応するような体系を考案したのだ。タイプA文明は、100万ビットの情報しか処理できない文明で文字はないが話し言葉だけあるような文明に相当する。文字と文学が開花した古代ギリシアの遺産として残っているすべての情報をまとめると、情報量はおおよそ10億ビットとなり、タイプC文明に相当する。そこからランクを上げていけば、現代文明が処理している情報量を見積ることができる。経験的に推測すれば、われわれの文明はタイプHに分類される。すると、処理するエネルギーと情報の量も加味して、現代文明はタイプ0.7H文明だと言える。

Agenda

1. 科学技術の未来とシンギュラリティ



2. カーツワイルのシンギュラリティ

3. シンギュラリティに関する議論

(1) ノーム・チョムスキーによる批判

(2) ミチオ・カクによる批判

4. シンギュラリティと社会の持続可能な発展

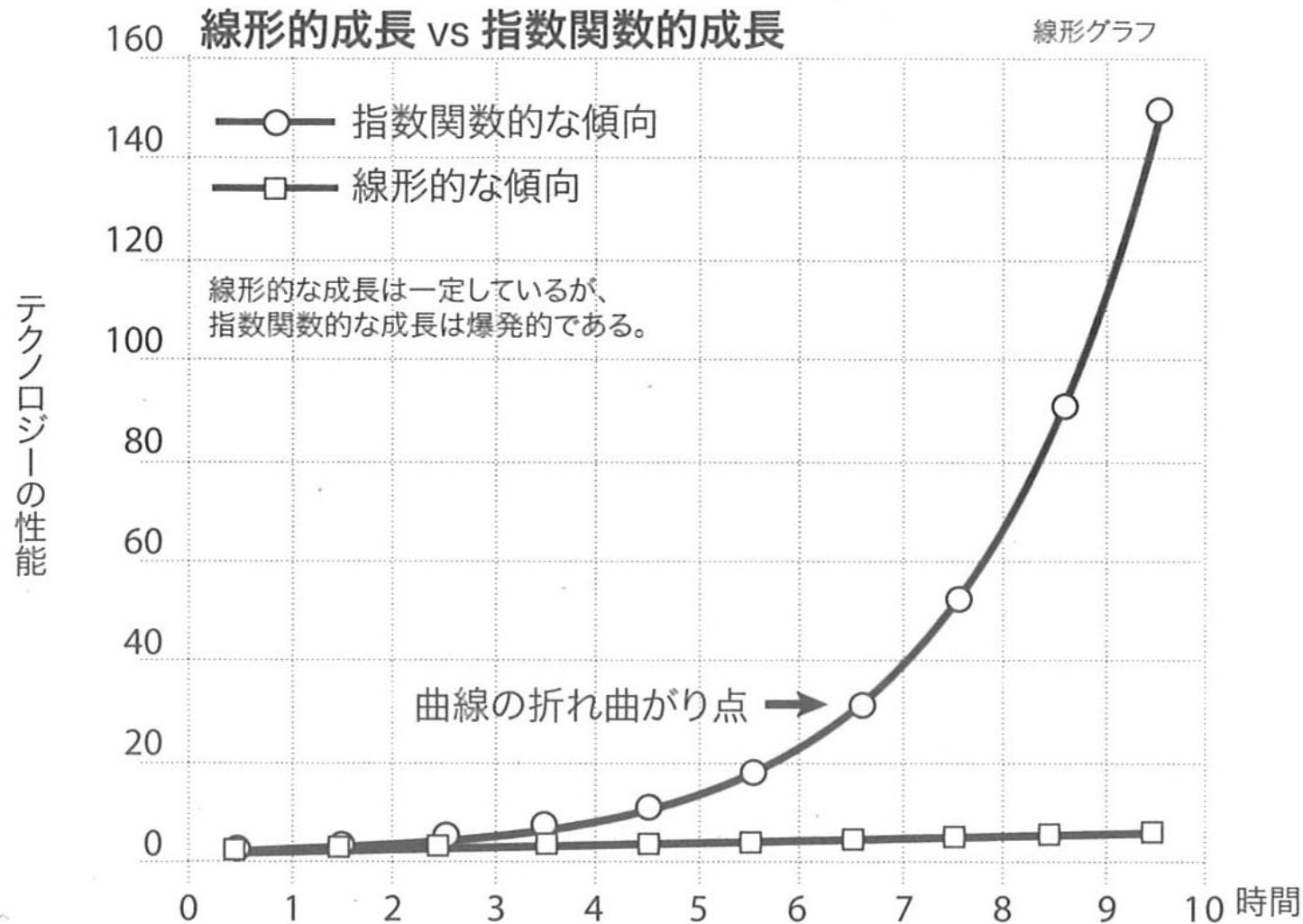
レイ・カーツワイル Ray Kurzweil



シンギュラリティとは
われわれの生物としての思考と存在が、自らの
作り出したテクノロジーと融合する臨界点であ
り、その世界は、依然として人間的であっても
生物としての基盤を超越している。

1949年ニューヨーク生まれ。発明家、思想家、フューチャリスト。人工知能の世界的権威であり、現在はGoogle社で機械学習と自然言語処理の技術責任者を務める。これまでにオムニ・フォント式OCRソフト、フラットベッド・スキャナー、シンセサイザー「Kurzweil250」、文章読み上げマシンなどを発明し、その功績からMITレメルソン賞やアメリカ国家技術賞などを受賞、2002年には「発明家の殿堂」に名を連ね、PBSは彼を「過去2世紀においてアメリカに革命を起こした16人の発明家」の1人に挙げている。2008年にはシリコンバレーにシンギュラリティ・ユニバーシティを共同で創設、人類の最も困難な課題に取り組むべく加速進化する革新的技術の開発を目指している。

レイ・カーツワイル Ray Kurzweil

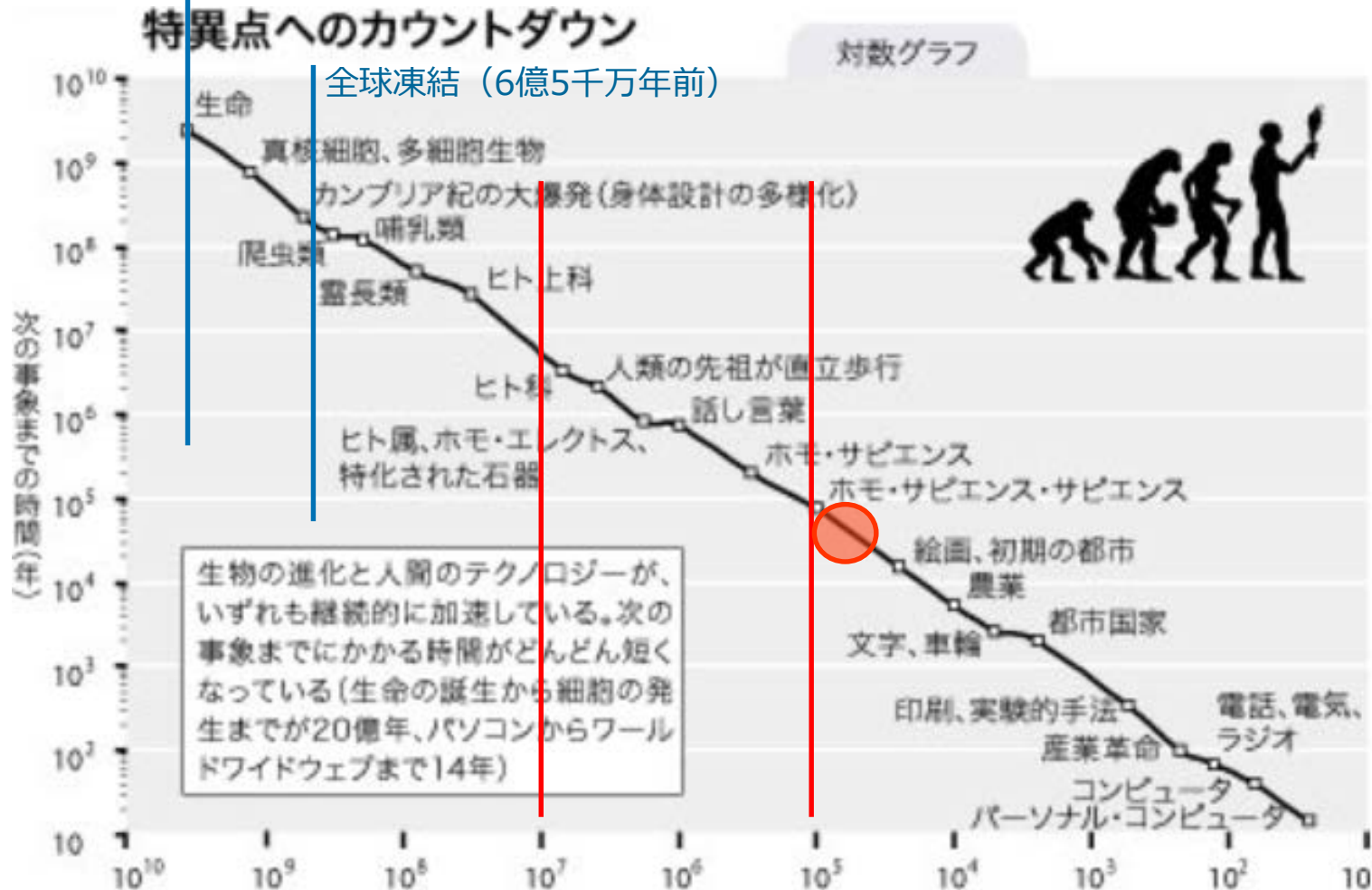


<https://www.bing.com/images/search?view=detailV2&ccid=iQQoWgpb&id=B8F147B7ECC6FA7E78F6C95DE66AC654359D4F0F&thid=OIP.iQQoWgp b6KosUMy9a75kQAEsDX&q=%e3%83%ac%e3%82%a4%e3%83%bb%e3%82%ab%e3%83%bc%e3%83%84%e3%83%af%e3%82%a4%e3%83%ab&simid=608005334712452899&selectedIndex=21&mode=overlay&first=1>

レイ・カーツワイル Ray Kurzweil

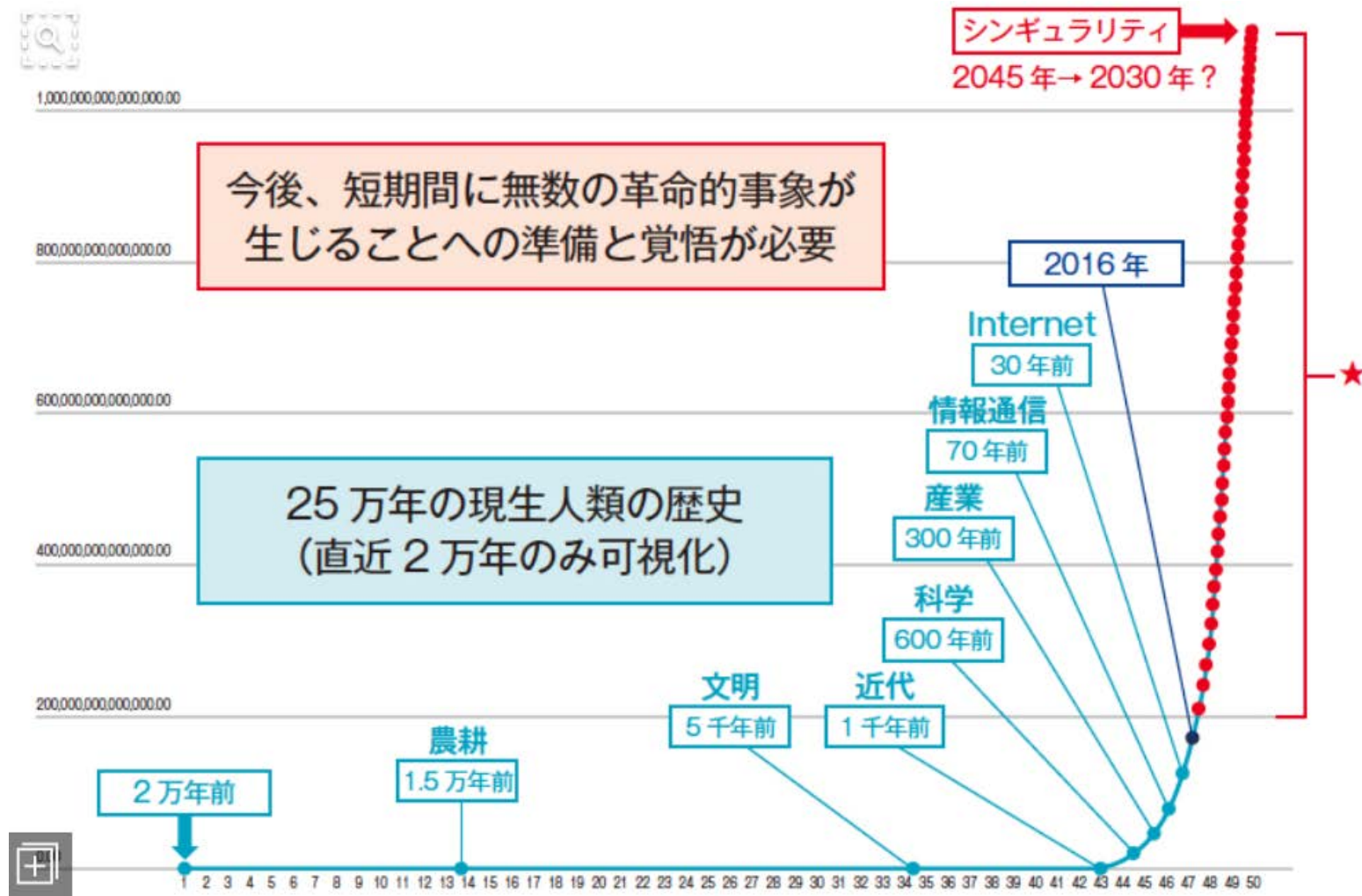
生命誕生 (40億年前)

人類歴史年表 <http://www.eonet.ne.jp/~libell/jinrui.html>



<https://www.bing.com/images/search?view=detailV2&ccid=zqM3Nk2Y&id=6243AB4895504B42CEB862954E9E24A73E146E18&thid=OIP.zqM3Nk2YDLj6gp0WIPsbJgEsDO&q=%e3%83%ac%e3%82%a4%e3%83%bb%e3%82%ab%e3%83%bc%e3%83%84%e3%83%af%e3%82%a4%e3%83%ab&simid=608028149569750888&selectedIndex=23&mode=overlay&first=1>

レイ・カーツワイル Ray Kurzweil



<https://www.bing.com/images/search?view=detailV2&ccid=d2FS5Gvq&id=6C5BD944DFE83693716A6E2E1F4B3F4BA1380CF8&thid=OIP.d2FS5GvqPhcCa-NgVfi9rgEsDA&q=%e3%83%ac%e3%82%a4%e3%83%bb%e3%82%ab%e3%83%bc%e3%83%84%e3%83%af%e3%82%a4%e3%83%ab&simid=608022712147382154&selectedindex=20&mode=overlay&first=1>

収穫加速の法則の原則 (1)

レイ・カーツワイル著『シンギュラリティは近い 人類が生命を超越するとき』
NHK出版、2016年

- **進化は正のフィードバックを働かせる。進化のある段階で得られたより強力な手法が、次の段階を生み出すために利用される。**進化のそれぞれのエポックは、その前の段階の産物のうえに成果を積み重ねることで、いっそう急速に進化してきた。進化は間接的に作用する。進化によって人間が生まれ、人間がテクノロジーを作り、今では、人間は、さらに前進したテクノロジーを用いて、テクノロジーの新世代を生み出そうとしている。
- シンギュラリティが到来するころには、**人間とテクノロジーとの区別がなくなっている。**人間が、今日機械と見なされているようなものになるからではなく、むしろ、機械の方が、人間のようになり、さらには人間を超えて進化するからだ。テクノロジーとは、たとえるならば、私たちがさらなる進化へと導いた親指だろう。そこでは**進歩（秩序がさらに深まること）は、非常に遅い電気化学反応ではなく光の速さで作用する思考プロセスに基づく。**
- 進化のそれぞれの段階は、その前の段階の成果に基づくために、**進化のプロセスが進む率は、時間とともに少なくとも指数関数的に増加する。**時が経つにつれ、進化のプロセスに埋め込まれた情報の「秩序」（情報がいかに適切に目的にかなっているかを測る基準であり、進化においては生き延びること）は増す。
- 進化のプロセスは閉鎖的ではない。**進化は、より広い系にあるカオスを必要とし、その中において進化が起こり、多様な選択肢の中から進むべき方向が定まる。**
- 進化はまた、その秩序を増大させるため、進化のプロセスにおいては、**秩序が指数関数的に増大していく。**

収穫加速の法則の原則 (2)

レイ・カーツワイル著『シンギュラリティは近い 人類が生命を超越するとき』
NHK出版、2016年

- 先の見解と関連して、**進化のプロセスで得られる「収穫物」**（速度、効率、コストパフォーマンス、または、プロセスの相対的な「パワー」など）もまた、**時とともに少なくとも指数関数的に増大**する。このことは、ムーアの法則に見ることができる。コンピュータのチップは、時代が新しくなるごとに（今ではおよそ2年ごと）、単位原価当たり2倍のトランジスタを搭載し、大幅に速く作動するようになるという法則のことだ（電子がチップ内やチップ間を移動する距離が小さくなることや、他の要因から）。
- こうした**情報ベースのテクノロジーの威力やコストパフォーマンスが指数関数的に成長**するということは、コンピュータに限ったものでなく、基本的にはすべてのITにも当てはまり、さまざまな尺度で測られた人間の知識についても言えることである。もうひとつ重要な点に注意したい。**「情報テクノロジー（IT）」という用語が対象とする現象は、ますます幅が広くなり、最終的には、経済活動と文化活動の全般を含む**ようになるだろう。
- 正のフィードバックはもうひとつある。ある特定の進化のプロセスの効率がよりよくなるとーたとえば、コンピューティングの性能とコストパフォーマンスがさらに高くなるとーより多くの資源が、そのプロセスのさらなる進歩のために供給される。その結果、**指数関数的成長が第2のレベル**に到達する。すなわち、**指数関数的成長の率、つまりは指数自体が、指数関数的に成長**する。
- 例をひとつあげてみよう。20世紀初頭ではコンピューティングのコストパフォーマンスが2倍になるには3年を要したが、20世紀の半ばにはそれが2年になり、今や1年になっている。チップの単位原価あたりの性能が毎年2倍になっているだけでなく、チップの製造数も指数関数的に多くなっている。それに伴い、コンピュータの研究予算も、この数十年の間に劇的に伸びている。

収穫加速の法則の原則 (3)

レイ・カーツワイル著『シンギュラリティは近い 人類が生命を超越するとき』
NHK出版、2016年

- **生物の進化も、同様の進化のプロセスをたどる。**まさに、これこそが進化のプロセスの真髓なのだ。生物の進化は、完全に開かれた系で起こるために、系の中のさまざまなレベルが同時に進化する。**種の遺伝子が持つ情報がさらに大きな秩序に向かって進歩**するだけでなく、進化のプロセスを推進している**総体的なシステムそのものも、同じように進化**する。
- たとえば、染色体の数や、染色体の中にある遺伝子の配列はいずれも、時とともに進化してきた。さらに、進化によって、遺伝子の情報を過度の欠損から守るための手段も開発されてきた（突然変異は、進化による改良を進めるのに有益な仕組みであるために、わずかには許されている）。
- これを実現する主な方法に、対になった染色体（相同染色体）に遺伝情報を繰り返し記す、というものがある。こうすることで、一方の染色体上のある遺伝子が損傷を受けても、対応する遺伝子は正常で有効に働く可能性が高くなることが保証されるのだ。男性のY染色体には対となる染色体がないが、それでも、情報をY染色体自身の上に繰り返すというバックアップ手段を編み出している。
- ゲノムの中でタンパク質のコード（暗号）を指定しているのは、約2%に過ぎない。その他の遺伝情報は、タンパク質をコードする遺伝子が、いつどのように発現する（タンパク質を生産する）かを制御する、精巧な仕組みを進化させてきた。そのプロセスは、まだわずかししか解明されていない。このように、進化のプロセスそのものも、突然変異が起こる率も含めて、時をかけて進化してきた。

収穫加速の法則の原則 (4)

レイ・カーツワイル著『シンギュラリティは近い 人類が生命を超越するとき』
NHK出版、2016年

- **テクノロジーの進化も、同様のプロセスをたどる。**テクノロジーを生み出す種が初めて出現したことにより、テクノロジーの新たな進化のプロセスが誕生した。**テクノロジーの進化は、生物の進化によってもたらされ、それを引き継ぐものだ。ホモ・サピエンスは数十万年をかけて進化した。**
- 人間が生み出したテクノロジーの初期の段階（車輪や火や石器など）もさほど進歩は速くなく、進化して広く用いられるまでには数万年かかった。500年前になると、印刷機械などの、パラダイムシフトを起こした製品がおよそ1世紀かかって広く使われるようになった（文字を読み書きする能力の普及を進め、印刷機械の進歩を速めた）。
- 現在では、携帯電話やワールドワイドウェブなど、重要なパラダイムシフトを起こした技術が広まるまでには、ほんの数年しかかかっていない。
- ある特定のパラダイム（問題解決の手法。より強力なコンピュータを作るために、集積回路上のトランジスタを小型化することなど）では、指数関数的成長が起こり、やがては潜在力が消費され尽くす。ここまできると、パラダイムシフトが起こり、さらに指数関数的成長が続く。

シンギュラリティの原則（１）

レイ・カーツワイル著『シンギュラリティは近い 人類が生命を超越するとき』
NHK出版、2016年

- パラダイムシフト（技術革新）の起こる率は加速している。
- 今の時点では、**10年ごとに2倍。ITの能力（コストパフォーマンス、速度、容量、帯域幅）はさらに速いペースで指数関数的に成長している。今の時点で毎年およそ2倍。**この原則は、さまざまな計測単位にも当てはまる。人間の知識量もそのひとつ。
- ITにおいては、指数関数的成長にはさらに上の段階がある。指数関数手的な成長率（指数）が、指数関数的に成長する、というものだ。理由は以下の通り。テクノロジーのコストパフォーマンスがさらに高くなり、**技術の進歩に向けてより大きな資源が投入される**。そのため、指数関数的な成長率は、時間の経過とともに大きくなる。
- たとえば、1940年代にコンピュータ産業において実施された事業の中で、歴史的に重要だと今なお見なされているものはわずかしかない。それに対し今日、この業界での総収益は1兆ドルを超える。よって、その分だけ、研究開発にかかる予算も高くなっている。
- 人間の脳のスキャンも、指数関数的に向上しているテクノロジーのひとつ。**脳スキャンの時間的解像度、空間的解像度、帯域幅は、毎年2倍**になっている。今や、人間の脳が働く原理の本格的なリバーズエンジニアリング（解読し、それをAIなどのテクノロジーに応用すること）に十分なツールを手に入れている。
- すでに、脳の数百の領域のうち数十は、かなり高度にモデル化されシミュレーションされている。**20年以内には、人間の脳の全ての領域の働きについて、詳細に理解できる**ようになる。

シンギュラリティの原則（2）

レイ・カーツワイル著『シンギュラリティは近い 人類が生命を超越するとき』
NHK出版、2016年

- 人間の知能を模倣するために必要なハードウェアが、スーパーコンピュータでは10年以内に、パーソナルコンピュータ程度のサイズの装置ではその次の10年以内に得られる。**2020年代半ばまでに、人間の知能をモデル化した有効なソフトウェアが開発される。**
- ハードとソフトの両方が人間の知能を完全に模倣できるようになれば、**2020年代の終わりまでには、コンピュータがチューリングテストに合格できるようになり、コンピュータの知能が生物としての人間の知能と区別がつかなくなる**までになる。
- コンピュータがここまで発達すれば、**人間の知能に従来からある長所と、機械の知能にある長所を合体する**ことができる。
 1. 人間の知能に従来からある長所のひとつに、パターン認識なる恐るべき能力がある。超並列処理、自己組織化機能を備えた人間の脳は、捉えがたいが一定した特性を持つパターンを認識するには理想的な構造物だ。
 2. 人間はさらに、経験をもとに洞察を働かせ、原理を推測することで、新しい知識を学習する能力をもっている。これらには、言語を用い情報を収集することも含まれる。
 3. 人間の知能の中で最も重要なものに、頭の中で現実をモデル化し、そのモデルのさまざまな側面を変化させることで「こうなったらどうなるだろう」という実験を頭の中で行うことができる。

シンギュラリティの原則（3）

レイ・カーツワイル著『シンギュラリティは近い 人類が生命を超越するとき』
NHK出版、2016年

4. 機械の知能に從來からある長所には、何十億もの事実を正確に記憶し、即座に想起するという能力がある。
5. 非生物的な知能には、また別の利点がある。いったん技能を獲得すれば、それを高速かつ最適な正確さで、疲れることなく何度も繰り返し実行することができる。
6. たぶんこれがもっとも重要な点だが、機械は、知識を極端に早く共有することができる。これに比べて、人間が言語を通じて知識を共有するスピードは、とても遅い。
7. 非生物的な知能は、技能や知識を、他の機械からダウンロードするようになるだろう。そのうち、人間からもダウンロードするようになる。
8. 機械は、光速（毎秒およそ30万キロメートル）に近い速さで、信号を処理し切り換えることができるようになる。これに対して、哺乳類の脳で使われている電気化学信号の処理速度は、およそ毎秒100メートル、速度は、300万倍以上も違う。
9. 機械は、インターネットを通じて、人間と機械が合体した文明にあるすべての知識にアクセスし、そのすべてを習得することができる。
10. 機械は、それぞれがもつ資源と知能と記憶を共有することができる。2台の機械－または100万台でも－が集まってひとつになったり、別々のものに戻ったりすることができる。多数の機械が、この2つを同時にする。つまり、同時にひとつにも別々にもなることができる。人間はこれを恋愛と呼ぶが、生物がもつ恋愛の能力は、はかなくて信用できない。

シンギュラリティの原則（４）

レイ・カーツワイル著『シンギュラリティは近い 人類が生命を超越するとき』
NHK出版、2016年

●こうした**従来の長所（生物的な人間の知能がもつパターン認識能力と、非生物的な知能のもつスピードと記憶容量と正確さ、知識と技能を共有する力）を合体**させると、恐るべきことになる。

- a. 機械の知能は、設計とアーキテクチャが完全に自由だ（つまり、ニューロン間結合の切り換え速度が遅いとか、頭蓋骨の大きさといった、生物としての限界という制約を受けない）。それゆえ、つねにパフォーマンスが一定している。
- b. 非生物的な知能が、人間と機械の従来からの長所を併せもてば、文明の知能の中の非生物的部分は、機械のコストパフォーマンス、速度、容量が二重の指数関数的成長をとげることにより、継続的に利益を得ることになる。
- c. 機械が、人間のもつ設計技術能力を獲得すれば、速度や容量は人間のそれをはるかに超え、機械自身の設計（ソースコード）にアクセスし、自身を操作する能力をもつことになる。人間も、これとよく似たことをバイオテクノロジーを使ってなしつつあるが（人体の遺伝情報プロセスなどを変化させる）、機械が自身のプログラムを修正することでできることと比べると、速度はかなり遅く、用途は非常に限られている。

シンギュラリティの原則（5）

レイ・カーツワイル著『シンギュラリティは近い 人類が生命を超越するとき』
NHK出版、2016年

- **生物には本質的な限界**がある。たとえば、すべての生命体は、例外なく、アミノ酸の一次元的な配列が三次元的に折りたたまれてできたタンパク質で構成される。タンパク質をベースとしたメカニズムには、強さと速さが不足している。人間は、身体と脳にある生物としてのあらゆる器官や組織を再設計することで、性能をいっそう高めることができる。
 - ① 人間の知能には、かなりの可塑性（それ自身の構造を変化させる力）が、これまで考えられていたよりもある。それでも、**人間の脳の設計には、どうしてもない限界**がある。たとえば、頭蓋骨には、100兆ニューロン間結合しか収まる余地がない。人間が、先祖の霊長類よりも大きな認知能力を授かることになった重要な遺伝的変化は、大脳皮質が大きくなり、脳の中の特定の領域で灰白質の容量が増えたことだった。
 - ② しかしこの変化は、生物進化というとてもゆっくりした時間の尺度で起き、**脳の能力には本質的な限界**がある。
- **機械は、それ自身の設計を組み替えて、性能を際限なく増加させることができる。**
 - ① ナノテクノロジーを用いた設計をすれば、サイズを大きくすることもエネルギー消費が増大することなく、生物の脳よりも能力をはるかに高められる。
 - ② 機械は、ひじょうに速度の速い三次元分子回路を用いることで、さらに発達する。今日使われている電子回路は、哺乳類の脳で使われている電気化学スイッチの100万倍以上も速い。将来の分子回路は、ナノチューブのような装置を用いるものになる。
 - ③ ナノチューブとは、炭素原子でできた微小な管状の分子で、幅は原子10個しかなく、今日のシリコンベースのトランジスタの500分の1の大きさしかない。信号が伝わる距離が短いので、数テラヘルツ（毎秒数兆回の動作）の速さで作動することができる。これに比べて、今の集積回路の速さは、数ギガヘルツ（毎秒数十億回の動作）でしかない。

シンギュラリティの原則（6）

レイ・カーツワイル著『シンギュラリティは近い 人類が生命を超越するとき』
NHK出版、2016年

- **テクノロジーの変化率は、人間の頭脳の数だけ影響を受けるのではない。機械の知能も、フィードバックのサイクルによって自身の能力を高めるため、機械の支配を受けない人間の知能では追いつけなくなる。**
- 機械の知能が自身の設計を繰り返し改善するサイクルは、どんどん速くなる。このことは、まさに、パラダイムシフトの起こる率が加速し続けるという公式で予測されていた。パラダイムシフト率が加速し続けるという理論に対しては、人間に追いつけないほど速くなり過ぎるので、そんなことはありえない、という反論も唱えられている。しかし、生物的な知能から非生物的な知能に移行すれば、加速し続けることは可能になる。
- 非生物的な知能が加速度的なサイクルで向上するのに加え、ナノテクノロジーを用いれば、物理的な事象を分子レベルで操作することができる。

シンギュラリティの原則（7）

レイ・カーツワイル著『シンギュラリティは近い 人類が生命を超越するとき』
NHK出版、2016年

- **ナノテクノロジーを用いてナノボットを設計することができる。**ナノボットとは、分子レベルで設計された、大きさがミクロン単位のロボットで、「呼吸細胞（レスピロサイト）」（人工知能の赤血球）などがある。ナノボットは、人体の中で無数の役割を果たすことになる。たとえば、加齢を逆行させるなど（遺伝子工学などのバイオテクノロジーで達成できるレベルを超えて）。
- ① ナノボットは、生体のニューロンと相互作用して、神経系の内部からヴァーチャルリアリティ（VR）を作り出し、人間の体験を大幅に広げる。
- ② 脳の毛細血管に数十億個のナノボットを送り込み、人間の知能を大幅に高める。
- ③ ナノボットは、過去の工業社会が引き起こした汚染を逆転させ、環境を改善する。
- **非生物的な知能が人間の脳にひとたび足場を築けば（すでにコンピュータチップの動物神経組織への移植実験によってその萌芽は始まっている）、脳内の機械の知能は指数関数的に増大し（実際に今まで成長を続けてきたように）、少なくとも年間2倍にはなる。これに対し、生物学的な知能の容量には実際的な限界がある。よって、人間の知能のうち非生物的な知能が、最終的には圧倒的に大きな部分を占めるようになる。**

シンギュラリティの原則（８）

レイ・カーツワイル著『シンギュラリティは近い 人類が生命を超越するとき』
NHK出版、2016年

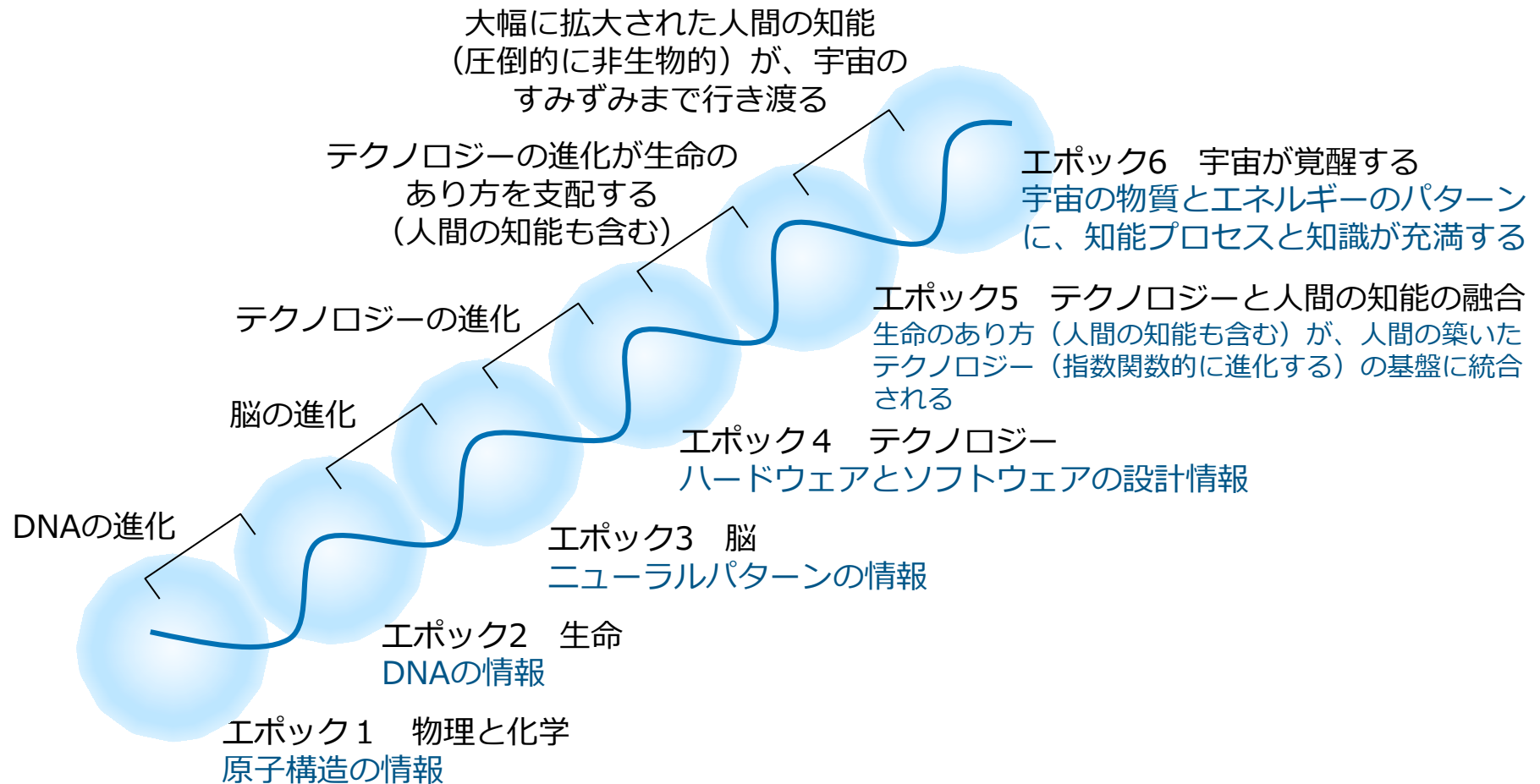
- フォグレットと呼ばれるナノボットは、イメージや音波を操作して、**モーフィング技術を使って作成したVRを現実世界に出現**させることができる。
- ① 他者の感情を理解して適切に反応するという人間の能力（いわゆる感情的知能）も、将来には、機械知能が理解して自由に使いこなすようになるだろう。人間の感情的な反応の中には、自身の知能を最適化し、脆弱で限界のある生物的な身体の埋め合わせをしようとするものがある。
- ② 未来の機械知能も、世界と作用するために「身体」を持つだろう（VRにおけるヴァーチャル身体や、フォグレット（分子マシン）を使って本当の現実投影した身体など）。
- ③ こうしたナノ技術でできた身体は、人間の生身の体よりもはるかに性能がよく長持ちする。よって、将来の機械知能が示す「感情的」な反応のいくつかは、大幅に強化された身体的な能力に合わせて再設計されている。
- ④ 神経系の内部で作られるVRの解像度や信頼度が、本当の現実匹敵するようになると、人々は、ますますヴァーチャル環境での経験を重ねることになる。
- ⑤ VRでは、人は、身体的にも感情面でも違う人間になることはできる。それどころか、他の人（ロマンスの相手など）が、あなたが自分のために選ぶ身体とは違う身体を、あなたのために選ぶことができる（その逆もあり）。

シンギュラリティの原則（9）

レイ・カーツワイル著『シンギュラリティは近い 人類が生命を超越するとき』
NHK出版、2016年

- **収穫加速の法則は、非生物的な知能が、宇宙の中のわれわれの周囲にある物質とエネルギーを、人間と機械が合体した知能でほぼ「飽和」させるまで継続される。**飽和とは、コンピューティングの物理的性質を理解したうえで、物質とエネルギーのパターンをコンピューティングのために最大限利用することだ。
 - ① この最大の限界に至るまで、文明の知能は、宇宙のすみずみまで広がり、その能力を拡大し続ける。拡大する速度は、そのうちすぐに、情報が伝達される最大速度に至る。
 - ② 最後には、宇宙全体にわれわれの知能が飽和する。これが宇宙の運命なのだ。われわれが自分自身の運命を決定するのであり、今のように、天体の動きを支配する、単純で機械的な「もの言わぬ」力に決定されるのではない。
 - ③ 宇宙がそこまで知的になるまでにかかる時間は、光速が不変の限界なのかどうかで決まってくる。光速の限界を巧みに取り除く（または回避する）可能性がないわけではなさそうだ。もしそういう可能性があるのなら、本来の文明に存在する壮大な知能が、それを利用することができるだろう。

レイ・カーツワイル Ray Kurzweil



シンギュラリティの意味（１）

レイ・カーツワイル著『シンギュラリティは近い 人類が生命を超越するとき』
NHK出版、2016年

- わたしの身体は一時的なものだ。それを構成する分子は、ひと月でほぼ完全に入れ替わる。連続性をもっているのは身体と脳のパターンだけだ。
- そうしたパターンを改善するために、身体の健康状態を最適にし、知性を伸ばしていかなければならない。最終的には、テクノロジーと融合することにより、精神機能は驚異的に拡張できる。
 - ① われわれは現在、永遠と言えるほど長き生きる手段を手に入れた。現在ある知識を積極的に用いれば、老化の過程を格段に遅らせることができ、バイオテクノロジーとナノテクノロジーによるさらに抜本的な延命治療が可能になるまで、元気な状態を保つことができる。
 - ② ただし、ベビーブーマーの多くは、自身の老化の加速的進行や、それを食い止められる好機にも気づかず、寿命を延ばすことができないかも知れない。
 - ③ この観点から、わたしは積極的に自分の身体を生化学的に作り直していて、健康状態は、そうしなかった場合とは格段に違ってきている。サプリメントや薬は、どこか悪くなった時のためにとっておくべきものではない。
 - ④ われわれの身体は、大昔に進化した旧式の遺伝プログラムに支配されているので、そうした遺伝上の遺産を克服していく必要がある。すでに、そうするために必要な知識は揃っていて、わたしは熱心にそれを実践している。

シンギュラリティの意味（２）

レイ・カーツワイル著『シンギュラリティは近い 人類が生命を超越するとき』
NHK出版、2016年

- **われわれは身体を必要とする。ただし、マイクロ・ナノテクノロジーの部品を入れることで、身体を思うままに改造できるようになる。テクノロジーによってのみ、人間社会が何世代にもわたって取り組んできた難題を克服することができる。**

- ① たとえば、今誕生しつつある技術によって、クリーンで再生可能なエネルギーを供給・蓄積する手段が提供されるだろう。また、人体と環境から毒素や病原体を除去する手段や、飢えと貧困を克服するために必要な知識と財力も得られるだろう。
- ② 知識は、どのような形態のものも貴重だ。音楽、美術、科学、テクノロジー、そしてわれわれの脳と身体に記憶された知識もかけがえのないものだ。知識の喪失はすべて悲しむべきことである。
- ③ 情報は知識ではない。世界には情報が溢れており、知能の役割は、その中から顕著なパターンを見つけ出し、それに基づいて行動することだ。たとえば、毎秒数百メガビットの情報がわれわれの感覚機能を通過するが、その大半は知能によって切り捨てられている。保持されるのは、重要な認識と洞察（どのような知識の形態であれ）に限られる。このように知識は情報を選択的に破棄して知識を創造している。
- ④ 死は悲惨だ。ひとりの人間を深遠なるパターン（知識の一形態）と見なすことは、侮辱にはあたらないと思うが、死によってそうしたパターンは失われる。少なくとも現状では、人の知識にアクセスしたり、バックアップを取ったりすることはできないからだ。愛する人が死んだとき、人はよくみずからの一部を失ったように感じると思うが、それはまさにその通りで、その人と交流するために脳の中にできあがってきた神経系のパターンを実際に使う能力が失われるのだ。

シンギュラリティの意味（3）

レイ・カーツワイル著『シンギュラリティは近い 人類が生命を超越するとき』
NHK出版、2016年

- ⑤ 伝統的な宗教の主な役割は、死を賛美する考えを正当化するところにある。すなわち、死の悲惨さを、よいことであるかのごとく正当化するのだ。こうした一般的な死の捉え方を、英国の作家マルコム・マガリッジは次のように表現する。「死がなければ、人生は耐えがたい」。しかし、シンギュラリティがもたらすであろう芸術や科学、その他あらゆる形態の知識の爆発的な発展によって、人生は充分、耐えられるものになるだろうし、真に有意義なものになるはずだ。
- ⑥ わたしの考えでは、**生命の目的－そしてわれわれの人生の目的－は、より偉大な知識を創造して評価し、そして、より素晴らしい「秩序」に近づくことである**。秩序が増加していくと通常は複雑さも増していく。だがときには、深い洞察により複雑さを減少させつつ秩序を増加させることも可能になる。
- ⑦ わたしの見るところでは、**宇宙の目的にも、人生と同じ目的が反映される。すなわち、より素晴らしい知能と知識に近づくことである**。人間の知能とテクノロジーが、この宇宙という拡大する知能の最先端を形成するのだ（今のところ地球外の競争者は見つかっていないので）。

シンギュラリティの意味（４）

レイ・カーツワイル著『シンギュラリティは近い 人類が生命を超越するとき』
NHK出版、2016年

- **臨界点（ティッピングポイント）にさしかかっている今世紀中に、自己複製能力を持つ非生物学的な知能を通して、太陽系全体にわれわれの知能を拡散させる準備が整うだろう。そして、それは太陽系以外の宇宙にも広がっていくだろう。**

- ① アイデアとは、知能を具体化したものであり、その所産である。アイデアにより、われわれが遭遇する問題の大半は解決できる。解決できない主要な問題は、われわれがはっきりと表現できないもの、そして大抵は、気づきもしないものだ。従って、問題と遭遇した時に重要になるのは、まずそれを言葉（ときには方程式）で正確に表現することだ。それさえできれば、問題に立ち向かい、解決するアイデアを見つけられる。
- ② われわれは、テクノロジーの加速がもたらす多大な力を利用できる。中でも注目すべき例は、「橋に足場を架け、さらにそれを土台として橋をわたす（今日の知識をバイオテクノロジーへの架け橋とし、次にそのバイオテクノロジーの知識をナノテク時代への架け橋にする）方式により、寿命を劇的に延ばすことだ。これにより、劇的な延命に必要な全知識はまだ揃っていないにもかかわらず、無限に生きる道が今開かれることになる。言い換えれば、今日すべての問題を解決しなくても良いのだ。
- ③ 5年か10年、あるいは20年の間に入手できる技術力を想定し、それらを計画的に組み入れることが可能だ。これはまさしく、わたしが自分の技術プロジェクトを考案する際のやり方であり、社会が直面する大問題や個々の人生における問題についても、同じ方法を適用することができる。

Agenda

1. 科学技術の未来とシンギュラリティ

2. カーツワイルのシンギュラリティ

3. シンギュラリティに関する議論



(1) ノーム・チョムスキーによる批判

(2) ミチオ・カクによる批判

4. シンギュラリティと社会の持続可能な発展

ノーム・チョムスキー Noam Chomsky



生成文法理論 generative grammar theory

人間がどんな母語であっても数年という比較的短期間でその言語体系を習得できるのは、後天的経験（学習経験）に依拠しない『普遍文法(UG)』が生得的に備わっているからである。生成文法理論では、すべての自然言語の基盤に普遍文法があると仮定されているが、普遍文法とは簡単に言えば『生得的な言語にまつわる知識・規則』のことである。

<http://www5f.biglobe.ne.jp/~mind/knowledge/cogni/cognitive006.html>

政治哲学者、活動家、言語学者であるノーム・チョムスキーは、真実を追求する姿勢と優れた思想で世界中から敬愛されている。1928年12月7日、ペンシルベニア州フィラデルフィアで生まれ、ペンシルベニア大学で言語学、数学、哲学を学び、1955年、博士号を取得。その後、マサチューセッツ工科大学（MIT）で50年間教鞭をとり、現在はMITの名誉教授。その言語学的研究は革命的で脳科学・認知科学にも巨大な影響を与えている。また政治に関する著作も数多く、言語学のものより多いくらいである。2001年には『9-11』を出版し、彼の最初のベストセラーとなり、おそらく『ポスト9-11』の本の中で最も大きな影響力を持つ1冊となった。

テクノロジーの進歩と人類の未来 (1)

吉成真由美編『人類の未来 AI、経済、民主主義』、NHK出版、2017年

イスラエルの歴史家ユヴァル・ノア・ハラリによると、われわれはおそらく最後のホモ・サピエンスであり、あと100年ないし200年しないうちに、われわれは自らを滅ぼすか、あるいは、テクノロジーを使って無機的なポスト・ヒューマンに発展していくだろう、と。

過去40億年、生物は「自然選択」（種を構成する個体には変異がありその性質は遺伝する。全ての個体が子孫を残すわけではなく、生存（環境）に適した性質をもったものが子孫を残しやすい。そこで、世代の経過につれて、生物はより適応的なものに変化する）によって進化してきて、生命は有機的（オーガニック）な存在にとどまっていたけれども、今後は初めて、インテリジェント・デザイン（創造説が説くような「万能な存在」というものになった人類が、自らをデザインすること）によって進化していくことになり、ホモ・サピエンスとポスト・ヒューマンとの間には、超えることのかなわぬ差が生じていって、約50%にも上る人間が職を失い、役立たずになるだろう、と彼は予測しています。これについてはどのようにお考えですか。（吉成真由美）

空想です。完全なるファンタジー。信ずるべき何ものにも基づいていません。確かに現代ではロボット化が進んでいます。それはいいことでしょう。なぜ人間が退屈で危険な仕事をしなければならないのか。人間はもっとクリエイティブで満足できるような仕事に就くほうがいいでしょう。しかしロボット化は労働市場にそれほど影響をもたらしてはいません。低スキルの仕事はまだ山ほどあります。

また、テクノロジーによる変化というものも確かにあります。生産性が上がるとか、低スキルの仕事を減らして高スキルの仕事を増やすとか。しかし、**AIが人間の知能を超えるというアイデアは、今のところ完全なる夢です。どのようにしてそれを実現するかというコンセプトはまだないですし、その夢を支えるような証拠もない。**世間で騒がれているAIの業績というのは、膨大なデータをコンピュータの高速な計算力に頼ったもので、それらは、何を求めるべきかを知っている人間がデザインしたプログラムによって、ガイドされているのです。（チョムスキー）

テクノロジーの進歩と人類の未来 (2)

吉成真由美編『人類の未来 AI、経済、民主主義』、NHK出版、2017年

ディープ・ラーニングなどは、マシン自身が学習能力を持っているのでは・・・。
(吉成真由美)

ディープ・ラーニングも同じ原理です。ディープ・ラーニングでは、AIが膨大なデータを使って繰り返し学習を重ね、少しずつ上達していった、最終的に実際の知能を真似るところに達する。役に立つこともあります。

例えば、グーグルが開発した翻訳システムなど役に立つでしょう。でも、科学的あるいはインテレクチュアルには、まったく何の意味も興味を引くところもないでしょう。実際の知能の働きとはかけ離れています。やっではまずいということはないですが、ブルドーザーだってあつたらまずいということはないですから。しかし、**これがまったく新しい知能になるという見方には、まるで証拠がありません。** (チョムスキー)

テクノロジーの進歩と人類の未来 (3)

吉成真由美編『人類の未来 AI、経済、民主主義』、NHK出版、2017年

発明家であり、**未来学者でもあるレイ・カーツワイルは、人間の脳のリバース・エンジニアリング（脳を観察、分解、解析して、その原理を突き止めるやりかた）をして、自然言語を含む人間の知能を再現しようとしている**わけです。彼によると、テクノロジーの飛躍的成長は止めようがないと、**いずれバイオロジーとAIとが合体するシンギュラリティに向かって、われわれは進みつつある**というわけです。（吉成真由美）

彼らが素敵なレストランでコーヒーを飲みながら会話して楽しむにはいいでしょう。**しかしその主張には何の証拠もないですね。**

私が研究してきた自然言語分野について言えば、われわれは50年前に、もし自動翻訳をするなら力任せにやるしかない、巨大なデータを集め、コンピュータに計算力が高速になるから、より多くのデータを蓄積して対応するのだと言っていました。実際30年後にこのやり方が実践されたわけです。

例えばカナダの国会議事録はフランス語と英語で表記されているのですが、両者を比べてみれば、両言語がだいたいどのように対応しているのかわかります。この方法で、グーグル翻訳のように、ある程度役に立つものができる。ただしこの場合、科学的あるいはインテレクチュアルな意味はまったくゼロです。（チョムスキー）

テクノロジーの進歩と人類の未来 (4)

吉成真由美編『人類の未来 AI、経済、民主主義』、NHK出版、2017年

人間についての話しになると、途端に、なぜか人々は惑わされてしまう。昆虫について話をする場合はそうじゃないですね。ハチやアリといった昆虫は、大変優れた飛行ないし運行能力と、ミツバチのダンスに見られるようなコミュニケーション能力を備えています。この実験はあまりにばかっているので誰もまだやったことはありませんが、何百万という数のハチやアリの行動をビデオに撮って学習すれば、あるハチが巣を出た後に、次にどのような行動をとるのか、かなり高い確率で予測することができるようになるでしょう。

ただし、なぜこういった行動が起きるのか、ということ突き止めるのは科学の大きなテーマですが、単にハチの行動を真似することにはまったく意味がない。他の生物にたとえて考えてみれば、よく理解できることです。もしこのような、**ハチの飛行をただ真似るためだけの研究費を申請したら、グーグルならお金を出すかも知れないけれども、科学機関では相手にされない**でしょう。

ところが人間の話となると、「シンギュラリティ」などと称して、まったく非理性的になってしまふ。われわれは他の生物を考える場合は、非常に理性的なんだけれども、自分たちのことになると、突如として非理性的になってしまう傾向がありますね。

巨大資本を背景にしたPRですね。テクノロジーが急速に発展しているということは確かです。より多くの情報をより早く処理できるようになる。クオオントム・コンピュータ（量子コンピュータ）も出てきて、これに拍車がかかるでしょう。しかしこの量的拡大が、知能や創造性の本質についての洞察をもたらすという徴候もありません。ずっとシンプルなハチの飛行の本質についてさえわからないでしょう。（チョムスキー）

テクノロジーの進歩と人類の未来 (5)

吉成真由美編『人類の未来 AI、経済、民主主義』、NHK出版、2017年

しかしわれわれの存在そのものが、**地球46億年のデータの蓄積の結果**であるという見方もできるのではないですか。進化の過程で単細胞生物が誕生したころ、のちのち**何十億という細胞が集まることで「自己」とか「意識」といったものが創発**されることは、まったく予想もしていなかったわけで。（吉成真由美）

ほとんどすべての生物は、ほぼその誕生時点で決まっていたと言ってもいいかも知れません。われわれのような複雑な生物は細胞でできていますが、これらの（真核）細胞と細菌などの（原核）細胞は、専門家でないとなかなか区別がつかないくらいよく似ていて、非常に複雑な構造をしています。原核細胞は、出現してからほとんどその姿を変えていません。

多細胞動物はこれまで、それぞれ非常に異なる構造をしていると考えられていましたが、実はかなり均一だということがわかってきています。現存する生物のほとんどは、およそ5億2000万年前ごろの「カンブリア爆発」期に出現し、以来それほど変わっていない。

それらの**生物がすべて「自然選択」で出てきたというのも、おそらく間違い**でしょう。ダーウィンが提唱した「自然選択」は、確かに進化の要素には違いないですが、他にも要因はいろいろあります。

人間の言語も「自然選択」の結果出てきたわけではないでしょう。おそらくごくわずかの神経網の接続が、突然変異によって変化したのが始まりなのではないか。（チヨムスキー）

テクノロジーの進歩と人類の未来 (6)

吉成真由美編『人類の未来 AI、経済、民主主義』、NHK出版、2017年

そしてここ数千年の間でも、急激な環境変化が起こっています。それらは「自然選択」の結果ではなく、われわれ人類が原因で起こってきていることです。

われわれは、地質学者が言うところの地質学的新時代である「新生代（第四紀）」にいます。「更新世」は約250万年、「完新世」（約1万年前から現在）は約1万年続きました。そしてわれわれは現在「人新世（Anthropocene）」、すなわち人間が地球環境に大きな影響を及ぼすようになった時代に生きています。

核時代の幕開け、つまり第二次世界大戦の終わりを「人新世」の始まりとすることに、多くの科学者が同意しています。すなわち人類が地球を滅ぼす力を備えた時ですね。これは「自然選択」の結果ではなく、人類の選択の結果です。そういう時代にわれわれは生きているのです。（チヨムスキー）

テクノロジーの進歩と人類の未来 (7)

吉成真由美編『知の逆転』、NHK出版、2012年

言語、音楽、アート起源についてはどのように考えておられますか。また言語が先か音楽が先か。（吉成真由美）

このことについては実に多くの文献がありますが、みな根拠のないものばかりです。卓越した進化生物学者も、現時点でわかっている手法については論じることができるけれども、本質的な起源については皆目わかっていない。これについての最も精密な議論は、元ハーバード大学教授のリチャード・ルウォンティンのものでしょう。

わかっていることとしては、**約五万年前、ごく小さなグループの人類が東アフリカを出て、急速に全世界に広がっていったということ。それ以来、知る限りにおいて、認識能力の進化は起こっていないのです。**つまり、たとえばアフリカを出てから全く他の人種との接触のなかったパプア・ニューギニアやアマゾンの原住民の子供たちと、われわれの子供たちとは、認識能力にまったく差がないということです。そういう原住民の子供をボストンに連れてきて育てれば、私の孫たちとなんら変わらないでしょう。種族間の遺伝的な差異は見つかりません。

同じ種族の中での差異はありますよ。たとえば、病理学上の違いとか。でも基本的には認知能力に差はない。ですから、**過去5万年間の間に、進化上の変化は全くなかったと言っていいでしょう。**たとえば髪の毛の色と言った表層的な変化はありましたが、認識能力上の変化は起こっていない。（チョムスキー）

テクノロジーの進歩と人類の未来 (8)

吉成真由美編『知の逆転』、NHK出版、2012年

考古学上の資料によれば、**約5万年から10万年くらいの周期で、重要な創造力の爆発**があるといえます。

ですからそれくらい前に人類学者が「大躍進」(great leap forward)と呼ぶような何かが起こったらしい。その頃、記号を使った行動や表記がはじまり、天体の記録や複雑な社会構造が生まれ、考古学上の記録だけでも、人間能力の突然の進展や向上が見られるわけです。それ以前にも萌芽はあったけれども、この頃に急激な変化が起こった。

それが言語の出現だったと考えられています。これらのことが言語の能力なしに起こったとは考えられない。ですから、**進化上、言語というものはほんの一瞬にして発達した**ことになります。つまり視覚の発達のように何億年という時間をかけて起こったのではないということです。

カンブリア紀の生命爆発(カンブリア爆発)の頃に、生物の基本的なパターンというものが整ってからは、生命の発達というのはみなほとんど同じなのです。遺伝子の保存についても十分にわかってきている。多様な生物は、実は一種類が非常に長い時間をかけてわずかなずつ変化してきた結果であるとする論文も発表されているくらいです。

しかしそれらとは違って、**言語を含む人間のさまざまな能力は、非常にごく最近、突然現れたもの**なのです。音楽はどうか。わかっているのは、人間の全ての種族がある種の音楽、ダンス、アートといったものを持っているということです。ですからこれら全ては人間に特有の能力なのです。この時期(大躍進)以前にもそれらがあったかどうかは定かではない。音楽やダンスの考古学的記録は残っていませんから。ではアートの記録は残っているかということ、これも実はそうでもない。大躍進時代の砂絵などももちろん残っていませんし、ラスコーの壁画はずっと後になります。わかっているのはこれくらいです。(チョムスキー)

テクノロジーの進歩と人類の未来 (9)

吉成真由美編『知の逆転』、NHK出版、2012年

アルフレッド・ウォレスはダーウィンと共に進化論を築いた人ですが、彼は全ての人間に数学の能力があることに注目していた。

たいした大能力ではないので、かえって厄介なのです。しかも進化上ごく最近、わずかの人間が使っているだけです。でも確かに能力はそこにある。アマゾンの子供をアメリカで育てれば、数学がとてもよくできるようになる。能力が既に存在しているからです。では、なぜ存在しているのか。選択の結果であるはずがないわけです。使われていなかったのだから。そこで彼は、**進化には「選択」の他に別の要素があるはずだ**と考えます。でも彼はその段階で、神秘的になってしまった。

もっと可能性の高い仮説は、既に存在しているなんらかの副産物であるという考え方です。実際、**数学の基本的な部分は言語の副産物である可能性が高い**。言語の要素をその骨のレベルまで削ると、ほぼ数学的なものに帰趨（きすう）します。だから、**言語の副産物としての数学の能力**というものも、他の能力と同じように、「大躍進期」にその片鱗を見つけることができるのです。

（中略）ネアンデルタール人は約三万年前に消えているわけですが、現代人でもテクノロジーの手を借りなければできないような、素晴らしい道具を作っているんですね。彼らは世界中で同じように素晴らしく手の込んだ道具を作っていた。でもそれらは革新的でなかった、つまり、ホモサピエンスが持っていたような好奇心に欠けていたわけです。

（チョムスキー）

テクノロジーの進歩と人類の未来 (10)

慈愛とか、音楽の感受性表現といった高次の感情は、新皮質のヒエラルキーの最上層に位置します。音楽、文学、科学といったコンセプトは、新皮質が十分なかったころには存在しなかったものです。

霊長類は新皮質が発達していますが、音楽や文学を生み出さないし、ユーモアや言語を理解しません。チンパンジーは、手話ができ、単純な文章を生み出すという論文もありますが、人間の言語のような無限のヒエラルキーを持っていません。

新皮質に層を重ねることで、高次の機能が備わるようになってきた。それによって慈愛のような深い感情の機微が備わるようになったのでしょうか。

音楽は人間の最高の表現であると思いますが、そのためには抽象化することができる新皮質の層が加わる必要があります。（カーツワイル）

吉成真由美編『人類の未来 AI、経済、民主主義』、NHK出版、2017年

「科学は、物事が何であるかは決められるが、どうあるべきかは決められない。だから、科学の領域を超えた価値判断が依然として不可欠なのだ」 アインシュタイン

ミチオ・カク（著）、斉藤 隆央（訳）、『2100年の科学ライフ』NHK出版、2012年 「2. 人工知能の未来 機械の進歩 遠い未来」より引用

Agenda

1. 科学技術の未来とシンギュラリティ
2. カーツワイルのシンギュラリティ
3. シンギュラリティに関する議論
 - (1) ノーム・チョムスキーによる批判
 - (2) ミチオ・カクによる批判
4. シンギュラリティと社会の持続可能な発展



ミチオ・カク（加來 道雄、Michio Kaku）



ミチオ・カク（加來 道雄、Michio Kaku、1947年1月24日 - ）は日系アメリカ人（3世）の理論物理学者、作家。専門は素粒子論、とくに超弦理論。

ミチオ・カクは1947年1月24日にカリフォルニア州サンフランシスコで生まれた。幼年時代を振り返って、自分は日系3世で、祖父はサンフランシスコ大地震（1906年）の後片付けのためにアメリカへ来て、父親はアメリカ生まれだが日本で教育を受けたので英語はあまり話さず、両親ともに太平洋戦争中にテュール・レイク（Tule Lake）などの日系人の強制収容所に入れられていた時に知り合い結婚し、兄はそこで生まれた、と語っている。パロアルト市の高校時代に理論物理学者のエドワード・テラーに傾倒する。1968年ハーバード大学卒業。1972年カリフォルニア大学バークレー校のローレンス・バークレー国立研究所より博士号を取得。1973年プリンストン大学講師を経て、25年以上ニューヨーク市立大学シティカレッジ物理学部教授として教鞭をとる。現在は同大学教授の他、プリンストン大学とニューヨーク大学の講師。弦理論に大きな貢献があり、いわゆる弦の場の理論の創始者の一人。科学の普及活動に熱心で多くの著書を出版、ベストセラーも複数ある。科学解説者としてディスカバリーチャンネルなどTV出演もこなす。

Wikipedia「ミチオカク」で2018年4月2日に検索

人工知能の未来 機械の進歩（４） カーツワイルに対するカク氏の見解

未来の選択肢はいろいろ考えられるが、私としては、一番可能性が高いのは、善意のあるフレンドリーなロボットをつくり、われわれ自身の能力をある程度高めながら、穴居人の原理に従うというシナリオだと思う。

穴居人の原理（現代のテクノロジーと原始的な祖先の欲求との軋轢があるところでは必ず、原始の欲求が勝利を収めること）

フレンドリーな人工知能という言葉は、人工知能シンギュラリティ研究所を創設したエリーザ・ユドコウスキーが考案した。フレンドリーな人工知能の概念は、場合によっては意思に反してロボットに強制されることもあるアシモフの三原則（ロボットは人間に危害を加えてはならない、ロボットは人間に従わなければならない、ロボットは自分を守らなければならない）とは少し違う。フレンドリーな人工知能の場合、ロボットは人を殺すことも傷つけることも自由にできる。ルールで人工のモラルを強制することはない。むしろ、そうしたロボットは、最初から、人間に危害を加えるのではなく人間を助けることを望むようにつくられているのだ。

こうして「社会ロボット工学（ソーシャルロボティクス）」という新しい分野が生まれた。ロボットに、人間社会に溶け込ませるための資質を与えようとするものである。（中略）だが、こうしたアプローチでひとつ問題なのは、人工知能システムに圧倒的に多くの資金を提供しているのが軍であるということであり、そんな軍のロボットは、人間を探し、追跡し、殺すためのものになる。（中略）しかし、将来、破壊でなく手助けのためのロボットを作る民間センター、とくに日本から、ロボットに投じられる資金が増えていくことだろう。その傾向が続けば、フレンドリーな人工知能が実現できるかも知れない。

イタリアとスウェーデンの科学者は実際に「感じる」ことのできるロボットハンドをつくっている。（中略）この進歩が重要なのは、いつか人間が機械の手足を、骨と肉のようにわけなく制御できそうなことを意味している。（中略）**脳は、接続して様々な装置から様々な手足やセンサーを制御できる。**

（中略）最近では、ASIMOに新しいアイデアが組み込まれている。リモート・センシング（遠隔探査）だ。京都大学では、脳センサーを使ってロボットの機械的な動作を制御する訓練が行われている。例えば、脳波計のついたヘルメットを学生にかぶらせると、考えるだけでASIMOの手足を動かせるようになる。（中略）これは、**心で制御するロボット**という、人工知能のもうひとつの世界の扉を開いてくれるのかも知れない。

（中略）このことは、日本の移民問題の軽減に役立つかもしれない。労働者が色々な国にいても、脳センサーを身につければ何千キロメートルも離れた場所のロボットを制御できるのだ。すると、インターネットはホワイトカラーの思考を送り届けるだけでなく、ブルーカラーの思考も送り届けて身体の動きに変換することになる。したがってロボットは、医療費の急増や労働力の不足に取り組むどの国においても、欠かせないものとなるだろう。

究極のシナリオでは、われわれはお荷物の体を完全に捨て去り、ついには人格をコードした純粹なソフトウェアプログラムとなる。全人格をコンピュータにダウンロードするのだ。

人工知能の未来 機械の進歩（４） カーツワイルに対するカク氏の見解

ロボットがいつ人間並みに賢くなるのかは、だれにもわからない。だが、私としては、いくつかの理由で**その時期を今世紀の終わり近く**としたい。

第一に、これまでコンピュータ・テクノロジーの目覚ましい進歩は、**ムーアの法則に従っていた。この進歩は今後減速**しだして、2020～25年ごろには止まりさえするかも知れない。本書では、コンピュータの性能は向上しつづけるが、そのペースは落ちるものと仮定した。

第二に、コンピュータが1秒間に 10^{16} 回といった途方もない速度で計算できても、**必ずしも人間より賢いことにはならない**。ディープブルーは、1秒間に2億通りもの配置を分析でき、チェスの世界チャンピオンを破った。ところが、ディープ・ブルーは、そんな速度と計算能力を持ちながら、ほかには何もできない。真の知能は、チェスの駒の配置を予測するよりはるかに高度であることを、われわれは知っている。

第三の理由は、**ロボットが元のものより賢いコピーをつくれるかどうかわからない**。自己複製するロボットの数学的土台は、ゲーム理論を発明し電子計算機（コンピュータ）の開発にひと役買った数学者、ジョン・フォン・ノイマンによってはじめて考え出された。ノイマンは「機械が自分自身のコピーを作れるようになるための最少の前提を決定する」という問題をいち早く検討した。しかし彼は**「ロボットが自分より賢いコピーを作れるか」という問題には取り組まなかった**。実のところ、「賢い」の定義そのものに問題がある。「賢い」の普遍的に認められた定義は存在していないからだ。

第四の理由は、ハードウェアが急速に進歩しても、**ソフトウェアはそうではないためだ**。ハードウェアは、ウェハーにエッチングするトランジスターをどんどん小さくできることによって進歩してきたが、ソフトウェアはまったく違い、デスクでコードを書く人間が必要になる。人間がボトルネックなのだ。

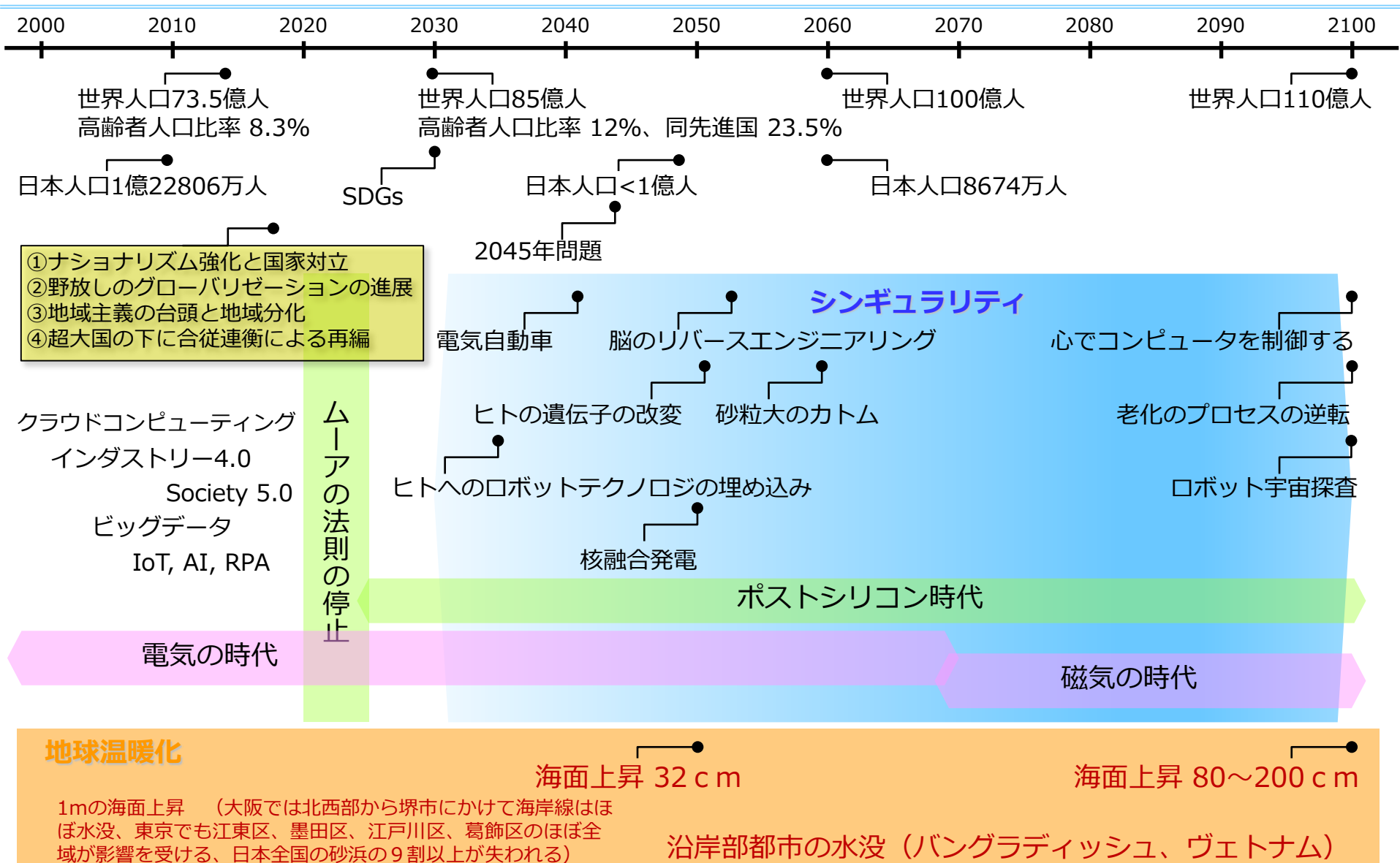
第五の理由になるが、脳のリバーズ・エンジニアリングに関する研究で、プロジェクトの莫大なコストと純然たる規模ゆえに、きっと今世紀の半ばまでずれ込むだろうとも考えられる。しかも、大量のデータの理解にはまた何十年もかかり、**脳のリバーズ・エンジニアリングの完了は今世紀の終わりごろになる可能性**がある。

第六の理由は、**機械がいきなり意識を持つようになる「ビッグバン」起きないに違いない**からだ。（中略）機械の意識にはきっとそれ特有のものがあるに違いない。ならば純然たる人間の意識ではなく、ある種の「シリコンの意識」がまずうまれるはずだ。機械はこの段階をゆっくりのぼっていくから、われわれ人間に、備える時間をたっぷり与えてくれる。

Agenda

1. 科学技術の未来とシンギュラリティ
2. カーツワイルのシンギュラリティ
3. シンギュラリティに関する議論
 - (1) ノーム・チョムスキーによる批判
 - (2) ミチオ・カクによる批判
-  4. シンギュラリティと社会の持続可能な発展

シンギュラリティと社会の変化



ミチオ・カク (著)、斉藤 隆央 (訳)、『2100年の科学ライフ』NHK出版、2012年 「2. 人工知能の未来 機械の進歩 遠い未来」より引用
 西川潤、『2030年 未来への選択』、日経プレミアシリーズ、2018年

2100年の科学ライフ ミチオ・カク氏の提言（1）

最終的に、世界経済と各国の運命は、ナノテクノロジーによって決まるかも知れない。2020年かその直後にムーアの法則が揺らぎはじめ、いずれ破綻するかも知れない。コンピュータを動かすのに**シリコンのトランジスタに代わる適切なものを物理学者が見つけれなければ、世界経済は混乱に陥る**おそれがある。

科学がなかったら、われわれは数千年前のおぼろげな過去にあと戻りしてしまうだろう。だが科学の発展は一樣ではなく、波となって訪れる。ひとつの種となるブレークスルー（蒸気機関、電球、トランジスタなど）がえてして**二次的な発明の連鎖**を生み、それがまた革新と進歩の雪崩を起こす。こうした発展の波は莫大な富を生み出すため、経済にも反映されているはずだ。（中略）しかし、資本主義のもとでは、富が滞留することはない。富はどこかへ流れる必要がある。資本家たちは絶えず次のチャンスを探し、手元の富をさらに投機的な事業に投資し、ときに破壊的な結果になる。

新しいテクノロジーは、とても強力なので、**今世紀末までに資本主義そのものに影響を与える**に違いない。需要と供給の法則は変わっていないが、科学技術の進歩は、アダム・スミスの資本主義を、品物の流通から富そのものの内容まで多くの点で変えてきた。

未来は大きく開かれている。シリコンから次の革新技术にバトンが渡れば、シリコンバレーは今後数十年で第二の「ラストベルト」になってしまうかもしれない。未来をリードするのはどの国だろう？ 冷戦時代、超大国は、全世界に軍事的影響力を行使できる国のことだった。ところがソヴィエトの崩壊により、**将来トップに立つのは健全な経済を築き上げる国であり、それを左右するのが科学技術の育成**である。

2100年の科学ライフ ミチオ・カク氏の提言（2）

最終的に人々は、**そのテクノロジーをどこまで進めるか、どの方向へ発展させるべきかを自分たちで決めることになる**が、情報を与えられて教育を受けた有権者にしか、この決断を賢明に下せない。

残念ながら多くの人は、人類が未来に直面するとてつもない課題について、情けないほど無知である。古い産業に代わる新しい産業をどうしたら生み出せるのか？ 将来の労働市場に向けて、若者にどんな準備をさせればいいのか？ 遺伝子工学を人間に対してどこまで進めるべきなのだろう？ 崩壊してともに機能しなくなっている教育制度をどう改革すれば、将来の課題に対処できるのか？ 地球温暖化や核の拡散に、どうしたら立ち向かえるのか？

民主主義の鍵を握るのは、そのときどきの問題について合理的かつ冷静に議論できる、情報を与えられ教育を受けた有権者だ。

ミチオ・カク（著）、斉藤 隆央（訳）、『2100年の科学ライフ』NHK出版、2012年 「2. 人工知能の未来 機械の進歩 遠い未来」より引用

- ①ナショナリズム強化と国家対立
- ②野放しのグローバリゼーションの進展
- ③地域主義の台頭と地域分化
- ④超大国の下に合従連衡による再編

四つのシナリオ、また、そのどれかが優越していくケースは、ナショナリズムにせよ、グローバリズムにせよ、また地域主義にせよ、大国のにらみ合いの世界にせよ、**現在のシステム危機を増幅する**方向で作用することになる可能性が高い。

それを察知するからこそ、私たちは将来について、必ずしも明るい展望を持つことはできない。しかし、これら四つのシナリオについては、どれも、**これらを内側から転換するシナリオと自立共生のシナリオが構想可能**である。

2030年へ向けて、世界はまず、90億人の世界へと動きつつあるが、この世界では、グローバル化の下での資源配分の不平等、社会格差の拡大が進んでいる。環境の悪化も世界の持続可能性を損なっている。こうした条件の下では、諸国民に二つの選択肢が開かれる。

1.人口－食料バランスの悪化から、土地やコモンズの争奪戦が繰り広げられる

2.21世紀に入って以来の人口、食料、エネルギー等の諸資源、コモンズの状況を冷静に見つめ、破壊への傾斜に代わり、資源やコモンズの共同管理によって持続可能な発展を可能にする

平和の方向への変化のために**一番必要なことは一人一人の価値観の変化**である。変化を阻んでいるのは、前時代に形成された私たちの心の中の価値観にほかならない。この価値観が、強者と自己利益優先、優勝劣敗、個人のコミュニティからの分断と孤立化、そして個人のモノ化への転落を導き、世界の破壊への方向への進展を支えている。

日本人の孤立化現象は、この国でビッグブラザー（国民の代表を名乗る権力体）待望を生み、それは資源争いから破壊へと進む第1の方向に接続しているのである。

コモンズ：人間が共同で利用、管理する対象となる資源。森林、牧草地、景観、地上や地中の無主の生物・非生物や河川、湖沼、海洋、海洋・海底の生物・非生物等。グローバル・コモンズとローカル・コモンズがある。ローカル・コモンズの森林・大気・水等の環境資源に加えて、教育・公園・病院などの社会インフラや金融・報道・都市等の制度資本も合わせたのが「社会的共通資本」（宇沢弘文）

現代社会では誰もが「忙しい」が、このような時間のスピードアップは、特定の権益層が都合の良い方向に時間を「盗んで」いるのかも知れない。私たちが、モノがあふれる中で失いがちな豊かさを取り戻すには、**個人のコミュニティ・中間団体との関わりや、環境との共生がカギ**となるだろう。

自分の運命を他人に委ねるのではなく、**人が自立＝自律する**とき、いまのタテ型社会における支配－従属関係が、人びとの共生の方向に変わる可能性が出てくる。個人と集団の関わり合いが変化し、**環境が外部経済の草刈り場からコモンズへと変化する。誰もが居場所と生きがいを持つ地域社会と公共空間**づくりが始まる可能性が生まれる。**そこに民主主義が蘇る。**それを土台として国家体制の民主化が始まる。企業に市民化、国家の市民国家化、平和国家化も、そこから進行する。

ご清聴ありがとうございました

連絡先 info@clem.co.jp 又は、
junichi.ikebe@clem.co.jp

サステナブル・イノベーションズ株式会社 池邊純一