

○弘岡正明 (流通科学大情報)

第9回年次学術大会(1994)で「技術革新のダイナミズムとパラダイム進化」について発表¹⁾し、これまでの研究²⁾⁻⁶⁾の概要をまとめた。これは、過去200年に涉って展開した各種の技術革新の経緯を解析し、経済発展との相関を明らかにしたものである。今回は、21世紀に向けての新しい技術の流れを解析し、21世紀初頭に展開する次世代産業を予測すると共に、顕在化しつつある地球的諸問題を重点的に把握することで、人類の破局を回避して持続可能な経済発展ができるのかどうか検証する。

1. シュンペータの経済学と技術革新パラダイム

技術革新のパラダイムは、図1、2に示すように、発明から約20~30年の潜在的な技術の発展期(技術軌道)を経て、新製品が市場に普及し始め、その後さらに20~30年かかって成熟市場へと展開する。このような技術革新の普及が経済の景気変動を示すコンドラチェフ波の上昇期に集団的に発生し、経済発展の原動力となってきたことが図3で明らかになった。また、各国の景気変動がシンクロナイズしていることが図4で検証された。最近の世界各国の経済成長は、図5に示すようにやはり同期しており、現在、アジアN I E S, A S E A N, 中国と若干の位相のずれはあるものの、すでにそのピークは過ぎている。世界のエチレン生産計画は需要のロジスティック曲線より大きく上方にずれしており、2000年には大幅な設備過剰に陥るものと予測される。

2. ハイテク産業の技術軌道と21世紀への展開

技術革新の成果として、新製品が普及する状況がロジスティック曲線で表わされることが確認されたが⁴⁾、その前に約20~30年の技術発展の潜伏期がある。現代のハイテク産業の基盤を支えている技術軌道を図7に示した。これらは1950年代に立ち上がり、1970年代にすでに成熟化して、それらの製品が普及期に入っていることを示している。今日のハイテク産業はこれらの技術軌道を基盤に成り立っている。さらに、図に示した新しい技術が芽生えている。これらの多くは1980年代に立ち上がってきた各種の新しい技術であり、2000年から2010年にかけて成熟するものと思われ、次世代産業のコア技術になるものと考えられる。これらの技術は、シリコン半導体とは異なる超格子の量子効果を利用した分子素子であり、従来の大腸菌などの生体の助けを必要としない、in vitroに任意の蛋白質や高度な高性能高分子を作る蛋白工学、分子レベルで厳密な構造制御が行なわれる精密重合高分子、ナノセラミックス、スーパーメタルなどの技術軌道で

ある。これらの新しい技術軌道は分子・原子レベルで厳密な構造制御が行なわれる点で共通する特徴がある。これらの技術軌道は現在のハイテク産業の基盤技術の進化したものであるが、さらに後述するような各種の新エネルギー技術が同時に立ち上がってきている。これらの各種の技術軌道は、2000年から2010年頃に実用化に向けて各種製品が開発され、それらの普及が2030年頃に成熟化して、コンドラチェフ波がピークに達すると考えられる。現在は1990年のバブル崩壊以来、コンドラチェフ波は下降期に入っているが、デジタル化、光ファイバーによるマルチメディアの進展が始まっており、この光エレクトロニクスISDN技術革新の普及が2015～20年の完成をめざして展開しようとしている。この普及を契機に、上記各種の技術革新パラダイムが、図8に示すように、2030年頃をピークにしたコンドラチェフ波を形成するものと考えられる。

このように、現在基礎科学として芽生えてきている各種の基盤技術は、その技術軌道の完成が2000～2010年頃であり、それから製品普及が始まるのであるから、今行なわれている研究の成果が付加価値を生み出すのは、いまから10年前後、場合によっては15年も待たねばならない。このような長期の潜在期間をどのように耐えるかが企業の課題となる。これまでの歴史を振り返ってみると、技術軌道の立ち上がりの期間では、大学での基礎研究が大きな役割を果たしており、産学共同の体制に成功した国が、その普及期に主導権を握ることができる。図9はドイツの染料工業発展の経緯を示したものである。ドイツがなぜ世界の主導権を握ることができたのか。当時のドイツは産業革命以来、産業展開において英国に遥かに遅れていたのであるが、大学での有機化学で実力が貯えられていたのが幸いして、政府の積極的な支援政策にも支えられて、産学共同体制が大きな役割を果たした。1940年代のコンピュータの開発においても、アメリカでの大学の役割が決定的な意味を持っている。IBMはペンシルバニア大学、ハーバード大学などの各大学での研究成果に支えられ、また手厚い政府の資金援助でようやく成功したのであり、世界制覇を達成したのである。21世紀に向けての各種技術軌道の開発には、どうしてもこのような産学共同の体制と政府の積極的な支援が必要である。

3. 地球的諸問題と成長の限界

1972年に「成長の限界」が発表され、ローマクラブの警告が大きな反響を呼んで以来、石油ショックによるエネルギー問題への危機意識も重なって、積極的なエネルギー対策が試みられてきた。しかし、石油の価格が低下し、危機意識が薄らぐにつれて再びエネルギー消費が増大に転じ、大量消費時代が続いている。あれから24年の歳月が過ぎたが、地球的諸問題に対してほとんど実質的な対策が講じられていない。ローマクラブの警告から20年後に、同じ著者のMeadowsらが「限界を超えて」を発表し、もはや幾つかの問題はオーバーシュートして、対策の限界を超えてしまったが、来るべき破局を回避することは可能であるとしている。今回の「限界を超えて」に示された地球諸元のシミュレーションの結果を図13に示したが、2020～2030年頃に石油、その他の資源の急速な減少から、工業生産

の大幅な落ち込みが始まり、2030年頃には人口も減り始める。2040年頃には環境汚染がピークに達し、本格的な破局が来る。エネルギー資源の今後の需給予測では、2020年頃から石油、天然ガスの需給がタイトになり、2070年までに完全に枯渇してしまうとされる。2000年から2020年の間に再生可能エネルギー資源の開発ができないと、この破局を回避することができなくなる。

科学技術庁では、5年おきに将来の技術予測を行なっているが、1992年に行なった「2020年の科学技術」と題するデルファイ法によるエネルギー開発の技術予測では、図10、11、12に示すような実現時期の予測がなされている。技術予測は質問事項の技術が西暦何年頃実現するかとの質問に答えるものであるが、このSカーブは、その予測年代を使って技術軌道および製品普及の展開がどうなるのかを筆者らの分析手法によって表現したものである。これまでの予測は常に実際よりも早めであり、楽観的な色彩が濃い、特に技術軌道に対し普及のSカーブが早めに立ち上がっている、実現時期はかなり遅れるとみななければならない。これらの予測では、各種のエネルギー開発は2005年頃から2030年頃までに実用化し、普及するとの予測であり、ローマクラブやエネルギー資源の需給予測の動向とうまく一致して、代替エネルギーの開発が進展することになる。しかし技術予測はこの予測値よりもかなり遅れるものと考えなければならないので、需給のタイト化は避けられないのではないかと思われる。

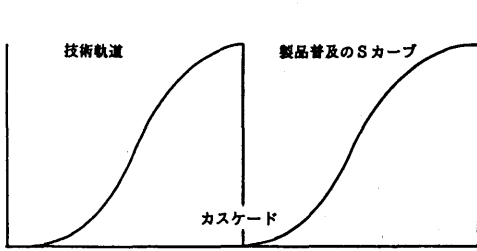
4. 持続可能な経済発展に向けて

すでに地球環境が急速に悪化しつつあることは誰も異論がないのであるが、具体的な対策は何一つ講じられていないのが問題である。それは、低開発国における人口増加と先進国における経済成長が止まらないという二つの罫から脱出できないことだとMeadowsらは指摘している。また、資源のリサイクル、環境対策が大きなビジネスになるような錯覚があるが、エントロピー増大の法則に逆らって行なうクローズド化は、誰かがそのコストを払わなければならないマイナスの付加価値を生み出すものであることを十分認識する必要がある。

参 考 文 献

- 1) 弘岡正明、「技術革新のダイナミズムとパラダイム進化」、研究・技術計画学会、第9回年次学術大会、2C4，亜細亜大学、10月30日（1994）
- 2) 弘岡正明、化学経済 40 14（1993）
- 3) 弘岡正明、「技術革新のパラダイムと景気循環」、国民経済雑誌、169 [2] 57（1994）
- 4) M.Hirooka & T.Hagiwara, "Characterization of Diffusion Trajectory of New Products in the Course of Technological Innovation", Kobe University Economic Review, 38 47（1992）
- 5) 弘岡正明、化学経済、41 25（1994）
- 6) 弘岡正明、プラスチックエージ、41 [4] 119（1995）

図1 技術革新のパラダイム



1. 技術革新パラダイムは多数の発明の集団
有限のタイムスパンの間に分布——技術軌道
2. 複数の技術革新パラダイムが集団化してクラスター形成
200年間で4つのクラスター
3. 技術軌道と製品普及のSカーブ(ライフサイクル)がカスケード

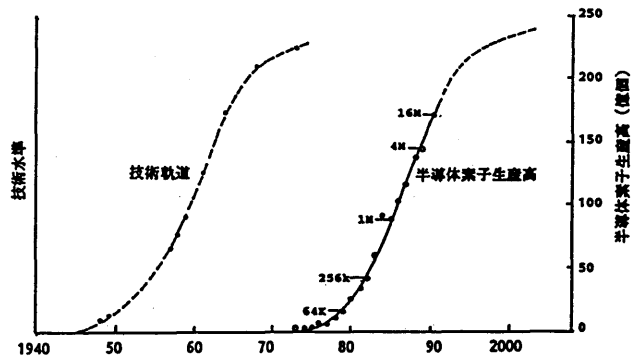


図2 エレクトロニクス技術軌道と半導体素子の製品普及

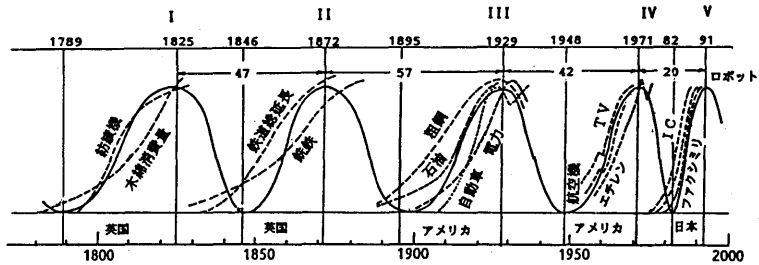


図3 コンドラチェフ景気循環と技術革新普及の相関

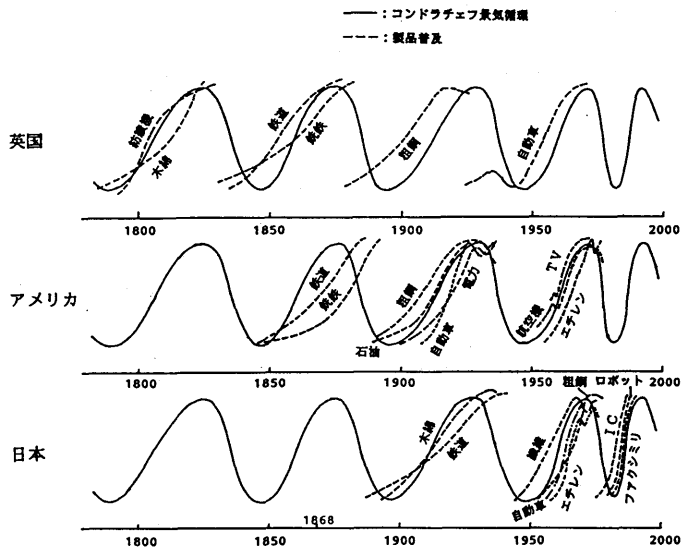


図4 技術革新普及とコンドラチェフ景気循環上昇期の同期現象

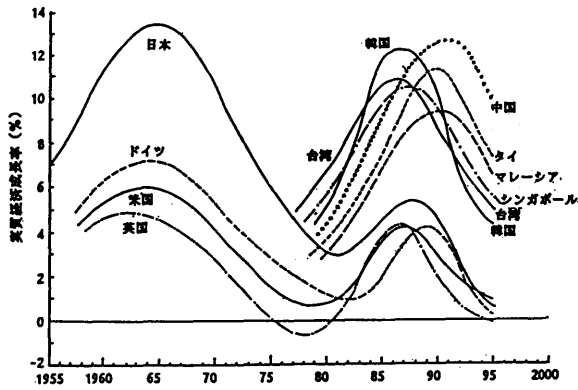


図5 世界各国の経済成長の動向

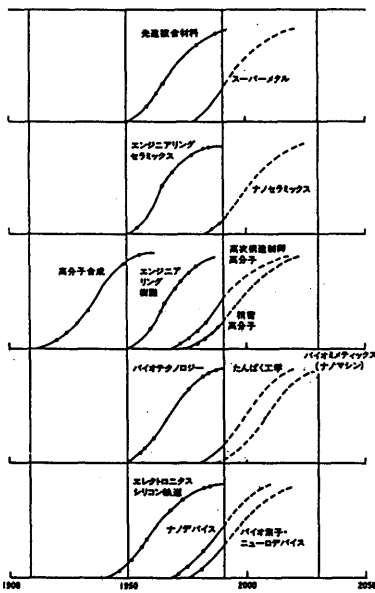


図7 ハイテク産業の技術軌道

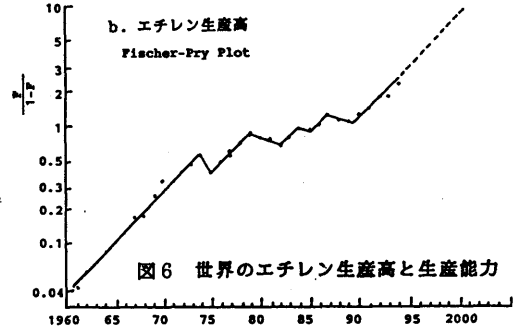


図6 世界のエチレン生産高と生産能力

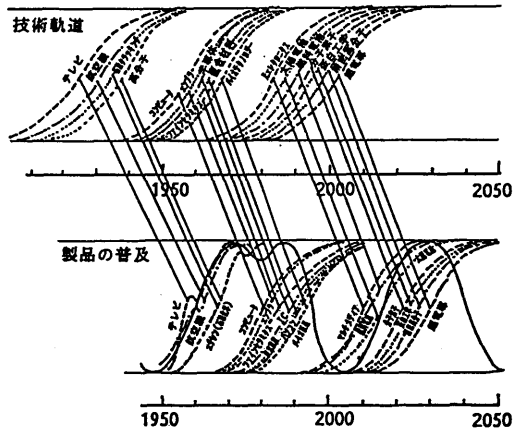
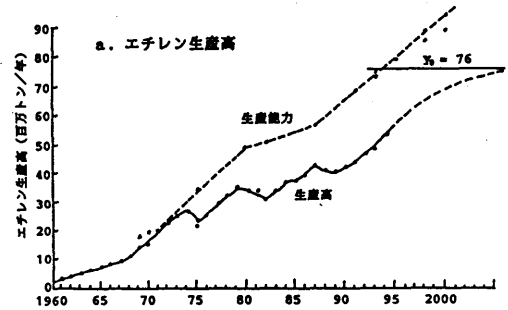


図8 技術軌道と製品普及の相関
- 21世紀への展望

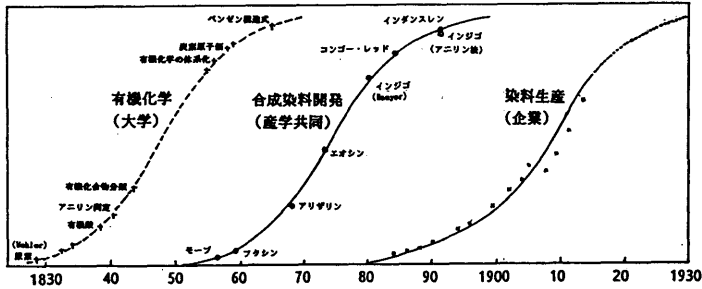


図9 ドイツ染料工業発展の承継

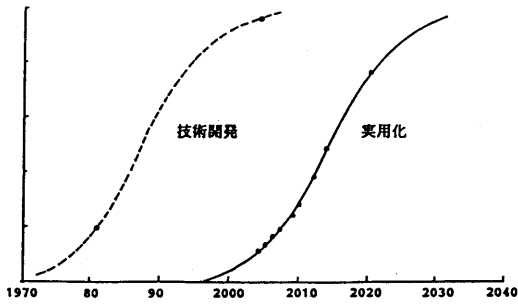


図10 太陽電池の技術革新パラダイム

資料：科学技術庁、技術予測「2000年の科学技術」（1992）の数値使用

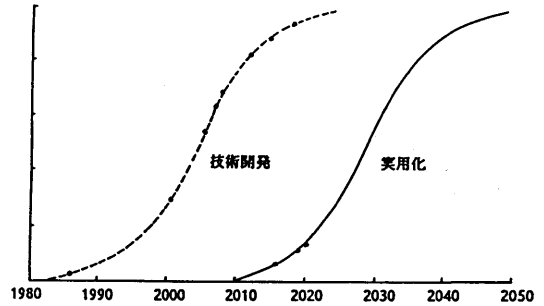


図11 超電導の技術革新パラダイム

資料：科学技術庁、技術予測「2000年の科学技術」（1992）の数値使用

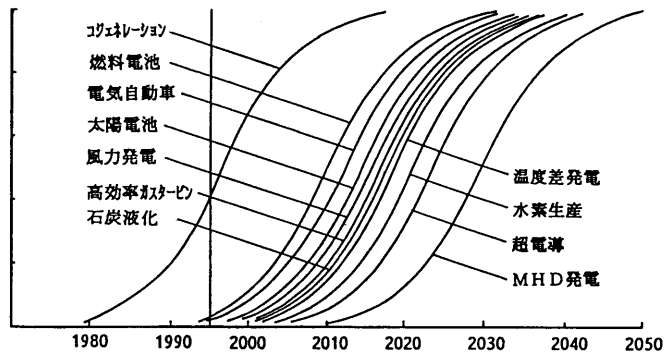


図12 エネルギー関連技術の実用化予測

資料：科学技術庁、技術予測「2000年の科学技術」（1992）の数値使用

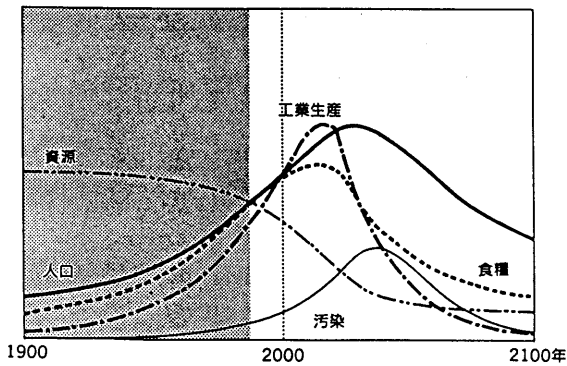


図13 地球諸元の推移

資料：Meadowsら「限界を超えて」（1992）

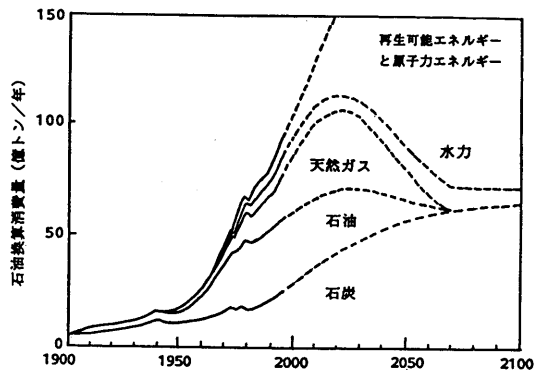


図14 世界の一次エネルギー消費量の変遷

資料：依田 直、電力中央研究所（1996）
WECなどより作成