

# 科学技術の進歩と社会の変化に就いての考察

## A Consideration on the Progress in Science and Technology Related to Social Changes

(1990年4月9日受理)

藤田 宏明 藤原 恒昭  
Hiroaki Fujita Tsuneaki Fujiwara

**Key words:** 科学技術, 社会変化, 半導体

### 1. はじめに

繁栄のためには技術が必要であるが、技術は科学とあい携えて進歩し、新しい製品と新しい産業社会構造を作りだす。科学技術の進歩は社会を揺り動かして人々の行動規範にまで影響を及ぼすのみならず古い社会の枠組みをその根底から「創造的破壊」させる力を持つ。特に情報に関する技術が社会の変化に与える影響力は大きい。現代はその重要な変化の時期なのではないだろうか。人類はその様な変化を過去にも何度か経験したが、最近のそれは、変化の速度が益々加速されている上にマグニチュードが大きいことが特徴である。最近の変化を振り返って、科学技術の進歩が社会の変化に影響を与えている様子を考察したい。

### 2. 繁栄と技術

個人でも企業でも、また民族や国家でも、繁栄する時はよく働くだけでなく、技術を持って付加価値の高い製品・サービスを提供している時である。

産業興隆の鍵となる技術は時代によって変遷があるが、古くから何千年と続いたのは農業時代の農業技術であり、近代の産業革命以後は工業技術がこの役割を果たしてきた。最近はこれらに加えて情報技術がクローズ・アップされている。

第2次世界大戦後の日本では、絶対的物不足の中で、石炭、電力、鉄鋼、肥料などの基幹産業が重点的に復興された。その後繊維産業や機械工業へと復興の輪を広げていった。その過程で必要だったのは投資と共に技術であった。日本の諸企業は欧米の最新技術を積極的に導入した。

1970年代の二度の石油ショックを経て産業界は大きく様変わりした。高度成長時代は終わりを告げ、エネルギー消費が小さくソフトで付加価値の高い産業へとシフトする形で産業界の再構築(Restructuring)が行われ現在も進行している。同時に情報を事業目的や経営戦略の中に取り込んでいこうとする企業が増えている。家庭電気製品などのように製品そのものに「知能」を持たせて改良しているものもある。機械工業、化学工業等、全ての製造工業では製造工程を「システム化」して無駄を省き、多様な個別ニーズに応じながら製品の性能と品質を向上することが行われている。洗剤や化粧品などの家庭消費物資の製造企業では生産と流通の過程をきめこまかく情報で管理することによって、最新の需要動向に即応しながら無駄を省いている。そのために各小売りと工場を通信回線で結びネットワーク

を構築している。運送業は家庭から家庭へ短日時に配達するようになった。しかも荷物が今どこにあるのか追跡できるシステムを構築している。企業に対する運送サービスは、顧客企業に端末機を設置して端末から依頼事項を入力すれば運送から請求まで一貫処理されるようになってきている。銀行や証券会社などの金融機関では顧客企業、将来は家庭に端末機を設置して照会や取引ができるサービスを始めている。大手の鉄鋼、造船、繊維などの製造企業では、殆どの企業が昔からの「本来」の事業に加えてソフト開発や電子部品の製造を始めている。これらはエネルギー危機という外的環境の変化への対応策として行われたものではあるが、同時に「情報化」という新しい時代に順応する動きでもあった。ここでも各企業は新しい技術を必要とした。企業内部の蓄積により、あるいは外部の研究成果を積極的に取り入れることによって必要な技術を獲得している。企業間で技術相互補完の提携や合併会社設立が盛んに行われている。いずれの方法にしても、必要な技術を獲得した企業のみが勝ち残るのが産業界の宿命である。

技術が製品やサービスという「売りもの」を通して企業、産業界ひいては社会全般を揺り動かすものである限り、製品やサービスに商品としての寿命があるように、技術も

#### 勃興－隆盛－普及－衰退

というライフ・サイクルをもつ。画期的な新技術を製品化して世に出すと、人々は新鮮な驚きを感じる。しばらくは先発者優位の時期が続く。やがて後発企業が追い付いて続々と市場に参入する。広く普及すると「当たり前」になると共に競争が激化し価格競争の時代に入る。もはや旧技術による旧製品となり、新技術による新製品にとって代わられる。技術と製品の衰退は普及と競争による陳腐化によるか、原料の枯渇や市場の選択傾向の移り変わりによる場合もある。いずれにしても、一つの技術と製品が永遠に生き続けることは稀である。ライフ・サイクルは数十年という長い期間でとらえることもできるし、数年ごとあるいは毎年製品が生まれ変わるという見方もできる。進歩と競争が激しいか緩いかによっても異なるが、モデル・チェンジを「新製品」と見るかどうかによっても見方が異なる。コンピュータ業界は技術進歩が急速で競争が激しく、数年たてば前の製品はひどく古めかしく思える産業分野の一つである。各企業としては当然のことながら、最新の技術進歩から目を離してはならないし、新技術開発への投資を怠ることができない。その中で働く人々はいつも新しい技術を追い続けなければならない。そうしないと競争に遅れをとってしまうからである。企業に主眼を置いて述べてきたこれまでのことは、個人にも民族、国家にも当てはまることである。

### 3. 科学と技術

人類は「ほんとうのことを知りたい」という本能的欲求を持っている。そしてわかったことを祖先から子孫に伝える。この真理探求と世代間伝承によって人類は今日の文明を築き上げたのである。科学技術は、試行錯誤を経て発見と発明をし、世代から世代へと継承し、その積み重ねの上に新しい発見と発明が行われることによって進歩してきた。原理としての科学と応用としての技術との関係は、一般には原理が先に発見されその応用が技術となると思われるが、現実には前後逆になることも有り得る。大切なことは科学と技術があい呼応して進展することである。科学だけが先行して技術が伴わなければ実益をもたらさないし、技術だけで科学がないと発展性の乏しい伝承と試行錯誤の連続に終始するであろうから。

20世紀後半の科学技術はコンピューター、原子力利用、宇宙開発、生命科学などによって特徴づけら

れる。しかしここに至るまでには、過去の偉大な積み重ねがあった。その積み重ねの上に新しい発見と発明がなされ、これからも進歩し続けるであろう。その様子をコンピューターを例にとりて、科学と技術の進歩が製品の進化を促し製品の進化が社会に影響を及ぼす相互の関連性を、代表的なものだけをかいつまんで見ることにする。

コンピューターを技術的側面から眺めるとき、色々な見方ができる。例えば次のようにである。これらが代表的な見方の全てではないが、

- (1) 電気、磁気を応用した計算や作表などをする機械として。
- (2) 演算回路や記憶の技術の面から。
- (3) ディスプレイ、印刷、磁気テープやディスクなどの周辺装置それぞれの技術。
- (4) 通信回線ネットワークと分散処理の技術。
- (5) プログラミングからシステム設計までを含むソフトウェア技術。
- (6) 多様なメディアを含めた情報処理の概念とその具体化の面から。
- (7) 用途から見たコンピューターの種類分けとその技術的側面。

これらのどれを取り上げてもそれぞれに幅広く奥深い内容を含んでいる。それらを全部述べることは困難であるし、その必要もない。ここでは最近よく話題になる(2)の演算回路や記憶素子に使われる半導体の技術について、一般常識の程度の範囲で、極く簡単に述べる。

一昔前まではコンピューターと言えば、冷房した特別の部屋に威容を誇るかのように大きな姿で設置されていたのである。最近では性能の向上に反比例するように形が小さくなっている。パーソナル・コンピューター(パソコン)が世に出たのは1970年代の終わり頃であった。1980年代にはビジネスマンが持ち運ぶ書類鞆のようなラップトップ型パソコンが出現し、最近ではブック型やノート型のパソコンが出来た。形は小さくても昔の大型コンピューターなみの機能を備えている。しかも値段は個人で買える程度になった。どうしてこのようなことができるのか。その秘密は何なのか。その問いに答えるのが半導体素子技術の進歩である。

半導体とは何か。地球上には約90数種類の元素があり、その組合せで色々な有機物や無機物ができているのであるが、その中には金属のように電気を伝える伝導体物質とゴムやガラスのように電気を伝えない絶縁体物質とがある。半導体は元々伝導体と絶縁体の中間程度の電気抵抗を持っている上に、条件によって電気抵抗が変わる性質を持っている。低温(絶対零度近く)に保つと半導体は電気を伝えないが、室温程度にすると電気をいくらか伝える。このように外部から与える熱、電圧、光などの刺激によって敏感に変わるし、半導体の純粋結晶の中にわざと混入させる不純物の量などによっても変わる。このような性質を持つ物質の例としてシリコン(珪素)やゲルマニウムなどの他、ガリウムヒ素のような化合物なども含めて、かなりの種類の物質がある。珪素は砂や岩石の主成分で、そこらにいくらでもある<sup>1)</sup>。

この珪素がどうやってコンピューターの頭脳の中核になり得るのだろうか。「お守り」ではないから解剖しても罰はあたらぬ。製品が壊れるだけである。コンピューターを「解剖」すると黒っぽいプラスチックに覆われ、むかでのような足を持った物が出てくる。その皮をむくと1ミリないし3ミリ四方ぐらいの白銀の切片のようなものがある。これが保護皮膚でおおわれたシリコン・チップの正体である。

その中に何十万、何百万という素子があり、それらを結ぶ回路が作り込まれているのである。

昔といっても30年程前のコンピューターでは、演算回路素子として真空管が、記憶装置の記憶素子として磁気コアが使われていた。それらが導線で連結されて回路なり記憶装置なりを構成していた。それらが今では小さな半導体のチップに組み込まれた集積回路によって置き換えられた。これによってコンピューターは物理的には小さくなり、性能は向上し、消費電力は少なくなり、故障は減り、しかも値段は安くなった。良いことづくめである。半導体集積回路の御利益を受けたのはコンピューターだけでなく、家庭電化製品、電卓、カメラ、時計、自動車、航空機、工作機械など枚挙にいとまがない。

1948年に半導体でトランジスターを最初に作ったのは、米国ベル研究所のショックレイその他の人達である。最初のトランジスターは壊れ易く扱いにくいものであったが、その後研究が進んで殆ど故障しない安定したものになると共に、素子密度は急速に高まっている。密度が高まると共に、性能、信頼性、コストが益々改善されている。種類としても、演算などの論理を組み込んだもの、一時的記憶のためのRAM(Random Access Memory)、恒久的記憶のためのROM(Read Only Memory)、光を電流に変えたり電流を光に変えたりするものなど、色々な種類の半導体集積回路が研究され作られている。そのために、色々な精密な技術(例えば光技術)が駆使されている。

初期の1950年代には、トランジスターとダイオードをそれぞれ作って、基盤上に配置してそれらを配線ですなで回路を作っていた。現在はせいぜい数ミリ四角くらいの小さなチップの中に、たくさんのトランジスターやダイオード、抵抗等が作られ配線も組み込まれている。これが半導体集積回路である。

では、その半導体集積回路はどうやって作るのか。色々な作り方があるのでシリコンの場合で見よう。まずシリコンの純粋結晶を作る。これに燐とかひ素とかの不純物を入れて、もう一度結晶を作り直す。不純物を混入するのは、それによって結晶中の電子の量を操作するためである。結晶粒子がばらばらの方向に向いているのではなく、きちっと整列するように作る。それは直径が10数センチないし20センチ位の棒状の物体である。これを薄く輪切りにする。これをウェーファという。これを高温で加熱して周囲に酸化皮膜を作る。これに写真彫刻(Photo etching)を施して酸化皮膜に穴をあけたり溝を切ったりする。これをミクロン(ミリの1000分の1)単位の間隔で行う。これに別の不純物、例えばガリウムとかアルミニウムなどを溶かして吹きつける。不純物は酸化皮膜のない所からだけシリコンに入り中に拡散する。不純物を注入された半導体は変わった電気特性を持つ。注入した不純物によって、電子が過剰であったり(N型)、過少であったり(P型)する。N型とP型を接合するとダイオードとなり、一方向にのみ電流を通す整流器の働きをする。N型P型N型またはP型N型P型と三層にすると増幅器の働きをするトランジスターとなる。これらがウェーファ上に、肉眼では見えない程小さな点のように作られる。その点と点の間をアルミニウムなどの金属で接続する。手で接続するのではなく、溶融した金属を蒸気にして付着させ、あとで要らない所を除くのである。P型N型の接合もサンドイッチのように重ねるのであるが、実はこれも蒸着するのである。そこで何層か積み重ねられて厚さが増す。それでも厚さは0.5ミリ以下程度のものである。ウェーファ上のどの場所に何を積み重ね、どこを接続するかをきっちりと指定しなければならない。その回路設計のためにコンピューターCAD(Computer Aided Design)を使う。その結果をフォト・エッチングに入れる。製造過程でごみが付着すると製品がだめになる。そこで超クリーンな部屋で作業を行い、できたらまた酸化皮膜で覆って保護する。このような処理を何回か繰り返してできあがる。小さなチップに切断すると、その中にダイオードやトランジスターが入っていて、それらが接続され回路ができ上がっている。この集積回路と外部を接続するリー

ド線を最後に取り付ける。このあと製品検査をして取り扱いの便と保護のためにプラスチックでパッケージにするのである<sup>2)</sup>。

ここで理解して頂きたいことは半導体集積回路は科学と技術の産物ということである。即ち、量子力学を基礎とする個体物理学、高純度結晶の製作技術、精密加工のための光技術、超クリーンな製造環境の設置等、最新の科学と技術を駆使して集積回路は製作されているということである。

## 4. 社会の変化

日本には日本書記、御伽草子に「浦島説話」があり、アメリカにはアービングのスケッチブックに「リップ・ヴァン・ウィンクル」の話がある。どちらもある期間この世から隔絶していた間に、世の中が変わってしまった話である。100年ないし150年前に竜宮城に行った浦島が今日本へ帰ってくれば何と言って驚くだろうか。そんな昔でなくても30年ないし50年前に比べても大きく変わっている。その様子を簡単に表1にまとめてみた<sup>3)</sup>。時代として19世紀、20世紀前半、20世紀後半の3区分とした。

表1 社会と技術

指 標	19世紀	20世紀前半	20世紀後半
先端産業	欧米 鉄鋼、機械、鉄道建設、 日本 絹紡織	自動車、飛行機、 鉄鋼、鉄道建設、	電子、宇宙、バイオ 造船、繊維、車、半導体
農民の人口比	約90%	漸減	10%以下
エネルギー	企業 石炭 家庭 薪炭	石炭、石油、水力発電、 薪炭、電力	石油、原子力発電 電力、ガス
交通・運輸	欧米 幌馬車 日本 徒歩、籠、人力車、船	鉄道、幌馬車、自動車、 全国鉄道網	全米ハイウェイ、飛行機 自動車
情報伝達	一般 新聞 個別 手紙、口頭	ラジオ、新聞 電報	テレビ、ラジオ、新聞 電話
生活	衣食住 家庭に紡織機 食料自給 娯楽 菜種油で照明	紡織工場 食料供給不安定 電気照明 無声映画、トーキー	化学繊維工場 飽食グルメの時代 家庭の電化 多様化
医療	平均寿命 50歳以下	50歳	80歳
政治と国家目標	近代国家の 形を整える	西洋に追い付け 軍事大国	平和と経済 貿易立国
国際環境	ボックス・ブリタニカ 資本主義、帝国主義 力と資本の論理	ボックス・アメリカーナ 共産主義、ファシズムの台頭と没落 利権の衝突	3極構造 解放と改革
科学技術上の進歩	エネルギー不減 電磁気、電球、電信 蒸気船、蒸気機関車 エンジン、自動車 種の起原、遺伝の法則 各種細菌の発見	相対性理論 量子力学、真空管 飛行機 ウィルスの発見	宇宙探険 素粒子物理、半導体 人工衛星 遺伝子工学 分子生物学

注) 指標は本来「社会」という幅広いものであるが、その中から適宜筆者が選択した。項目の設定も筆者の適宜選択による。地域別指定がない場合は日本とする。

このように配列してみると、それぞれの時代の特徴が伝わってくる。それぞれの時代を生きた人々はその時代の最新の科学技術の成果に驚き、最新の時代感覚で生きたのである。19世紀の人々は黒船に驚き陸蒸気に驚嘆した。20世紀に入ってリンドバークが大西洋無着陸横断飛行に成功したのが1927年のことで、世界中を興奮の掛橋に巻き込んだ。20世紀後半には地球の周りを人工衛星が飛び、1969年には遂に人類が月面に降り立った。そして月の岩石を地球に持ち帰った。

世界は途方もなく大きいもの、征服すべきもの、というのが19世紀までの一般的な世界観、地球観であった。アムゼンが1911年に南極を探検するなど、20世紀の前半で人類は大体地球の隅々まで踏査した。20世紀の後半に入った今、自然環境の汚染と破壊を心配し始めている。二酸化炭素や硫酸化物、窒素酸化物による大気汚染、酸性雨、地球の温暖化、森林の減少、事故による放射性物質の拡散、核燃料廃棄物など次から次へと問題が起こる。その度に個別に後追いで、国際的取り決めなどを作って、対策を講じようとしているが、産業に対する抑制となる上に企業や国の利害が絡んでなかなか効果的な対策は立案しにくい。それに第一、廃棄物の質と量が自然環境の汚染と破壊にどのように影響するのか、定量的に正確にはわかっていないし、関連モデルも確立できていないのが現状である。ともあれ、地球は「征服すべきもの」から「保護し管理すべきもの」へと変わったことは確かである。

政治も変わった。19世紀までの政治は先覚者による指導と、大衆の追従であった。19世紀までに欧米と日本で近代的国家が成立した。国際的には資本主義と帝国主義が一体となって低開発地域を侵略したが、これは19世紀までに一巡した。20世紀に入ってから鉄道敷設権や天然資源などを巡って列強が利権争いをしたが、世界の大勢はすでに固まっており、既得権を擁護しようとするにらみをきかず時代に入った。第2次世界大戦を境として「人の心の中に平和のとりでを築く」時代となった。(ユネスコ憲章) 政治に対する民衆のチェック・アンド・バランス、つまり民主化の波は20世紀を通じて世界各地で進行している。今や政治は扉の奥深くで行なわれる「まつりごと」ではなくなり、ガラスの箱の中でのショウと化しつつある。テレビは世界中の出来事を即刻各家庭に伝えるので、何事も隠しておくことが困難となった。フィリピンでもルーマニアでも、革命を起した人達が占領したのはテレビ放送局であった。東欧の人々は衣食住も不自由したろうが、それにもまして求めたのは正確な情報であった。情報によって人々は今の政治に代わる別の政治があり得ることを知った。リストンは「情報は自由を運ぶウイルスである。」と言う。イデオロギーの問題ではなく、情報が如何に公開され伝達されるかによって、政治のあり方も変わるし人々の政治に対する見方も変わる<sup>4)</sup>

家庭や職場や社会的交際の場での人間関係も変わった。19世紀までの家庭には家父長的権威があり、道徳的規律—その内容が儒教的かキリスト教的かという違いは国によってあったにせよ—が家庭生活と社会生活を縛っていた。工業が主要な産業となるにつれ、物に関する規格が標準化されると共に人々の行動規範も標準化された。機械の歯車が噛み合うように、人々の行動の時間厳守が最も重要な規律となった。チャプリンの映画「モダン・タイムス」は非人間的なまでの工業社会的規律を風刺したものであった。この工業社会的規律を中心とする行動規範が、職場から家庭や社交の場へと浸透したのが20世紀前半であった。20世紀後半、特に石油ショック以後、創造性が重んじられるようになり、昔の努力と規律に代わってゆとりと柔軟性を持つ職場が増えている。世相としては、経済的繁栄という背景もあって「おしんの時代」から「るるぶの時代」へと移り変わっている。変化の時代にあって経営者も技術者も「変化への対応」に追われている。その中で、ゆとりをもって遊ぶことはむしろ美德とさえなった。

このような社会の変化の背後に科学技術の進歩があった。半導体集積回路の技術は、コンピューターを小型化しただけではない。コンピューターによる漢字処理や図型処理を可能にした。今後は音声入力や人工知能が実用化されるであろう。それらによって人々の仕事の仕方やコミュニケーションの仕方が変わる。

産業として見た場合、日本の半導体集積回路の生産額は1988年で4兆円の規模である。それ自体小さいが、これをキー・テクノロジーとして使う電子機械、機器の生産規模が21兆円で約4ないし5倍になる。自動車その他の機械製品にも使われて、その性能向上に役だっているから、産業全体の活性化に与えている影響は大きい<sup>5)</sup>。

科学と技術の進歩は、昔ならSFでしかなかった宇宙探検を可能にすると共に、ロマンチックな宇宙観を現実的なものに変えてしまった。エレクトロニクスや原子力を利用するようになり、バカチョン式に便利になった反面人々はその原理を理解することを諦めてしまった(所謂、ブラックボックス症候群)。従って皆で協力して管理体制を敷きようがない。人類は太古の昔から火を使った。しかし燃焼が可燃物と酸素との化合であるという原理を知ったのは18世紀の学者ラヴォアジエ以降のことである。原理を知ってはじめて空気調整、燃焼効率、環境問題など燃焼を取り巻く管理体制について、みんなで考え協力することが可能となった。原子や電子についての原理がよくわからないままに、いつのまにか身の回りをその製品で埋めつくされているのは何と無く不安な気持ちがある。試験管の中で人工受精が行われ、遺伝子が組み替えられたりする。人の生命の尊厳をどう考えたらよいのか。

科学技術が進めば進むほど、一握りの「仕掛け人」と順応し追従する大衆に別れてしまうのだろうか。その「仕掛け人」は誰なのか。政治家も企業経営者も技術者も、最新の時代の変化に遅れをとらないことで精一杯なのだ。人類全体が何かに操られている間に「変化」だけが勝手に進行しているのだろうか。新しい科学技術体系に合った地球規模の新しい枠組みが必要になっている<sup>6)</sup>。それには地球規模の政治のあり方、産業社会構造、人々の精神的枠組み、行動規範の再構築などが含まれる。現代はそれが出来つつある過程なのかもしれない。いつの時代にも変わらないことは、科学技術が産業や製品を通して社会を変え、これに合わせて精神的枠組みや行動規範の体系が作られてきたこと、特に重要な科学の進歩は人々の精神的枠組みの変更を直接に迫るものであったこと、などである。

## 5. おわりに

農業時代には農業を中心とする社会の枠組みがあった。産業革命以後、日本では明治維新以後、工業を中心とする社会の枠組みが急速に作られた。それが今崩れようとしている。社会変革の推進力は科学技術の進歩であった。20世紀の科学技術の進歩は急速でしかも常識的な理解を超えている。それによって推進される社会の変化は、人類の歴史にかつてなかったほど大きなものである。これまでの変化については大体わかったが、これからは何がどう変わるのか。その内容については別の機会に考えてみたいと思う。

## 参考文献

(1) ファインマン、レイトン、サンズ：「ファインマン物理学，V，量子力学」，13章，14章（1988），岩波

書店

- (2) 伝田精一：「入門ICセミナー」(1985), CQ出版社
- (3) 尾鍋輝彦(編)：「世界の歴史 地図・年表・小辞典」(1973), 中央公論社
- (4) Wriston, W. B. : Harvard Business Review, Jan.-Feb., 78 (1990)
- (5) 電波新聞社(編)：「電子工業年鑑1990」, P. 8 (1990)
- (6) トフラー, A : 「第三の波」(1989), 中央公論社