

科学技術の急速な変化に対応した社会システム

1. 目的

科学技術が急速に進展し続けていく状況において、様々な分野での変化のスピードUP化が実感されてきている。このような急速な変化が与える人類社会へ影響とその対応に関するテーマは今後益々重要視されると考えられる。

本検討では、変化の本質や今後注目される科学技術などに着目し、人類が加速度的に変化する時代とどう向き合っていくべきかについて探究することを目的としたものである。

本テーマに関しては、様々な分野の中で今後の議論が深まることを期待するものである。

2. 「科学」・「技術」・「科学技術」の意味

文献調査に基づき、「科学」、「技術」、「科学技術」のキーワードについて以下にとりまとめた。

2.1 広辞苑による意味

① 科学

- 世界と現象の一部を対象領域とする、経験的に論証できる系統的な合理的認識。
- 自然科学：自然に属する諸対象を取り扱い、その法則性を明らかにする学問。

② 技術

- 物事をたくみに行うわざ。技巧。技芸。
- 科学を実地に応用して自然の事物を改変・加工し、人間生活に利用するわざ。

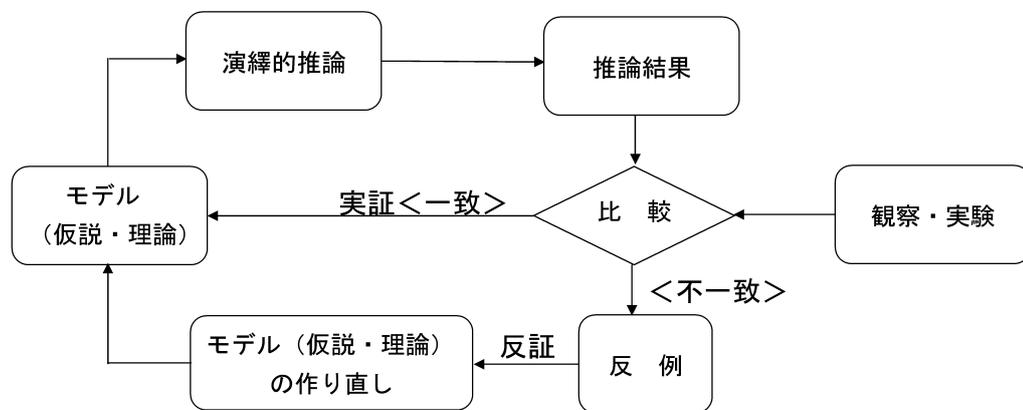
③ 科学技術

- 科学と技術は、近代に至るまで、長らく基本的には別個の活動として、互いに相交わることなく活動が営まれてきたとされている。
- 科学と技術を、純粋な「自然の法則性の解明」と、その現実への「応用」として区別することにそぐわないような状況を生みだしており、また、科学の活動も、高度な技術を用いた実験・観測手段への依存を益々高めてきているなど、現在では、かつてのように科学と技術を截然と区別することが困難になってきていると言われている。

2.2 市川^{いかわあつひ}淳信（東京工業大学名誉教授）が述べる科学と技術

- 科学：実社会を言語世界に写像する活動
- 技術：言語世界を実在世界に写像する活動
 - ・ヒトの生得的な能力を延長する道具を作る活動
 - ・「どんな道具がほしいか」という人の願望は、言語世界に生まれ、技術はそれを実在化する。

- 科学のない時代から、技術は全ての社会に生まれ、発達し、科学が誕生してからはそれと結合して「科学技術」となった。
 - 科学の成立～16世紀初頭（コペルニクスの地動説）
 - 技術の成立～5万年前（現生人類を特徴づける技術の発生）
- 17世紀以降の科学的発見の特徴（モデル検証法）
 - ①ある説が正しいかどうか、実験で確かめる。
 - ②ある説が正しいと思われるとき、その説を使って未知のことを推測する。
 - ③ある説と観察や実験結果とが合致しないとき、その説を捨てて新しい説を立てる。



注) 演繹的推論 : 「××だから、○○である」という論理を数珠つなぎにしていき、結論を引き出す方法。

出典) 「科学が進化する5つの条件」 東京工業大学名誉教授 市川惇信著より

図 1 モデル検証法のフロー図

3. 変化の本質

3.1 科学技術の進化の形態

科学技術には以下の3タイプがあると考えられる。

- タイプ1 : 消えてなくなる技術
- タイプ2 : 底辺に残る技術
- タイプ3 : 進化する技術

これらの3タイプについて横軸を時間、縦軸を科学技術の進化のレベルとしたグラフに表現したものを以下に示す。本論では「タイプ3 : 進化する技術」に着目した。

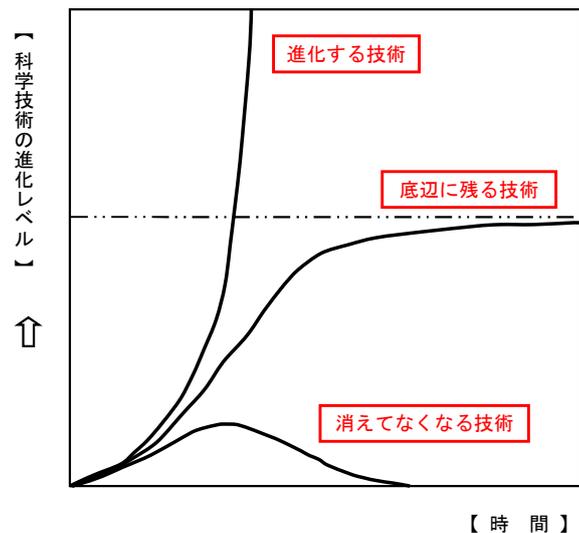


図 2 科学技術の進化の形態

3.2 指数関数的進化の数学的意味

「タイプ 3：進化する技術」の進化の傾向は以下に示す指数関数で表現できると考え、数学的な特徴を把握することとした。

【指数関数の式】

$$y = e^t \quad \frac{dy}{dt} = e^t$$

ここに、 $e = (1 + 1/n)^n \quad (n \rightarrow \infty) = 2.716 \dots \dots$

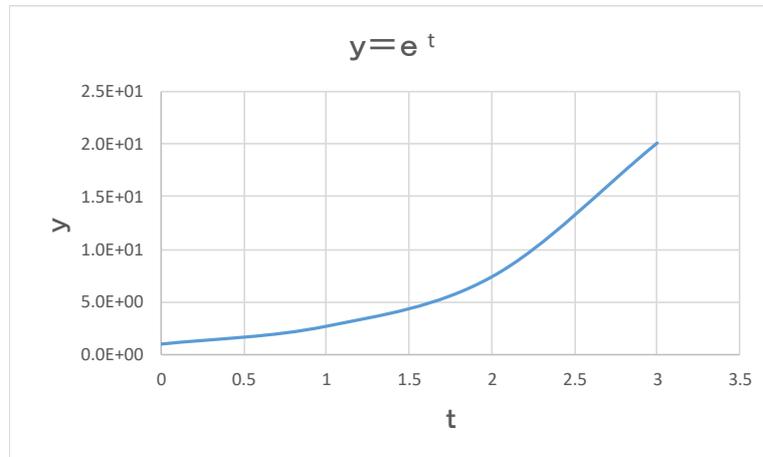
上記の式を使って仮に時間軸（t）の単位を年とした場合、グラフの範囲を 3 年、10 年、30 年の 3 つのパターンで図示したものを図 3 に示した。

これによると、 $t \leq 3$ 年では 2 年目から急激な変化が起こる様子が伺えるが、同じ式で $t \leq 10$ 年のグラフを見ると、2 年目からはまだ急激な変化を示しておらず、8 年を過ぎたころから急激な変化が起こってきている。このような傾向は $t \leq 30$ 年のグラフでも読みとれ、それが将来わたり続くことが容易に想像することができる。

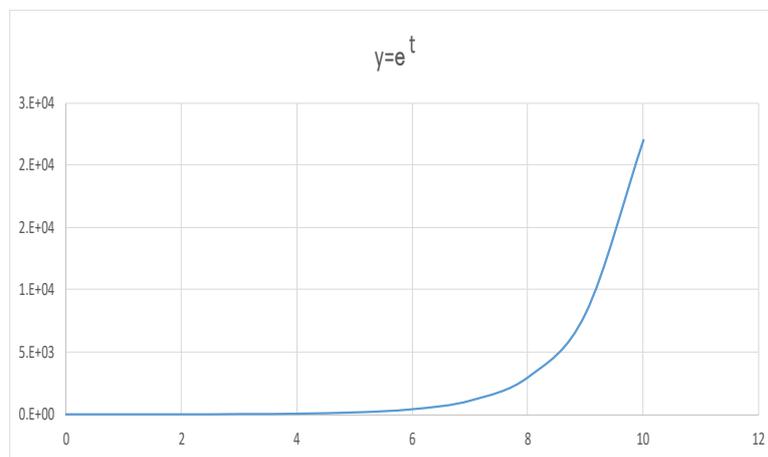
この違いは縦軸の目盛の値がそれぞれのグラフで異なることから生じたものであり、現時点から数年先を見た感覚では急激な変化ととらえられても、その時点から眺めると数年先に同じような変化が起こるように感じることを見事に表している。つまり、指数関数的に進化する社会にとって、数年先の急激な変化というもの、その時点になってみるとさほど変化の度合いを認識しないような状況をこの指数関数が表していることに気付く。

社会の変化が指数関数的に起こっている一例として「IC の集積化」などがあげられるが、指数関数による数学的なとらえ方により、人類が急激な変化というものを理解する上で、一つの有効な手段になると考える。

【 $t \leq 3$ 年】



【 $t \leq 10$ 年】



【 $t \leq 30$ 年】

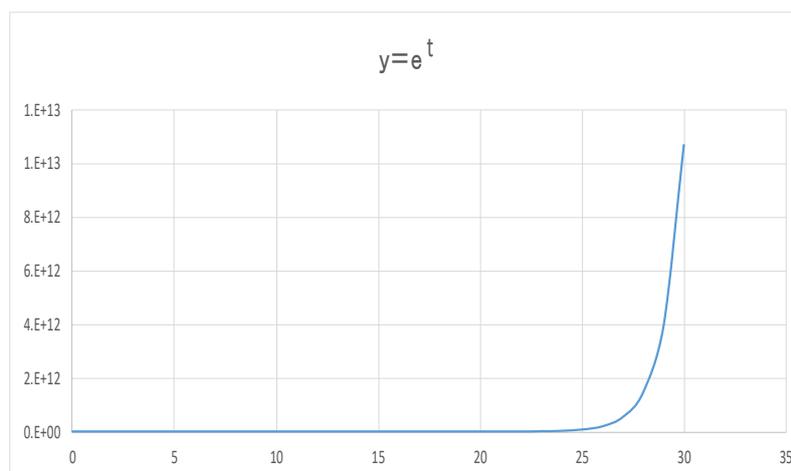


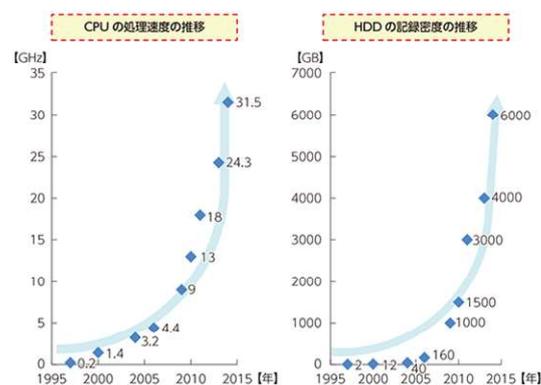
図 3 指数関数的変化の特性

4. 急激な変化が起こる余地

社会における急激な変化というものの認識を新たにしたところで、人類を取り巻く状況の中で、今後、急激な変化が起こる余地がどこにあるのかという点で、代表的な以下のテーマ毎に事例を記載した。

4.1 ICの集積化

- IC (Integrated Circuit : 集積回路)
 - 多数の微細な電子素子 (トランジスタ、抵抗、コンデンサ、半導体等) を一つの基板の上で連結
 - 全体として複雑な処理やデータの記憶を行う。
- LSI (Large-s-Scale Integration : 大規模集積回路) 集積度 : 1000 個~10 万個 H
- VLSI (Very-Large-Scale Integration : 超 LSI) 集積度 : 10 万個~1000 万個
- ULSI (Ultra-Large-Scale Integration : 超 LSI) 集積度 : 1000 万個以上
- CPU の処理速度と HDD の記録密度



【出典】平成 27 年：総務省「通信自由化以降の通信政策の評価と ICT 社会の未来像等に関する調査研究」

図 4 CPU の処理速度と HDD の記録密度

- 2045 年問題 (シンギュラリティ)

ヴァーナー・ヴィンジとレイ・カーツワイルが最初に提示した問題であり、コンピュータ技術が今のスピードで発達し続けると、人類の知能を超える「人工知能コンピュータ」が誕生するとし、それが「2045 年」だと予測されている。

4.2 宇宙進出の拡大

- 惑星探査と地球外生命の発見
- ブラックホールのメカニズム
- 反物質の発見と宇宙の起源の解明

4.3 生命の発生と進化の解明

生命の定義及び主要なキーワードについて以下に示す。

【生命の定義】以下の機能を有するもの。

① 個体を維持する機能（代謝）

材料とエネルギーを外部より摂取して、自らの体を構成する組織を作り出し、これを維持する機能。

② 自己複製

自分自身と同じものを作る機能。

【主要なキーワード】

・ 遺伝子、遺伝情報、DNA、RNA（リボザイム）

・ 生命の年齢：40 億年

（個体の寿命ではなく、遺伝情報が生命誕生から続いている点に着目）

・ 腸内フローラの驚くべき働き

（腸内細菌が放出する成分が脳細胞へ与える影響と様々な病気治療への期待、性格形成への影響、腸壁粘膜に有益細菌を取り込む抗体の働き等）

4.4 原子の世界

下図にヘリウム原子の構造を示す。原子核及び電子の大きさの関係について地球を例にして説明すると以下に示すとおりとなる。

- 原子核：地球
- 電子：ピンポン玉

また、原子核をソフトボール（直径約 10cm）とすると電子の第 1 軌道半径は概ね 3km となる試算が示されており、原子の世界はマイクロではあるが気の遠くなるほどの空間が存在している。

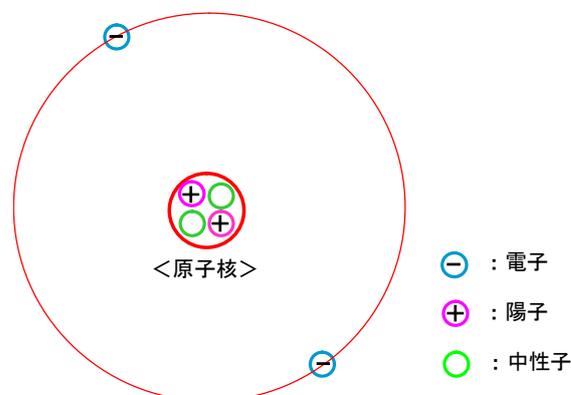


図 5 ヘリウム原子 (He) の構造

4.5 人工知能の進展

「人工知能に負けない脳 茂木健一郎 著」より抜粋した内容を以下に示す。

A) 人工知能の本質と課題

① 人工知能の発達

- コンピュータは自らを改良できるようになる。
- 人工知能の能力のブラックボックス化

② 人工知能は人類最後の発明と言われる。

この「最後」のことばの持つ2つの意味

- もうそれ以上発明する必要がない
- 人類が滅亡する

人工知能が暴走しないようコントロールするかが今後の課題。

B) 人工知能の3つのタイプ

① オラクル型（検索型、質問回答）

検索エンジンなど何かの問いを投げかけると、それに対して人工知能が答えを出すタイプ。

② ジーニー型（課題実行型）

魔法使いのように、こちらが命じたタスクや課題をやってくれるタイプ。

③ ソブリン型（意思決定型）

人工知能が主体性を持ち、自ら意思決定をして様々なことを継続して行っていくタイプ。

C) 人工知能時代チャンスを活かす上での阻害要因

① 権威主義への固執

物事の客観的な事実や本質を見抜くことが重要で、権威主義はそれを妨げるという考え。

② 過去の成功体験

破壊的なイノベーションが次々に起こる現代では、過去の成功体験から抜け出せないことがリスクを高めるという考え。

③ スピード感を持っていないこと

時代の変化に対応し、人工知能時代をより自由で、人間らしく働くチャンスをとらえる必要があるという考え。

5. 今後の論点

5.1 急速な変化のメカニズム

新たな技術開発が、科学における新たな発見を生み出す。その変化のスピードは人間（脳）の予想を上回る速度で、かつ広範囲な分野で、人類社会への変化をもたらすと考えられる。

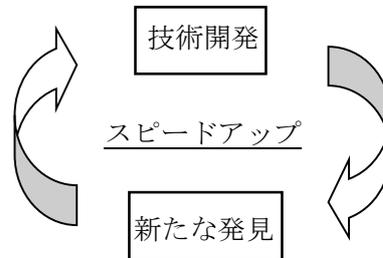


図 6 急速な変化のメカニズム

また、科学の発見が今後爆発的に起こる要因として、以下の点が考えられる。

- 知見が増大することにより、その組み合わせ数がねずみ算的に拡大すること。
- 新たな科学の発見につながる高度な技術的ツールが次々と登場すること。

5.2 科学技術における進化のスピードアップ化が起こる背景

① 国際社会が抱える課題の深刻化

- 迫られる地球環境問題への対応
- 人口増加と食糧問題
- エネルギー確保の安定化及び信頼性向上
- 大国間の覇権争いによる国際社会の不安定化
- 国際紛争の激化（地域紛争、テロ）

② 我が国におけるニーズの多様化・広範囲化

- 求められる「産業構造の変化」への対応
- 製造業中心の構造からの脱却（新たな雇用確保の戦略）
- 長寿命化社会における病気克服と健康志向
- 観光立国としての適応
- 地域再生・地域振興

③ 社会を支える技術の発展

- 情報通信ネットワークの整備と IT、IOT の進展
- ビックデータ活用環境の整備（治安維持、災害対応、新たなビジネスモデル）
- 生命科学や遺伝子工学の進展（IS 細胞による組織再生、免疫治療、品種改良）
- ロボット工学の進展（介護支援、災害時の復旧支援、深海探査、宇宙探査、防衛）

5.3 拡大する急速な変化への対応

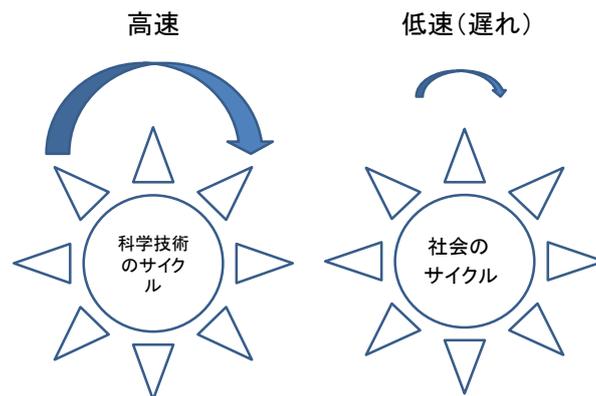
① 科学技術の変化のサイクル

ステップ1：様々な要素技術の組み合わせにより新たな技術を生む

ステップ2：新たな技術によりさらなる科学的真理の発見

ステップ3：新しい科学的真理から新たな要素技術が生まれる

② 科学技術における変化サイクルと社会システムとの不適合性



③ 科学技術と社会システムの不適合性の理由

- 急激な変化を望まない国民
- 経済的理由（既得権を簡単に捨てられない）
- 応用習熟に要する時間
- 適応すべき対象が見つからない（問題意識の欠如）
- 技術のライフサイクルの短縮化（陳腐化の速度が速く、普及前に新しい技術が取って代わる）

④ 隙間を埋める方策

- ① 科学技術の発見を一旦バッファに収納する機能
- ② バッファに溜まった多方面の知識、技術の組合せ
⇒新たな価値の発見
- ③ 過去の知識、技術の復活発見（他分野への応用）
（例えば、動物に動きをまねたロボット開発）
- ④ 多方面の技術融合
- ⑤ 科学技術に対する社会ニーズの多様化、広域化への対応
- ⑥ 多様な教育制度（年齢、性別、社会的地位等の差別化なし）
- ⑦ ヒューマンインターフェース（感性与 AI との結びつき）の重要性

6. 残された課題

- 科学技術の絶え間ない発見が起こる世界において、人間としての価値観をどこに置くべきか
- 多くの情報に囲まれる中で、知識を体系的に得たわずかな者が勝利する世界になるのか
- 専門分野の多極化（一つの専門分野のみでは評価されない社会）
- マネジメント能力獲得の重要性の増大
- 発見を楽しむ社会の到来
- 進化する科学技術と向き合うすべは、進化する人間の感性であり、科学技術とのヒューマンインターフェースの理解と構築が重要か

【参考文献】

1. 広辞苑
2. 科学が進化する5つの条件 : 市川惇信著
3. まだ科学で解けない13の謎 : マイケル・ブロックス著
4. 人工知能に負けない脳 : 茂木健一郎著
5. 平成27年：総務省「通信自由化以降の通信政策の評価とICT社会の未来像等に関する調査研究」