

## 特集 DXを支えるIT

## パラダイムシフトを生きる

## ～デジタル技術の本質と社会実装～

株式会社NTTデータグループ シニアアドバイザー  
技術経営士 岩本 敏男



## 1. まえがき

現代はまさにパラダイムシフトの時代と言っても良い。これまでの価値観が一気に変化し、全く異なる社会規範が世の中を覆う。地球環境の保全を目指すカーボンニュートラルの動きに始まり、コロナウイルスによるパンデミックは世界中の経済活動や人の動きを止めてしまった。さらに2022年に始まったロシアのウクライナ侵攻やその後のイスラエルのハマス紛争はエスカレートし、終息の道筋が見えない。こうした地政学的な変化と共に、あるいはそれらをも突き動かしているかもしれない生成AIを含むニューテクノロジーの指数関数的な進化は、このパラダイムシフトを動かしている原動力かも知れない。後の歴史家たちはこの2020代を歴史が大きく動いた時代と評するかもしれない。

本稿では、デジタル技術の本質と社会実装における課題などについて考察してみる。

## 2. DXとイノベーション

## 2.1 DXとは

DXは、もはやバズワードになっているが、それはDigitizationではなくDigitalizationでもなくDigital Transformationである。DXという用語を最初に使った人は2004年当時スウェーデンのウメオ大学のエリック・ストルターマン（Erik Stolterman）教授と言われている。彼が2004年に発表した「Information Technology and Good Life」という論文の中で次のように述べている。「DXとは、デジタル技術が人間の生活のあらゆる側面に引き起こす、または影響を与える変化として理解することができる」。しかし、当時の彼も現在使われているような意味でDXを捉えてはいなかったのではないかとと思われる。



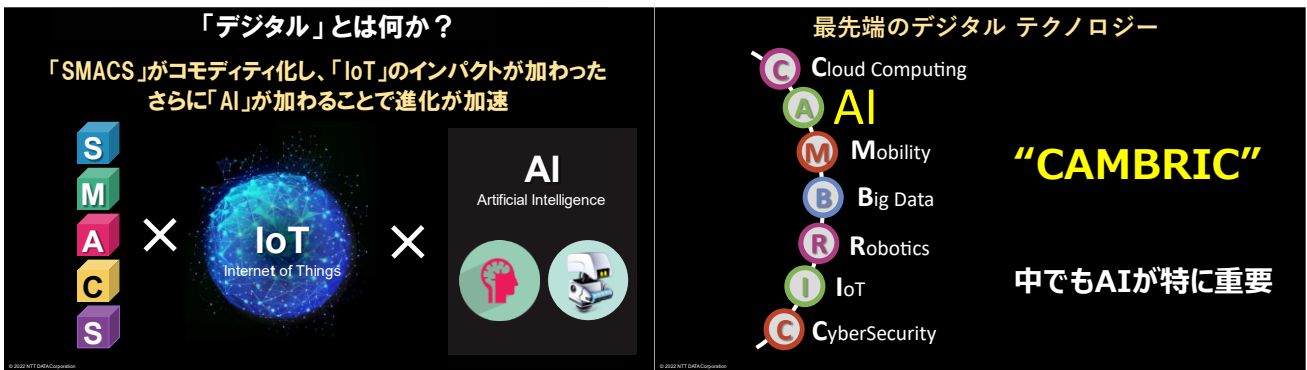
2018年に経産省が表わした「DX推進ガイドライン」の中では、DXとは「企業がビジネス環境の激しい変化に対応し、データとデジタル技術を活用して、顧客や社会のニーズを基に、製品やサービス、ビジネスモデルを変革するとともに、業務そのものや、組織、プロセス、企業文化・風土を変革し、競争上の優位性を確立すること」と定義している。これが、最も的確なDXの定義と思われる。経産省は同レポートの中で、「2025年の崖」と称して、各企業で現在稼働しているレガシー化した基幹業務システムの更新が進まなければ、最大12兆円／年の損失が発生するとしている。

2023年に情報処理推進機構（IPA）が発表したレポートによれば、日本のDXの実施状況はかなり定着してきているが、全社的なDXは進んでいないのが現実である。業種別に見ると、DXに取り組んでいる割合が高いのは金融業・保険業、情報通信業であり、割合が低いのはサービス業となっている。製造業に関しては、3割近くがDXに取り組んでおらず、全社的に取り組んでいる企業は6割に満たない。

大多数の企業ではデジタイゼーション、デジタライゼーションに取り組んで成果が出ているが、デジタルトランスフォーメーションで成果が出ている企業は少ない。DXの課題が大きいと言える。

## 2.2 デジタルとは

ここまでデジタルという用語を何度も使ってきたが、改めて「デジタルとは何？」と聞かれると答えに窮する人もいるだろう。もちろん「アナログ」VS「デジタル」でないことは明らかだ。私はコロナの時を除いて毎年必ず一度は米国シリコンバレーを訪れ、IT企業のトップマネジメントと技術や戦略について意見交換してきた。その経験から言うと2014年までは今我々が使っている「デジタル」という言葉は聞いたことがない。「SMACS」（Social、Mobil、Big Data Analytics、Cloud、Security）がみんなのキーワードだった。私なりにデジタル技術を定義すれば、このSMACSがコモディティ化し、これにIoTのインパクトが加わったものと理解するのが良い。さらにAIが加わることでデジタル技術の進化が加速したと考えられる。



そして現在のデジタル技術は何かと問われれば、「CAMBRIC」（Cloud、AI、Mobility、Big Data、Robotics、IoT、Cyber Security）が良いと答えている。中でもAIのインパクトは大きい。

## 2.3 イノベーションとは

Society5.0のコンセプトは2016年、第5期科学技術基本計画において、我が国が目指すべき未来社会の姿として世界に向けて発表したコンセプトだが、その5年後、2021年には第6期科学技術・イノベーション基本計画としてイノベーションという言葉を入れて閣議決定されている。その前年、25年ぶりに「科学技術基本法」が「科学技術・イノベーション基本法」と改称されている。この時のイノベーションの定義は、「科学的な発見又は発明、新商品又は新役務の開発その他の創造的活動を通じて新たな価値を生み出し、これを普及することにより、経済社会の大きな変化を創出すること」とされている。

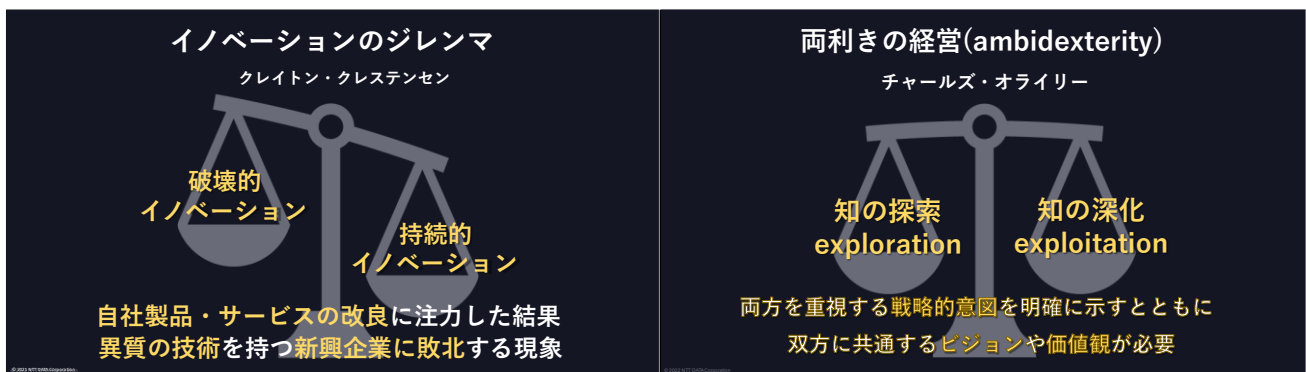
イノベーションに関してはこれまでも世界中で様々な議論が展開されてきたが、やはりヨーゼフ・シュンペータ氏の理論を引用しないわけにはいかない。彼によればイノベーションとは「価値の創出方法を変革して、その領域に革命をもたらすこと」である。初期の著書『経済発展の理論』の中で、イノベーションを「経済活動の中で生産手段や資源、労働力などを、それまでとは異なるやり方で新結合すること」と定義している。つまり、「新たな組み合わせ」がイノベーションの重要な要素ということだ。



また、彼が唱える「イノベーションを起こす5つの分類」を、現代風に要約すれば次のとおりであり、今でも十分通用する考えである。

- ① 新しい財貨（新商品や新サービス）
- ② 革新的生産技術
- ③ 新しい市場と販売チャネル
- ④ 新しい原材料
- ⑤ 新しい組織

クレイトン・クレステンセン氏のイノベーションのジレンマも取り上げないわけにはいかない。彼の説によれば、イノベーションには現在すでに存在している製品・サービスの性能・品質を飛躍的に高める「持続的イノベーション」と、従来の常識を変える製品・サービスを投入し、市場競争ルールを根底から破壊し、業界構造を劇的に変える「破壊的イノベーション」の二種類がある。イノベーションのジレンマとは、自社製品・サービスの改良に注力した結果、異質の技術を持つ新興企業に敗北する現象のことをいう。

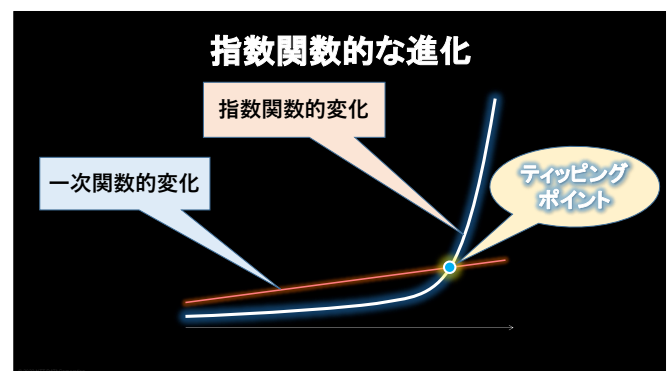


その後、スタンフォード大学のチャールズ・オリリー教授がこのジレンマを脱却するには、知の深化（exploitation）すなわち持続的イノベーションと、知の探索（exploration）すなわち破壊的イノベーションをうまく両立させること、「両利きの経営」が重要だと説いている。ちなみに「両利きの経営」という訳語は早稲田大学の入山章栄教授の発案である。

### 3. ITの3大要素技術

#### 3.1 指数関数的進化（Exponential Growth）

シンギュラリティ（技術的特異点）という言葉も人口に膾炙されバズワード化しているが、この言葉を広めたのはレイ・カーツワイル氏である。2005年の著作「The Singularity is near」で述べたことが始まりであるが、コンピュータ（AI）が進化して地球上の全人類の知能を超える時とされている。その到達時期は2045年頃と予想していたが、最近のAIの目覚ましい進化によって、より早く2030年頃には到達するのではという意見も出始めている。



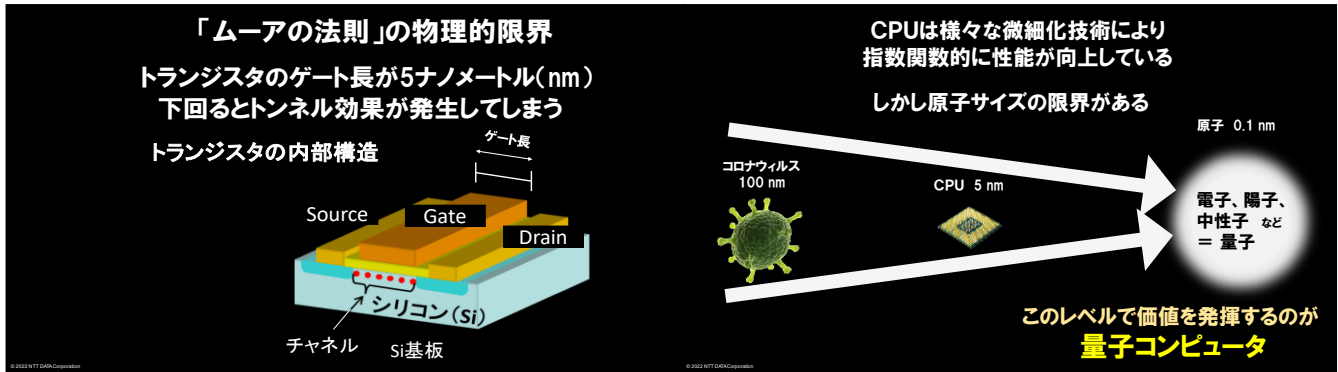
私は2016年、シリコンバレーで彼と面会することがあった。色々な話をしたが、意見の一致を見たのはITの指数関数的進化の圧倒的なパワーだった。20年以上にわたって、ITの3大要素技術（CPU、ストレージ、ネットワーク）の指数関数的進化を講演してきた私の認識と合致したからだ。この3大要素技術の進化が今日の情報社会を構築してきたと言っても過言ではなく、さらにAIの発展と結びついて大きな社会的変革、正にパラダイムシフトを惹起する原動力になっている。



### 3.2 CPUの指数関数的進化

1969年に米インテル社が日本のビジコン社（日本計算機販売株）の求めに応じて開発した、「インテル4004」がマイクロプロセッサの先駆けである。この「インテル4004」は1971年には商用発売されているが、そのクロック周波数は750KHzに過ぎなかった。

クロック周波数とはCPUが処理を同期させるために用いる信号（パルス）のことであり、これが大きいほど1秒間あたりに実行できる命令数が多いことになりCPUの性能を示す指標の一つである。2023年では集積回路の微細化やマルチコア、マルチスレッドといった工夫によって、チップ単独の周波数に換算すれば157GHz相当の能力が出せている。この50年で約20万倍の進化である。



インテル創業者の一人であるゴードン・ムーア氏が1965年、フェアチャイルド セミコンダクター時代に論文で発表した「集積回路上のトランジスタ数が約18ヶ月ごとに倍になる」の法則が、CPUの能力向上スピードを表す「ムーアの法則」として定着している。しかし、最近ではこの法則も限界が近いとして「ムーアの法則限界説」もしばしば登場している。発熱やリーク電流の問題である。

「ムーアの法則」の根本的限界は、シリコン素材のゲート長が5nm以下になると江崎玲於奈博士が発見したトンネル効果により、ゲート電圧の有無に関わらずトランジスタとして働かなくなることだ。しかし、ゲートをヒレ状(FIN)にすることや、チャンネルを全てゲートで包んでしまうような構造(GAA)にすることなどの改良により、5nmより小さいゲート長相当の能力を実現していることになる。さらにシリコン以外の素材も研究開発されており、ゲート長2nm相当まで実用化が進められている。さらに微細化が進めば、今度は原子レベルの限界が到来する。この時には、まさに量子コンピュータの出番になるだろう。「ムーアの法則」はまだまだ健在と思える。

### 3.3 ストレージ指数関数的進化

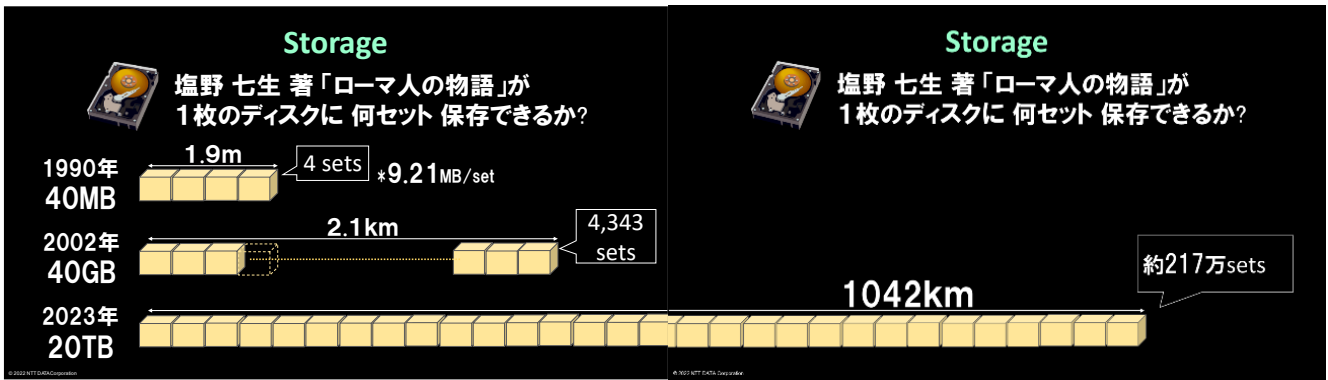
ストレージ（記憶装置）についても指数関数的進化が見逃せない。記憶装置はメインメモリなど様々な種類があるが、ここで論じるのは補助記憶装置である。これにもHDD(Hard Disc Drive) 、SSD(Solid State Drive) 、磁気テープなどがある。

このHDDに塩野七生著「ローマ人の物語」がどのくらい収納できるか検証してみる。

「ローマ人の物語」は1992年から2006年にかけて刊行されており、全部で15巻になり、並べると48cmになる。この全15巻 1セット、1文字2バイトとして9MB強のデータがHDDに何セット分格納できるかを計算する。

1990年ごろの代表的なストレージは40MB程度であるので、4セット程度を格納できる。それが2002年には約1000倍、40GBにもなるので、4000セット以上を格納できるようになる。そして2023年ではその500倍である20TBまで拡大した。『ローマ人の物語』全15巻が200万セット以上も格納できる計算だ。これらを一列に並べると、1000km以上もの長さになる。1000kmでは分かりづらいので、仮に東京駅から東海道新幹線の路線上に並べると、名古屋を越え、京都・新大阪・新神戸を越え、広島さえも超えて、なんと新山口駅あたりまで届くことになる。

これに対して、サーバー用のSSD1.6PBでは1億7400万セット、8万3000km以上になる。地球1周が約4万kmであるから、実に地球2周分「ローマ人の物語」が並ぶことになる。まさに驚くべき収容能力である。

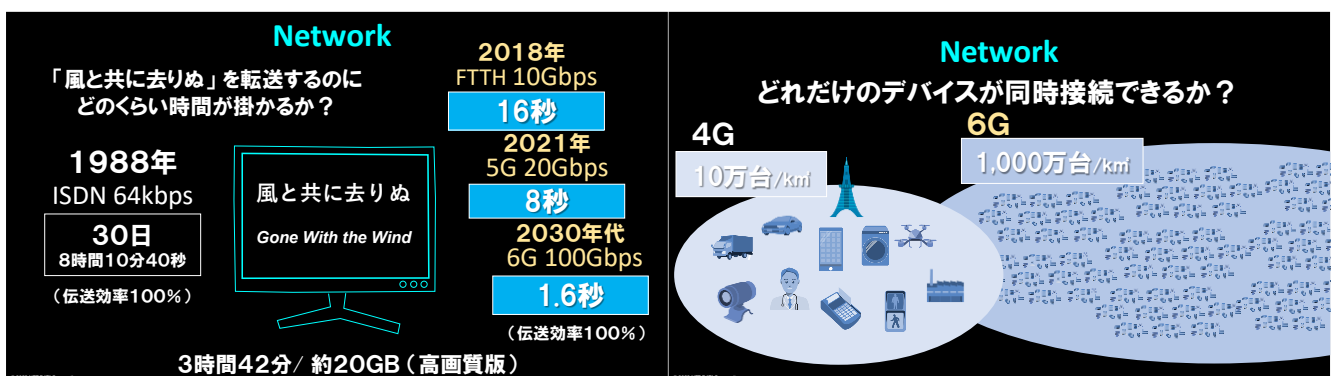


さらに強誘電体メモリ、ナノチューブメモリ、DNAメモリなど、全く異なる原理に基づいた新しい記憶装置の研究開発も進められている。実用化には大きな課題もあるが・・・。

### 3.4 ネットワークの指数関数的進化

ネットワークの指数関数的進化も著しい。私の好きな映画に『風と共に去りぬ』がある。ビビアン・リーとクラーク・ゲーブル主演の超大作である。上映時間が3時間42分もあり、約20GBものデータ量がある。これをISDN（64kbps）で伝送効率100%として送信すると約1か月もかかってしまう。ところが、現在の5G回線（最大20Gbps）ならたったの8秒、そして「ビヨンド5G」と呼ばれる、いわゆる6G回線（100Gbps以上）なら約1.6秒で伝送可能になる。まさに圧倒的な伝送スピードである。

ネットワークの進化は伝送速度が高速になるだけではない。端末の同時接続数も飛躍的に増加する。1km<sup>2</sup>範囲内の同時接続可能数で言うと、4Gの時点では約10万台、5Gになると100万台まで上昇し、さらに6Gでは1000万台という超多数接続に耐える環境が実現する見通しである。



## 4. IOWN構想

このようなネットワークの進化の先にNTTが進めているIOWN (Innovative Optical and Wireless Network) 構想がある。インターネットが扱う通信量はまさに指数関数的な伸びを示しており、これまでの技術では将来行き詰ることが予想されている。さらに最近のAIブームにより消費電力の急増も問題視されている。このような課題を解決するため、従来の電子工学に依存したインフラではなく、光をメインにしたインフラへのブレイクスルーである。いわゆる光電融合技術である。これにより「大容量」、「低遅延」、「低消費電力」を実現しようという構想である。既に実用化が始まっており、4段階に分けて2032年頃には完成させる計画である。はじめはオールフォトネットワークであるが、次はボードとボード間、さらに次はボード内の半導体パッケージ間の接続、そして最終的にはロジック半導体の内部まで光接続するという構想である。

IOWN1.0 (DC to DC)	オールフォトネットワーク(APN)のサービス
IOWN2.0 (Board to Board)	サーバ内部のボードとボードの間の接続に光を利用
IOWN3.0 (Package to Package)	ボード内の半導体パッケージ間の接続に光を利用
IOWN4.0 (Die to Die)	演算処理を行うロジック半導体の内部まで光接続を利用

従来通信技術

エレクトロニクス (電子工学)

● 発熱、高消費電力  
● 通信帯域、速度に限界あり  
● 演算能力に限界あり

IOWN構想

エレクトロニクス (電子工学) + フォトニクス (光工学) = 光電融合技術

● 低消費電力  
● 大容量、高速、低遅延  
● 演算能力の向上

IOWN  
INNOVATIVE OPTICAL WIRELESS NETWORK

『大容量』、『低遅延』、『低消費電力』の実現

- ・ IOWN1.0 オールフォトネットワーク(APN)のサービス
- ・ IOWN2.0 サーバ内部のボードとボードの間の接続に光を利用
- ・ IOWN3.0 サーバのボード内の半導体パッケージ間の接続に光を利用
- ・ IOWN4.0 演算処理を行うロジック半導体の内部まで光接続を利用

## 5. 結び

インターネットの原点であるARPANETが誕生してから50年以上が経過し、この間、ITの3大要素技術は指数関数的進化を続けている。2022年にChatGPTが火をつけたAIブームはますますその力を増しており、ガバナンスに対する要望も強くなっているものの、CPUパワーやストレージに対する要望もこれまで以上に大きくなってきた。まさにシンギュラリティも近いと思わせる。こうしたテクノロジー主導のパラダイムシフトにはELSI (Ethical, Legal, Social Issues) をしっかり意識して進めるべきである。何のために技術開発するのか、社会実装するのかが問われている。