

# イノベーションの進化に関する研究

仮説Ⅰ 「イノベーションには2つの変曲点が存在する」

仮説Ⅱ 「指数関数的に進む萌芽時代では科学技術がイノベーションを先導するが、成長時代では人間社会がイノベーションを減速させ、その後の社会変化がイノベーションをさらに減速させる」

村 山 博\*

## 目 次

- 1章 はじめに
- 2章 イノベーションの萌芽時代、成長時代、絶滅時代
  - 2-1 萌芽時代から成長時代へ転換する変曲点A
    - 2-1-1 グラフェンのイノベーションの変曲点A
    - 2-1-2 神経伝達物質のイノベーションの変曲点A
    - 2-1-3 仮想通貨のイノベーションの変曲点A
    - 2-1-4 レーザー顕微鏡のイノベーションの変曲点A
    - 2-1-5 ナノクリスタルのイノベーションの変曲点A
  - 2-2 成長時代から絶滅時代へ転換する変曲点B
    - 2-2-1 チタンのイノベーションの変曲点B
    - 2-2-2 タングステンのイノベーションの変曲点B
    - 2-2-3 アルミニウムのイノベーションの変曲点B
    - 2-2-4 ニッケルのイノベーションの変曲点B
    - 2-2-5 シリコンのイノベーションの変曲点B
    - 2-2-6 クロムのイノベーションの変曲点B
    - 2-2-7 パラジウムのイノベーションの変曲点B
    - 2-2-8 コバルトのイノベーションの変曲点B
    - 2-2-9 マグネシウムのイノベーションの変曲点B
    - 2-2-10 バナジウムのイノベーションの変曲点B
- 3章 成長時代における人間社会の役割
  - 3-1 人間社会に適合するためのグラフェンの用途開発
  - 3-2 人間社会に適合するための神経伝達物質の用途開発
- 4章 萌芽時代主導イノベーションと成長時代主導イノベーションとの比較
- 5章 考察
  - 5-1 何故、イノベーションには2つの変曲点が存在するのか
  - 5-2 何故、人間社会はイノベーションを減速させるのか
  - 5-3 何故、人間社会はイノベーションの変曲点を決定するのか
  - 5-4 何故、イノベーションは科学技術と人間社会の積になるのか
  - 5-5 何故、科学技術の先進性よりも、多様性が優先されるのか
  - 5-6 何故、イノベーションに寛容な人間社会の構築が必要なのか
  - 5-7 何故、健全な人間社会がイノベーションを掌握すべきなのか
- 6章 まとめ

---

\* 本学経営学部教授

キーワード：イノベーション、変曲点、指数関数、地政学リスク、グラフェン

## 1章 はじめに

企業は永遠には存在できず必ず終焉を迎える。日本航空、シャープ、三洋電機、千代田生命保険の例を持ち出すまでもなく、万人が認める優良企業が急に見るも無残な事態に陥ることは公知の事実である。経営者は企業を存続させるため様々な手段で企業の延命を図る。その最も有効な手段がイノベーションの活用である。企業経営は、老化する企業に対してイノベーションを駆使して延命させる営みである。

成長する企業の研究開発費<sup>1)</sup>は、衰退する企業に比べ桁違いに大きい。巨額な研究開発費は、イノベーションの起爆剤として使われ企業を成長させる。フェイスブック、グーグル、アマゾンの研究開発費の売上比率は、フェイスブックが26.5%、グーグルが16.4%、アマゾンが11.7%である。一方、燃料電池車や自動運転車や電気自動車に関して幅広く研究開発を实践するトヨタ自動車ですら、研究開発費の売上比率は僅か3.8%である<sup>2)</sup>。研究開発費だけがイノベーションを決めるわけではないが、フェイスブックなどの巨額の研究開発費は、企業のイノベーションに対する姿勢を如実に表していると言える。

このような企業の積極的な姿勢が、熱狂的な信者に近いユーザーを生み出し、社会現象を巻き起こし、株主の圧倒的な高評価を引き出し、社会的信用力を増大させ、マルチプラットフォーム企業を構築させる大きな要因となっている。すなわち、人間社会が支持し応援することがイノベーションの必要条件であり、企業が公開する研究開発費は人間社会にイノベーションの応援を懇願するメッセージである。イノベーションが企業の研究開発の成果から得られるものではなく、人間社会がイノベーションを育てているという発想が、日本の企業経営者には大きく欠如している。

---

### 1) 日本経済新聞2018年6月22日

「米IT大手の研究開発費は巨額だ。グーグルを傘下に持つ米アルファベットは1兆8200億円、米アップルは1兆2000億円に達する。IT大手はすべて自動車向けではないが移動体にかかわるモビリティ分野の投資に積極的。トヨタの豊田彰男社長は『テクノロジーカンパニーは自動車業界の数倍のスピード』と語る」

### 2) 塚崎朝子 [2018] 「世界を救った日本の薬」 講談社

「新しい薬を創り出す「創薬」は、承認された薬を製造する「製薬」に比べて並はずれて難しい。今では1つの新薬が世に出るまでに10年あまりの歳月と1000億円かかる。日本は、アメリカ、イギリス、ドイツ、フランス、スイスなどと並び、真の創薬を成し遂げられる、世界で数少ない国の1つである。世界の医薬品売上げ上位100品目の起源企業（特許帰属企業の国籍）を見ると、その半数近くはアメリカであり、日本は10位である。もっとも、薬の元となる物質を発見したり、化合物の合成に成功したり、薬を生み出したのは日本人でも、治療薬としての開発は欧米で先行して行われ、日本に起源を持つ薬でありながら日本で使用できるのは数年遅れという場合もある」

日本経済新聞は「日本企業の研究開発費の伸びが海外企業に劣っている。2017年までの10年間の伸び率は米国の86%増に対し、日本は12%増にとどまる。人工知能など情報技術分野で米国勢を中心に投資が盛り上がり、第4次産業革命が進む中、研究開発の遅れが日本の産業競争力を損ないかねない<sup>3)</sup>」と強い懸念を示している。2007年からの10年間の研究開発費の伸び率は、アマゾンが28倍、グーグルが8倍であるが、日本企業で唯一トップ10社に入ったトヨタ自動車の伸び率は26%増であった。研究開発費における日本企業の順位後退は著しく、パナソニックが15位から36位に、ソニーが18位から35位になった。このように、イノベーションに対して極めて消極的な経営戦略を採用している日本企業が非常に多い。イノベーションに対する日本企業の姿勢こそが、日本企業を衰退させる主原因である。

この致命的な衰退は、日本の企業経営者がイノベーションの本質を理解していないことが主な原因であると筆者は考えている。イノベーションは、本論文が提起する「イノベーションの進化」に従うと考えられ、科学技術によって生まれるが、その後、人間社会によって厳しく育てられる。すべてのイノベーションは、「科学技術と人間社会の相反する矛盾を内包した成果物」となる。そのため、人間社会は、容易にイノベーションを受け入れず、イノベーションのブレーキ役になる場合も少なくない。時には、人間社会はイノベーションを徹底的に排斥する暴挙に出る。すなわち、イノベーションは科学技術と人間社会の葛藤と共闘が生み出す人類の遺産と言える。

イノベーションは、本論文が提起するイノベーションの進化に従い、萌芽時代、成長時代、絶滅時代の順番に進行する。まず、萌芽時代において、イノベーションは指数関数的に急成長する<sup>4)</sup>。この急成長の原因は、研究者やエンジニアや企業の行動だけで論ずることは不可能で、イノベーションを生み出す科学技術の本質から議論しなければならない。

次の成長時代はイノベーションが直線的に増加する。萌芽時代の指数関数的急成長と成長時

---

3) 日本経済新聞2018年5月3日

4) 村山博「日本企業の研究開発の絶滅と誕生に関する研究(その1) 仮説「研究開発は直線的に絶滅し指数関数的に誕生し、その絶滅と誕生は同期する」」(単著/2018年2月/『桃山学院大学環太平洋圏経営研究』第19号/桃山学院大学総合研究所/pp3-44)

「指数関数的な増加の原因は、新しい研究開発テーマを企業の一部の研究者やエンジニアが気づいていても、次年度の研究開発計画に反映させるには多大な労力と時間と予算が必要になる。そのため、新しい研究開発テーマへの参入は、企業が同時にスタートすることはない。将来を見抜く眼力を持った研究リーダーや経営者がいる企業が、ファーストランナーとして小規模な研究開発を始めるのが常である。その他の企業は、このファーストランナーの企業の研究開発の状況を横目で見ながら、参入のタイミングを判断する。参入すべきと決断する時期には、数多くの企業が同じ分野の研究開発を開始するため、あたかもゴールドラッシュのように、指数関数的な研究開発の急増が白日の下に晒される。論文で取り上げた指数関数的に増加する研究分野は、特定の企業の発明数が増加するよりも、新規参入企業の数が増加する傾向が強かった」

代の直線的増加の相違の原因を究明するのが、本論文の目的の一つである。次の絶滅時代は、イノベーションが社会変化や想定外の異なるイノベーションに駆逐され直線的に減少し絶滅に向かう時代である。この絶滅時代は、単にイノベーションが消滅する過程ではなく、次世代のイノベーションの萌芽を生み出す時期である<sup>5)</sup>ことが明らかになっている。また、イノベーションの萌芽時代と絶滅時代は深く関連していることも事実として確認している<sup>6)</sup>。そのため、萌芽時代、成長時代、絶滅時代の3時代は流転を繰り返すと考えられる。

萌芽時代と絶滅時代に挟まれた期間を、本論文は成長時代と呼ぶ。この成長時代のイノベーションの特徴を理解していないと、企業はイノベーションを成就させることができず企業衰退を早めることになる。そこで、この成長時代の特徴を解明することが本論文の目的の一つである。そのため、本論文は、仮説Ⅰ「イノベーションには2つの変曲点<sup>7)</sup>が存在する」と、仮説Ⅱ「指数関数的に進む萌芽時代では科学技術がイノベーションを先導するが、成長時代では人間社会がイノベーションを減速させ、その後の社会変化がイノベーションをさらに減速させる」を提起し、その検証を行う。

本論文が提起するイノベーションの進化では、萌芽時代、成長時代、絶滅時代の3時代により展開される。そのため、萌芽時代から成長時代に転換する「変曲点A」と、成長時代から絶滅時代に転換する「変曲点B」が存在すると考えられる。さらに、本論文は、これら2つの変曲点で何が起きているのか、何故、新たな時代へ転換しなければならなかったのか、などの疑

---

5) 村山博「日本企業の研究開発の絶滅と誕生に関する研究(その1) 仮説「研究開発は直線的に絶滅し指数関数的に誕生し、その絶滅と誕生は同期する」」(単著/2018年2月/『桃山学院大学環太平洋圏経営研究』第19号/桃山学院大学総合研究所/pp3-44)

「研究開発は直線的に減少し、それらに同期し、あたかも呼応するように、新たな研究開発が指数関数的に誕生し急激に増加していることが判明した。シリコン半導体に関する研究開発が絶滅に近づく時期に、ワイドギャップ半導体に関する研究開発が急増していること、鉄やアルミニウムに関する研究開発の絶滅が近づくときに、セルロースナノファイバーなどの新素材に関する研究開発が急増している事実は、絶滅と誕生が深く関連していることを明示している」

6) 村山博「日本企業の研究開発の絶滅と誕生に関する研究(その1) 仮説「研究開発は直線的に絶滅し指数関数的に誕生し、その絶滅と誕生は同期する」」(単著/2018年2月/『桃山学院大学環太平洋圏経営研究』第19号/桃山学院大学総合研究所/pp3-44)

「絶滅する環境は生存に厳しい環境であるが、同時に新しいものを生み出す高いエネルギー持ち、新たな生命誕生や企業においては研究開発を加速する役目を持っていると言える。日本企業の研究開発の絶滅は直線的に進行するが、誕生は指数関数に従い、大きな加速度を持って急激に進行する事実を明らかにした。現在の日本企業は、非常に高い淘汰圧に晒されていることから、新たに誕生する研究開発が猛烈なスピードの指数関数に従うことになる。絶滅という高い淘汰圧が指数関数による誕生を作り出していることから、その絶滅と誕生が同期することは明白である」

7) 変曲点とは、平面曲線の曲率が符号を変える点である。

問を解明し、その原因と背景を研究することにより、イノベーションの本質に迫ることを目的とする。

また、イノベーションの進化に立脚した本論文は、次のような考察を試みる。何故、イノベーションには2つの変曲点が存在するのか。何故、人間社会はイノベーションを減速させるのか。何故、人間社会はイノベーションの変曲点を決定するのか。何故、イノベーションは科学技術と人間社会の積になるのか。何故、科学技術の先進性よりも、多様性が優先されるのか。何故、イノベーションに寛容な人間社会の構築が必要なのか。何故、健全な人間社会がイノベーションを掌握すべきなのか。

## 2章 イノベーションの萌芽時代、成長時代、絶滅時代

### 2-1 萌芽時代から成長時代へ転換する変曲点A

イノベーションは、指数関数的に急成長する場合と、直線的に増加する場合と、直線的に減少する場合が明らかになっている。何故、イノベーションはこのようない見支離滅裂と思える変化をするのか、その意味するものは何か、を解明するのが本論文の発端である。

そこで、本論文は、イノベーションのプロセスを、萌芽時代、成長時代、絶滅時代の3時代に分類し、萌芽時代にはイノベーションが指数関数的に進行し、成長時代にはイノベーションが直線的に増加し、絶滅時代にはイノベーションが直線的に減少すると仮定することにより、イノベーションの様々な変化を一元的に解釈できると考えた。

さらに、絶滅時代は単純にイノベーションが消滅するだけではなく、新たな萌芽が生まれる時代であり、次の萌芽時代をもたらすことも既報で明らかになっている。そこで、本論文は、すべてのイノベーションは、萌芽時代、成長時代、絶滅時代の3時代において、誕生、成長、消滅、再生されて、萌芽時代につながり、3時代は流転を繰り返し、連綿と続くと考えた。

図1は、イノベーションの進化を図示したものである。なお、縦軸と横軸の数値は任意の数字である。図のように、先ずイノベーションは指数関数的に急成長し、次に直線的に増加し、最後に直線的に減少すると考えられる。それぞれの進化プロセスをイノベーションの萌芽時代、成長時代、絶滅時代と呼ぶことにする。3時代の間、つまり萌芽時代と成長時代の間と、成長時代と絶滅時代の間には2つの大きな変曲点が存在する。

萌芽時代から成長時代へ転換する時期には、指数関数的急成長から直線的成長に変化するため、イノベーションにとって非常に大きな変化が存在する。これを本論文では「変曲点A」と呼ぶ。成長時代の直線的な増加から絶滅時代の直線的な減少へ転換する変曲点を、本論文では「変曲点B」と呼ぶ。

次に、萌芽時代から成長時代へ転換する「変曲点A」の実例を調査する。

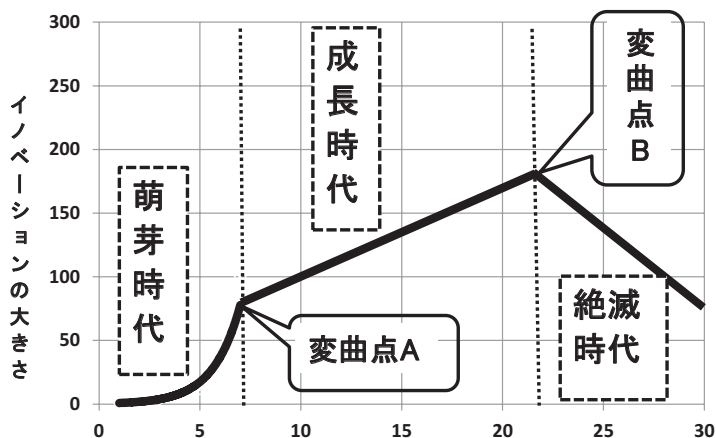


図1 イノベーションの萌芽時代、成長時代、絶滅時代

### 2-1-1 グラフェンのイノベーションの変曲点A

グラフェンは原子1個分の厚さの極めて薄い炭素原子のシートである。グラフェンは鉄の100倍の強度を持ち、折り曲げることができ、熱伝導性、電気伝導性、耐熱性に優れ、透明性が高く、シリコンの代替品として使われる可能性が高い。折り曲げ可能なディスプレイ素材、リチウムイオン電池素材、太陽電池素材、燃料電池素材、触媒に関する研究開発を多くの企業が鏑を競っている。グラフェンは将来性が高く極めて有望な素材である。

図2はグラフェンの萌芽時代と成長時代のイノベーションを示している。なお、特許庁のホームページの特許検索を利用し、その公開特許を調査した。縦軸は公開特許件数であり、横

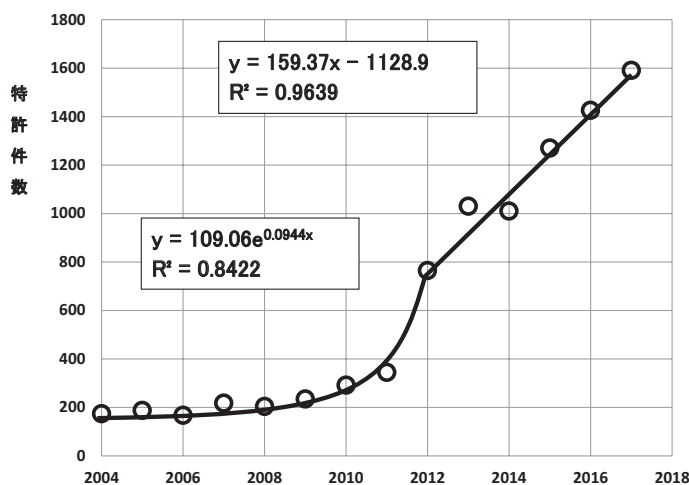


図2 グラフェンの萌芽時代と成長時代の変曲点

軸は公開年である。2004年から2012年までのイノベーションは、指数関数 $y = 109.06e^{0.0944x}$  寄与率 $R^2 = 0.8422$ に従い急成長している。2012年からは $y = 159.37x - 1128.9$  寄与率 $R^2 = 0.9639$ に従い直線的に増加している。萌芽時代の指数関数的急成長が、直線的な成長に転換する「変曲点A」は2012年である。

### 2-1-2 神経伝達物質のイノベーションの変曲点A

神経伝達物質<sup>8)</sup>は、ドーパミン、セロトニン、ノルアドレナリン、アセチルコリン、オキシトシンなどがあり、人間の頭脳、心理、学習、行動、健康、病気などを制御する極めて重要な物質である。近年、神経伝達物質に関する研究開発が多くの分野において非常に活発である。

図3は神経伝達物質の萌芽時代と成長時代のイノベーションを示している。1998年から2002年までのイノベーションは、指数関数 $y = 6E-198e^{0.2295x}$  寄与率 $R^2 = 0.9527$ に従い急成長している。2002年からは $y = 7.7179x - 15258$  寄与率 $R^2 = 0.933$ に従い直線的に増加している。萌芽時代の指数関数的急成長が、直線的な成長に転換する「変曲点A」は2002年である。

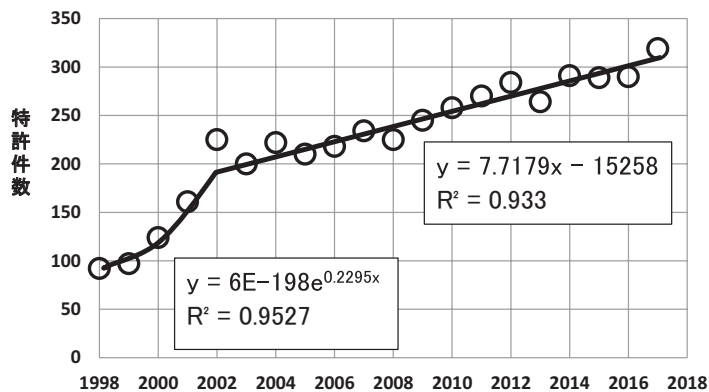


図3 神経伝達物質の萌芽時代と成長時代の変曲点

#### 8) 池谷裕二 [2017]「脳と心のしくみ」新星出版

「アセチルコリン：大脳皮質と大脳基底核に多くあり、意識や知識、記憶、覚醒、睡眠などにかかわる。ドーパミン：大脳基底核の黒質などで作られ、精神活動を活性化し快感を与え、やる気スイッチとなる。ノルアドレナリン：脳幹の青斑核に多く、覚醒し気分を高揚させ、血圧の上昇や注意や学習に関係する。セロトニン：脳幹の縫線核で作られ、脳の覚醒を抑える。グルタミン酸：大脳皮質、海馬、小脳にあり、学習や記憶などに重要な役割を果たす。γアミノ酪酸 (GABA)：海馬、小脳、大脳基底核にあり、不安を鎮め、睡眠を促す。グリシン：脳幹や脊髄にあり、抑制の神経伝達物質だが、興奮性としても働く。ヒスタミン：視床下部から脳内に投射され、覚醒度を抑制し、自律神経系の調節にも関与する。βエンドルフィン：モルヒネと同様に鎮痛効果や気分の高揚や幸福感が得られるので、脳内麻薬と呼ぶ」

### 2-1-3 仮想通貨のイノベーションの変曲点A

仮想通貨は、ブロックチェーンを使うことにより、国家の中央銀行を介さずウェブ上で決済を行うため経費や手数料がほとんど発生しない特徴を持っている。仮想通貨のためのブロックチェーンの考え方は銀行だけでなく、あらゆる決済に活用できるため、その研究開発が非常に活発である。

図4は仮想通貨の萌芽時代と成長時代のイノベーションを示している。2005年から2013年までのイノベーションは、指数関数  $y = 2E - 265e^{0.3049x}$  寄与率  $R^2 = 0.7171$  に従い急成長している。2013年からは  $y = 17.3x - 34710$  寄与率  $R^2 = 0.8343$  に従い直線的に増加している。萌芽時代の指数関数的急成長が、直線的な成長に転換する「変曲点A」は2013年である。

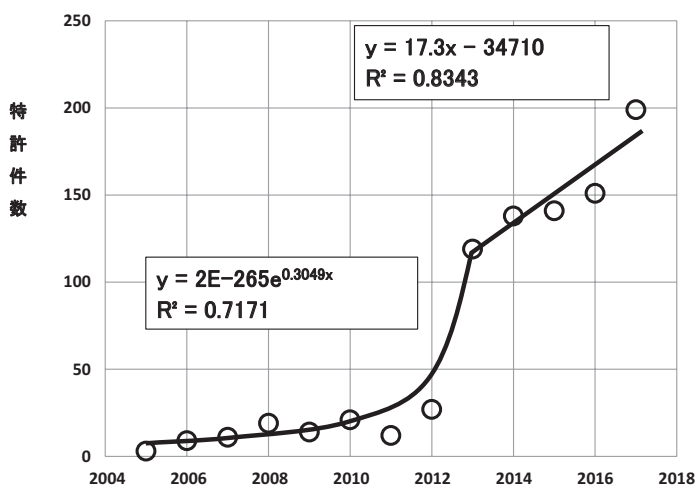


図4 仮想通貨の萌芽時代と成長時代の変曲点

### 2-1-4 レーザー顕微鏡のイノベーションの変曲点A

近年、レーザー顕微鏡に関する研究開発が非常に活発であり、今まで観察できなかったものを撮影できるため、各分野でイノベーションが起きている。ちなみに、共焦点レーザー顕微鏡は、レーザー光を対物レンズで集めて試料に照射し、焦点面の蛍光のみをピンホールを通して観察することで鮮明な画像を得ることができる。2光子励起レーザー顕微鏡は、生きたままのマウスから1つ1つの神経細胞の活動の様子が観察できる。

図5はレーザー顕微鏡の萌芽時代と成長時代のイノベーションを示している。1998年から2004年までのイノベーションは、指数関数  $y = 7E - 190e^{0.2203x}$  寄与率  $R^2 = 0.946$  に従い急成長している。2004年からは  $y = 26.059x - 51758$  寄与率  $R^2 = 0.9269$  に従い直線的に増加している。萌芽時代の指数関数的急成長が、直線的な成長に転換する「変曲点A」は2004年である。



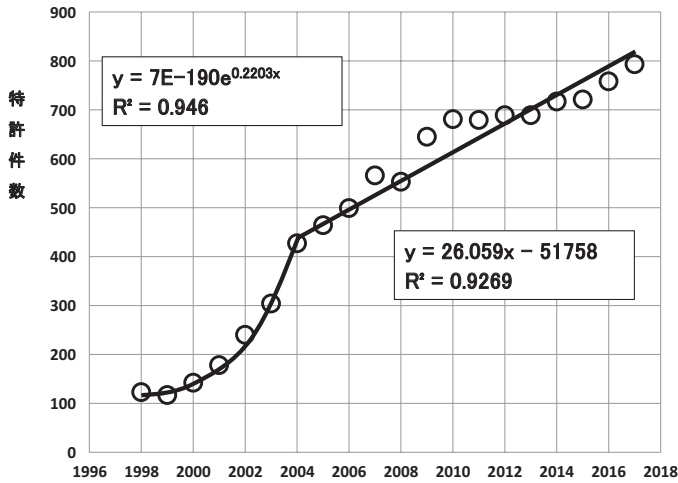


図5 レーザー顕微鏡の萌芽時代と成長時代の変曲点

### 2-1-5 ナノクリスタルのイノベーションの変曲点A

ナノクリスタルは、ナノメートルオーダーの微細結晶であり、ナノスケール半導体や高温超伝導体薄膜のデバイスやナノクリスタル発光デバイスとして使用されている。蛍光性半導体ナノクリスタルは、バルク状の半導体結晶とは異なったエネルギー準位を持ち、今までにない機能を有する。半導体はナノ粒子化すると、量子サイズ効果によりバンド構造が変化し、粒径に応じた色の蛍光を示す。

図6はナノクリスタルの萌芽時代と成長時代のイノベーションを示している。1997年から2006年までのイノベーションは、指数関数  $y = 0e^{0.5473x}$  寄与率  $R^2 = 0.9785$  に従い急成長している。2006年からは  $y = 67.895x - 133827$  寄与率  $R^2 = 0.8253$  に従い直線的に増加している。萌芽

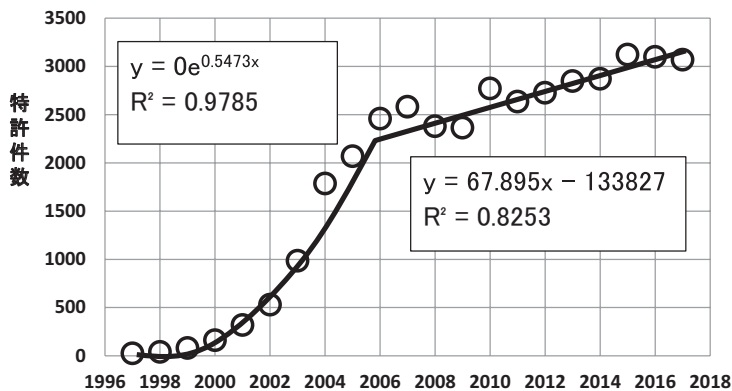


図6 ナノクリスタルの萌芽時代と成長時代の変曲点

時代の指数関数的急成長が、直線的な成長に転換する「変曲点A」は2006年である。

## 2-2 成長時代から絶滅時代へ転換する変曲点B

図1のように、研究開発が直線的に増加しイノベーションが拡大する成長時代が、突然、その成長が停止し、研究開発が直線的に減少し始め、イノベーションは衰退する。本論文では、これを成長時代から絶滅時代へ転換する「変曲点B」と呼ぶ。この絶滅時代において、ブルーオーシャン化した分野に新たなイノベーションの萌芽が生まれることを筆者は報告している<sup>9)10)</sup>。また、この絶滅時代は、研究開発を減少させる企業ではなく、逆に研究開発を増加させる企業が決めることも明らかになっている。本論文では、何故、成長時代が絶滅時代に変わらなければならなかったのか、その原因を研究するため、成長時代から絶滅時代への「変曲点B」の実例を調査した。調査対象は、人間社会の都合が如実に表れやすい地政学リスク<sup>11)</sup>が高い金属元素（チタン、タングステン、アルミニウム、ニッケル、シリコン<sup>12)</sup>、クロム、パラジウム、コバルト、マグネシウム、バナジウム）に関する研究開発である。

### 2-2-1 チタンのイノベーションの変曲点B

チタンはアルミニウムより1.5倍重いだけで硬さは6倍ある。チタンは、高い比強度だけでなく、耐熱性や耐食性や高温強度に優れ、加工しやすいため、航空宇宙産業などの特殊用途の他、ゴルフクラブ、自転車、パソコンの筐体、顔料、光触媒の材料に広く使用されている。また、チタンは、毒性も低く、欠乏症や過剰症もなく、人体との親和性が高く、人工関節、人工骨、歯科治療（インプラント）、ペースメーカー、紫外線予防化粧品の素材として使用されている。しかし、米国のチタン製品の輸入関税は15%であり、日本の3%と比べ5倍である。チタンは外国の影響を受けやすい材料である。チタンの地殻内の埋蔵量（クラーク数）は10位に位置し、比較的多く存在する元素であるが、高純度のチタンを精製することが難しく高コストの

---

9) 村山博「日本企業の研究開発の絶滅と誕生に関する研究(その3) 仮説「研究開発の絶滅が作り出すブルーオーシャンにはイノベーションが宿り、その好機が存在する」」(単著/2018年2月/『桃山学院大学環太平洋圏経営研究』第19号/桃山学院大学総合研究所/pp93-132)

10) 村山博「日本企業の研究開発の絶滅と誕生に関する研究(その2) 仮説「研究開発の絶滅時期は、研究開発を減少させる企業ではなく、逆に研究開発を増加させる企業が決める」」(単著/2018年2月/『桃山学院大学環太平洋圏経営研究』第19号/桃山学院大学総合研究所/pp45-92)

11) 地政学リスクの高い金属には「国境」と言う断崖絶壁が存在する。米中の貿易戦争は地政学リスクの典型例である。スマホや自動車の最先端機能は希少金属から生み出されている。ところが、この希少金属は中国などが独占供給しており、戦略物質として使われる可能性が高い。

12) シリコンは金属光沢があるが、半金属元素と言った方が正確である。

ため、チタンは経済産業省が希少金属（レアメタル）と定義している。

図7はチタンの成長時代と絶滅時代のイノベーションを示している。1992年から2004年までのイノベーションは、 $y=175.08x-346201$  寄与率 $R^2=0.9382$ に従い直線的に成長している。ところが、2004年から2017年までは $y=-197.06x+399765$  寄与率 $R^2=0.9723$ に従い直線的に減少している。チタンの成長時代と絶滅時代の境界である「変曲点B」は2004年である。図のように絶滅時代の減少の傾き-197.06、成長時代の増加の傾き175.08の絶対値の比率は1.13であり、増加速度より減少速度の方が大きい。

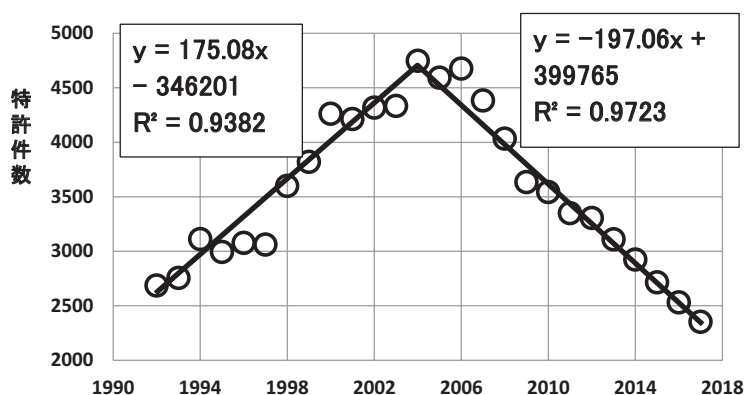


図7 チタンの成長時代と絶滅時代の変曲点

### 2-2-2 タングステンのイノベーションの変曲点B

タングステンは、融点と沸点が非常に高く、細かく加工できるため白熱電球のフィラメントに使用された過去がある。しかし、近年のタングステンは、高速度鋼、切削工具、砲弾、戦車の装甲、指輪、印鑑、放射線シールドなどに幅広く使用されている。酸化タングステンは電圧により透明から青色へ変化する性質があり、透明度を調節できる窓ガラスに使用されている。タングステンの産出国は実質的に中国に限定される。タングステンは、地政学リスクが高い金属であり、日本の国家備蓄7鉱種<sup>13)</sup>の1つである。

#### 13) 経済産業省 資源エネルギー庁

「レアメタルは磁性材料や電子部品を作る原料として、電子工業に代表される先端産業に利用されています。また、特殊鋼等の原材料として鉄鋼業、機械工業には必須の資源です。しかし、レアメタルの生産国は政情不安定な国を含めて海外の少数国に限定されており、供給構造は極めて脆弱となっています。そのため、レアメタル7鉱種（国家備蓄7鉱種：ニッケル、クロム、タングステン、コバルト、モリブデン、マンガン、バナジウム）について、国家備蓄を行い、鉱山のストライキや、自然災害等による短期的なレアメタルの供給障害に備えています」

図8はタングステンの成長時代と絶滅時代のイノベーションを示している。1990年から2004年までのイノベーションは、 $y = 50.132x - 98879$  寄与率  $R^2 = 0.8694$  に従い直線的に成長している。ところが、2004年から2017年までは  $y = -58.829x + 119488$  寄与率  $R^2 = 0.9117$  に従い直線的に減少している。タングステンの成長時代と絶滅時代の境界である「変曲点B」は2004年である。図のように絶滅時代の減少の傾き-58.82、成長時代の増加の傾き50.132の絶対値の比率は1.17であり、増加速度より減少速度の方が大きい。

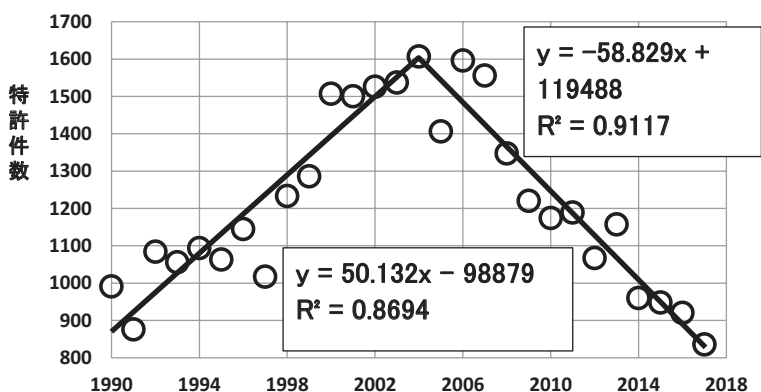


図8 タングステンの成長時代と絶滅時代の変曲点

### 2-2-3 アルミニウムのイノベーションの変曲点B

アルミニウムは、熱伝導性や電気伝導性が優れており、軽量で加工しやすいため、アルミ缶、アルミ箔、アルミ電線、自動車、建築材料、鉄道車両、自転車、ヒートシンク、エンジン部品、人工衛星の部品などに幅広く使用されている。アルミニウムの産出国の第一が中国、第二がロシアである。アルミニウムの製造には大量の電気が必要であり、1995年以降、日本国内のアルミニウム地金の生産は電力コストの高騰が原因で停止しており、現在はすべて外国から輸入している。輸入だけに依存するアルミニウムは地政学リスクが高い金属と言える<sup>14)</sup>。

図9はアルミニウムの成長時代と絶滅時代のイノベーションを示している。1990年から2002年までのイノベーションは、 $y = 279.15x - 549047$  寄与率  $R^2 = 0.9416$  に従い直線的に成長している。ところが、2002年から2017年までは  $y = -329.73x + 670121$  寄与率  $R^2 = 0.9619$  に従い直

14) 日本経済新聞2018年4月10日

「アルミニウムの国際価格が急反発している。指標となるロンドン金属取引所（LME）の3カ月先物は1トン2140ドル台後半と1週間で1割上昇した。米国が先週末にロシアへの追加経済制裁を発表し、アルミニウム価格が急騰している」

線的に減少している。アルミニウムの成長時代と絶滅時代の境界である「変曲点B」は2002年である。図のように絶滅時代の減少の傾き-329.73，成長時代の増加の傾き279.15の絶対値の比率は1.18であり，増加速度より減少速度の方が大きい。

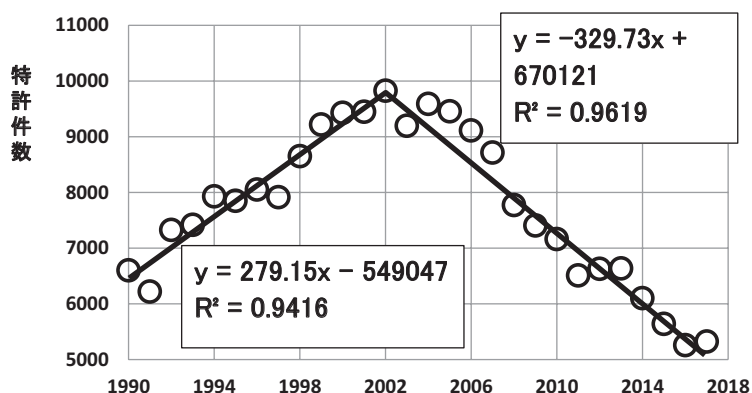


図9 アルミニウムの成長時代と絶滅時代の変曲点

#### 2-2-4 ニッケルのイノベーションの変曲点B

ニッケルは，耐食性に優れており，硬貨やメッキ素材や合金材料に使われている。ニッケルは，MRI（断層撮影装置）などの電磁波を遮断する磁気シールド，電気自動車の二次電池，液化天然ガス貯蔵タンク，液化天然ガス運搬船，タービンプレード，ロケットのエンジン，オーステナイト系ステンレス鋼，インバー合金，エリンバー合金などに広く使われている。ニッケルの産出国の第一がロシア，第二がカナダ，第三がインドネシアであり，ニッケルは地政学的リスクが高い金属である。ニッケルは日本の国家備蓄7鉱種の1つである。

図10はニッケルの成長時代と絶滅時代のイノベーションを示している。1995年から2004年までのイノベーションは， $y = 127.72x - 252798$  寄与率  $R^2 = 0.9606$  に従い直線的に成長している。ところが，2004年から2017年までは  $y = -98.53x + 200454$  寄与率  $R^2 = 0.9085$  に従い直線的に減少している。ニッケルの成長時代と絶滅時代の境界である「変曲点B」は2004年である。図のように絶滅時代の減少の傾き-98.53，成長時代の増加の傾き127.72の絶対値の比率は0.77であり，増加速度より減少速度の方が小さい。

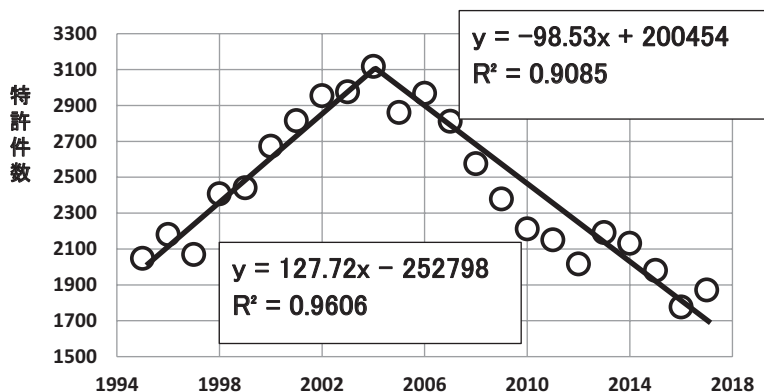


図10 ニッケルの成長時代と絶滅時代の変曲点

### 2-2-5 シリコンのイノベーションの変曲点B

シリコンは、情報通信社会を支える半導体の代表的な素材である。シリコンは、半導体素材以外にも、太陽電池用素材、水晶発振のクォーツ時計、コンピューターのクロックジェネレーター、電磁鋼板などに幅広く使用されており、現代社会を支える極めて重要な素材である。最近、シリコンは品薄になり価格が高騰している<sup>15)</sup>。その理由は半導体として使われる高純度シリコン（イレブンナイン99.999999999%）は大量の電気が必要になるためである。そのためシリコンを炭素系有機物などに代替する動きがある。

図11はシリコンの成長時代と絶滅時代のイノベーションを示している。1995年から2000年ま

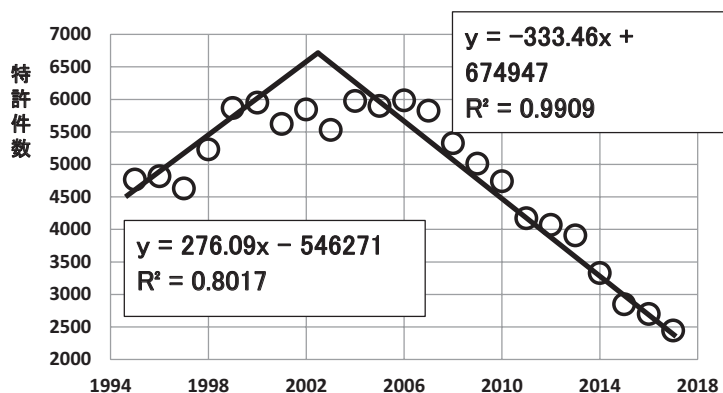


図11 シリコンの成長時代と絶滅時代の変曲点

15) シリコンの価格高騰の原因は、中国において原料のケイ石や石炭が高騰したことでシリコンの製造コストが上昇したこと、中国政府の環境規制の厳格化で規制を守れない工場が閉鎖していることである。シリコンは地政学リスクが高い。

でのイノベーションは、 $y = 276.09x - 546271$  寄与率  $R^2 = 0.8017$  に従い直線的に成長している。ところが、2005年から2017年までは  $y = -333.46x + 674947$  寄与率  $R^2 = 0.9909$  に従い直線的に減少している。2000年から2005年の6年間は、増加も減少もない「変曲期」が存在する。シリコンの成長時代と絶滅時代の境界である「変曲点B」は2003年と推定できる。シリコンは成長時代を終え絶滅時代に突入した事実は間違いない。ただし、それは上記のチタン、タングステン、アルミニウム、ニッケルのような明瞭な変曲点ではない。図のように絶滅時代の減少の傾き-333.46、成長時代の増加の傾き276.09の絶対値の比率は1.21であり、増加速度より減少速度の方が大きい。

### 2-2-6 クロムのイノベーションの変曲点B

クロムは、不動態被膜を形成し耐食性が優れているため、フェライト系ステンレス鋼、マルテンサイト系ステンレス鋼に使用されている。また、クロムは優れたメッキ素材としても使われている。クロムとニッケルの合金は強度が高く、高温でも強いため、電子レンジなどの家電製品に使われている。クロムの産出国の第一が南アフリカ共和国、第二がカザフスタン、第三がインドであり、クロムは地政学的リスクが高い金属である。クロムは日本の国家備蓄7鉱種の1つである。

図12はクロムの成長時代と絶滅時代のイノベーションを示している。1995年から2002年までのイノベーションは、 $y = 59.9x - 118283$  寄与率  $R^2 = 0.7202$  に従い直線的に成長している。2005年から2017年までは  $y = -70.291x + 142550$  寄与率  $R^2 = 0.952$  に従い直線的に減少している。2002年から2005年の4年間は、増加も減少もない「変曲期」が存在する。クロムの成長時代と絶滅時代の境界である「変曲点B」は2003年と推定できる。クロムは成長時代を終え絶滅時代に突入した事実は間違いない。ただし、それはチタン、タングステン、アルミニウム、ニッ

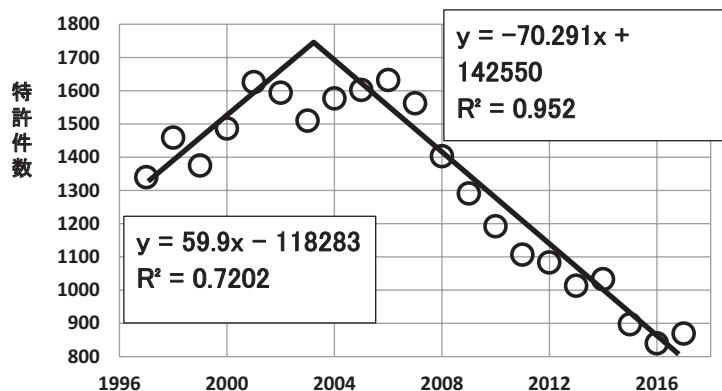


図12 クロムの成長時代と絶滅時代の変曲点

ケルのような明瞭な変曲点ではない。図のように絶滅時代の減少の傾き-70.291，成長時代の増加の傾き59.9の絶対値の比率は1.17であり，増加速度より減少速度の方が大きい。

### 2-2-7 パラジウムのイノベーションの変曲点B

パラジウムは，水素を吸蔵する能力が非常に高く，水素吸蔵材料として使われる。また，パラジウムは，加工のしやすさから電子部品の材料や歯科用途やネックレス，リングなどの貴金属の材料として使われている。パラジウムは，1 kgあたり約315万円で金と白金に次いで高い。パラジウムは，産出国がロシアに限られ，地政学的リスクが高い金属である。

図13はパラジウムの成長時代と絶滅時代のイノベーションを示している。1997年から2005年までのイノベーションは， $y = 37.139x - 73434$  寄与率  $R^2 = 0.8814$  に従い直線的に成長している。2005年から2017年までは  $y = -44.36x + 89974$  寄与率  $R^2 = 0.9511$  に従い直線的に減少している。パラジウムの成長時代と絶滅時代の境界である「変曲点B」は2005年である。図のように絶滅時代の減少の傾き-44.36，成長時代の増加の傾き37.139の絶対値の比率は1.19であり，増加速度より減少速度の方が大きい。

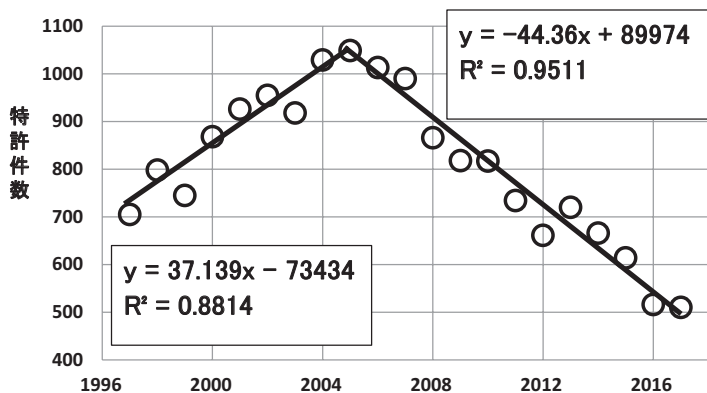


図13 パラジウムの成長時代と絶滅時代の変曲点

### 2-2-8 コバルトのイノベーションの変曲点B

コバルトの主な産出国はコンゴ民主共和国であり，供給不安が高い金属材料である。しかし，コバルト合金は高温の耐磨耗性に優れ，耐腐食性に優れているため，航空機のジェットエンジンや化学コンビナートのガスタービンに使用されている。また，コバルトは人体の組織に障害を与えないため，歯科用・外科用材料として用いられる。電気自動車用電池やパソコンの磁気ヘッドにも用いられている。最大のコバルトの産出国のコンゴ民主共和国は，全世界のコバルト産出の6割を占める。コバルトは，地政学的リスクが高く，日本の国家備蓄7鉱種の1つで



ある<sup>16)</sup>。

図14はコバルトの成長時代と絶滅時代のイノベーションを示している。1995年から2003年までのイノベーションは、 $y = 62.274x - 123273$  寄与率  $R^2 = 0.8405$  に従い直線的に成長している。2003年から2017年までは  $y = -43.325x + 88215$  寄与率  $R^2 = 0.8521$  に従い直線的に減少している。コバルトの成長時代と絶滅時代の境界である「変曲点B」は2003年である。図のように絶滅時代の減少の傾き-43.325、成長時代の増加の傾き62.274の絶対値の比率は0.70であり、増加速度より減少速度の方が小さい。

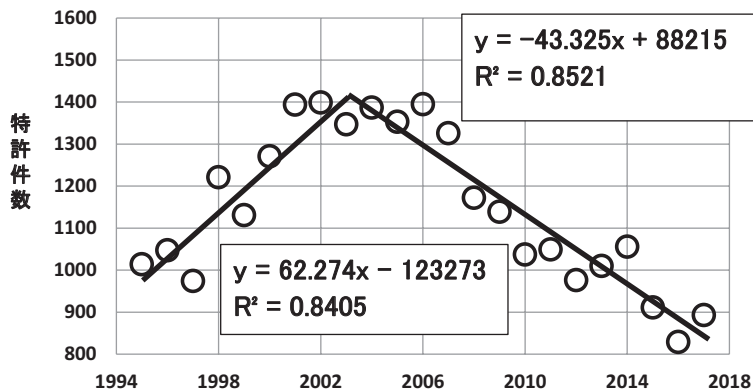


図14 コバルトの成長時代と絶滅時代の変曲点

### 2-2-9 マグネシウムのイノベーションの変曲点B

マグネシウムの密度は、アルミニウムの3分の2で、最も軽い金属であり、自動車用部品、航空機部品、精密機械部品、スポーツ用品、携帯用機器の筐体、医療機器などさまざまな分野で使われている。なかでもアルミニウムと亜鉛を混ぜたマグネシウム合金は幅広く使われている。大陸間を航続可能な長距離ミサイルの構造部材はマグネシウム合金で作られている。マグネシウムは人体に105g含まれ、タンパク質、核酸の合成、骨の成長、脳と甲状腺機能維持に大切な元素である。最大のマグネシウムの産出国は中国であり、マグネシウムは地政学リスクが高い金属である。

16) 日本経済新聞2018年7月5日

「電気自動車の生産が増えるとともに希少金属のコバルトが値上がりしている。コバルトは国際指標となるロンドン市場の取引価格が2年前の4倍に上がった。コバルトの供給不安は、政情不安なアフリカのコンゴ民主共和国が世界生産の6割を握っているためである。さらにコンゴは外資を規制し、資源を自国企業で囲い込む姿勢を強めている。年間1万トンほどコバルトを消費する日本の企業は、供給が不安になる場合への備えも怠れない。材料にコバルトを使わない技術革新も日本企業は加速すべきだ」

図15はマグネシウムの成長時代と絶滅時代のイノベーションを示している。1995年から2004年までのイノベーションは、 $y = 90.461x - 178929$  寄与率  $R^2 = 0.9331$  に従い直線的に成長している。2004年から2017年までは  $y = -72.371x + 147371$  寄与率  $R^2 = 0.9671$  に従い直線的に減少している。マグネシウムの成長時代と絶滅時代の境界である「変曲点B」は2004年である。図のように絶滅時代の減少の傾き-72.371、成長時代の増加の傾き90.461の絶対値の比率は0.80であり、増加速度より減少速度の方が小さい。

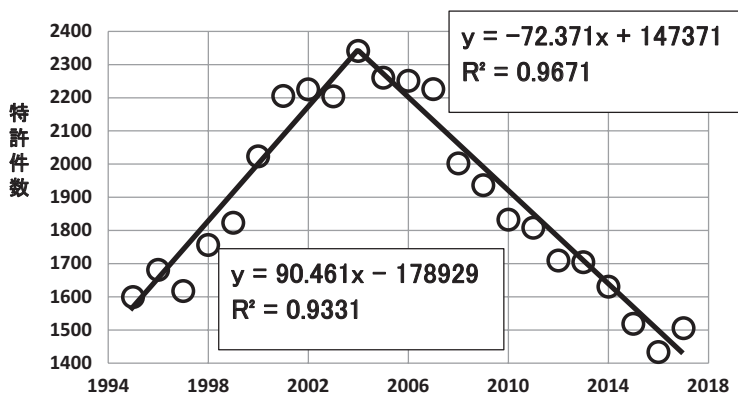


図15 マグネシウムの成長時代と絶滅時代の変曲点

### 2-2-10 バナジウムのイノベーションの変曲点B

バナジウムは、鉄鋼への合金材料として使用され、鉄鋼の高強度化や高靱性に寄与するため、大量に使用されている。これらの合金は、橋梁、建築物、化学プラント、車両、石油や天然ガスのパイプラインなどに使われる。最大のバナジウムの産出国は中国であり、バナジウムは地政学リスクが高い金属である。バナジウムは日本の国家備蓄7鉱種の1つである。

図16はバナジウムの成長時代と絶滅時代のイノベーションを示している。1997年から2006年までのイノベーションは、 $y = 24.812x - 49171$  寄与率  $R^2 = 0.848$  に従い直線的に成長している。2006年から2017年までは  $y = -21.273x + 43250$  寄与率  $R^2 = 0.9028$  に従い直線的に減少している。バナジウムの成長時代と絶滅時代の境界である「変曲点B」は2006年である。図のように絶滅時代の減少の傾き-21.273、成長時代の増加の傾き24.812の絶対値の比率は0.86であり、増加速度より減少速度の方が小さい。

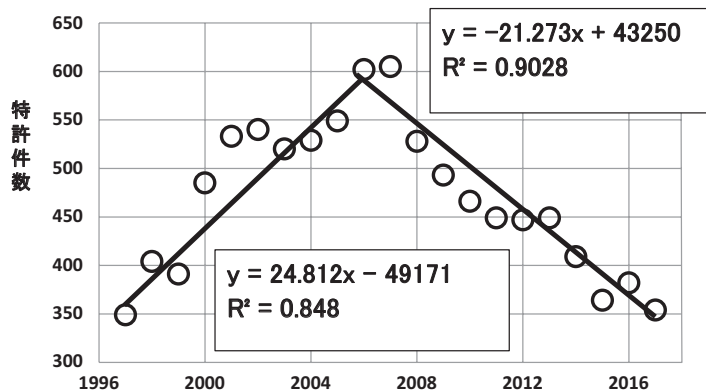


図16 バナジウムの成長時代と絶滅時代の変曲点

上記のように、地政学リスクという人間社会の身勝手な理由が、最先端の科学技術の進歩を停止させ、イノベーションを大きく減速させていることが判明した。2007年に始まった経済産業省の「希少金属代替材料開発プロジェクト」は、最先端の科学技術を拘束する苦肉の策である。イノベーションに影響する人間社会の身勝手な理由は地政学リスクだけではない。他にも、市場独占や業界内の談合による自由競争の排除、競合他社による特許潰し、短期利益優先による研究開発費の削減、国の補助金削減などの人間社会の都合が、イノベーションを減速させる。

成長時代の増加速度と絶滅時代の減少速度の比率（直線の傾きの絶対値の比率）が、1以上で徐々に成長し急に減少するグループは、シリコン（1.21）、パラジウム（1.19）、アルミニウム（1.18）、タンゲステン（1.17）、クロム（1.17）、チタン（1.13）、の6種類である。逆に、その比率が1以下で急に成長し徐々に減少するグループは、バナジウム（0.86）、マグネシウム（0.80）、ニッケル（0.77）、コバルト（0.70）、の4種類である。

イノベーションごとに成長時代の増加速度と絶滅時代の減少速度を比較することは、イノベーションに及ぼす人間社会の影響を理解する上で重要である。すなわち、徐々に成長し急に減少するグループと、急に成長し徐々に減少するグループの比較研究は、イノベーションの本質を探求する糸口になる。この増加速度と減少速度の比較は、イノベーションに関する重要課題として今後詳細な研究が必要である。

また、成長時代と絶滅時代との明確な「変曲点B」が存在したものは、チタンとタンゲステンとアルミニウムとニッケルとパラジウムとバナジウムとマグネシウムとコバルトの8事例であった。一方、明確な「変曲点B」が見られず数年間の「変曲期」の後、減少が始まるものは、シリコンとクロムの2事例があることが判明した。成長時代から絶滅時代への変化するプロセスで、数年間の「変曲期」の原因およびその意味については今後の研究を待ちたい。

### 3章 成長時代における人間社会の役割

#### 3-1 人間社会に適合するためのグラフェンの用途開発

成長時代のイノベーションは、人間社会に役立つ用途開発が主に行われる。人間社会は、たとえ革新的で画期的な研究成果でも、萌芽時代に生まれた科学技術をそのまま受け入れることはない。人間社会は用途開発を通じてイノベーションを選別する。本項では、イノベーションと人間社会の関係性を研究するため、成長時代におけるグラフェンの用途開発を調査する。

図17はフィルタ用途に関するグラフェンの成長時代のイノベーションを示している。2012年から2017年までのイノベーションは、 $y = 75.886x - 152501$  寄与率  $R^2 = 0.9494$  に従い直線的に成長している。注目すべき特許は、特許第6054499号 「多孔質グラフェンフィルタの製造方法、これを用いて製造される多孔質グラフェンフィルタ及びこれを用いたフィルタ装置」 コリアインスティテュート オブ エナジー リサーチ、特表2016-524942 「血液から物質を単離するためのグラフェン主体のフィルタ」 ロッキード・マーチン・コーポレーションである。

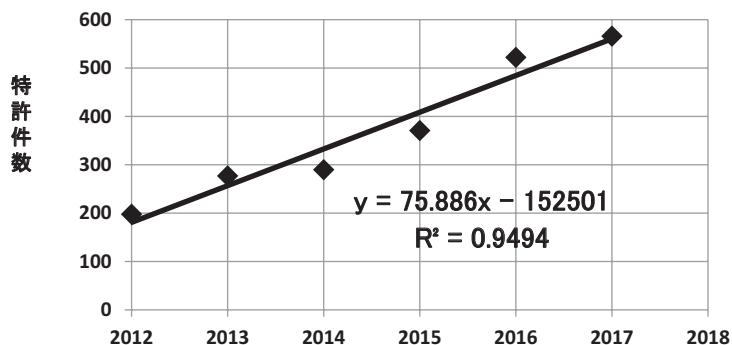


図17 グラフェンに関するフィルタの用途開発

図18はキャパシタ（コンデンサー）用途に関するグラフェンの成長時代のイノベーションを示している。2012年から2017年までのイノベーションは、 $y = 35.886x - 72122$  寄与率  $R^2 = 0.9453$  に従い直線的に成長している。注目すべき特許は、WO2015/129820 「グラフェン／CNT複合体電極装備Liイオン・スーパーキャパシター及びその製造方法」 国立研究開発法人物質・材料研究機構、WO2014/065241 「グラフェン超薄片とその作製装置、作製方法、及びキャパシタとその作製方法」 国立研究開発法人物質・材料研究機構である。

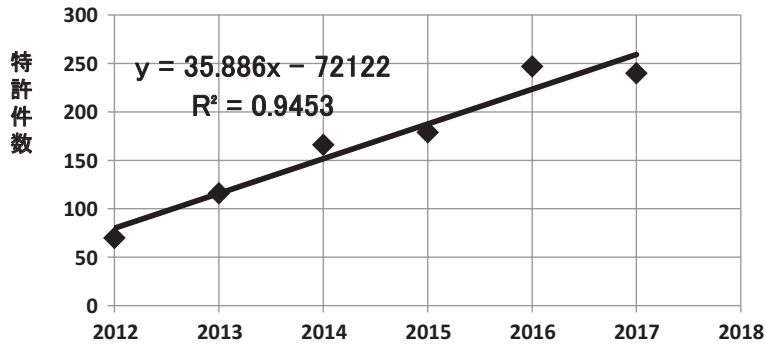


図18 グラフェンに関するキャパシタの用途開発

図19は全固体電池, 空気電池, 燃料電池などの電池用途（太陽電池を除く）に関するグラフェンの成長時代のイノベーションを示している。2012年から2017年までのイノベーションは,  $y = 52.429x - 105320$  寄与率  $R^2 = 0.9152$  に従い直線的に成長している。注目すべき特許は, 特開2012-182050 「金属フリーのグラフェンを空気極に用いたりチウム-空気電池」 独立行政法人産業技術総合研究所, 特開2017-119620 「二次電池, 酸化グラフェンおよびその作製方法」 株式会社半導体エネルギー研究所, 特表2016-500895 「高分散性グラフェン組成物およびその製造方法, ならびに高分散性グラフェン組成物を含むリチウムイオン二次電池用電極」 東レ株式会社である。

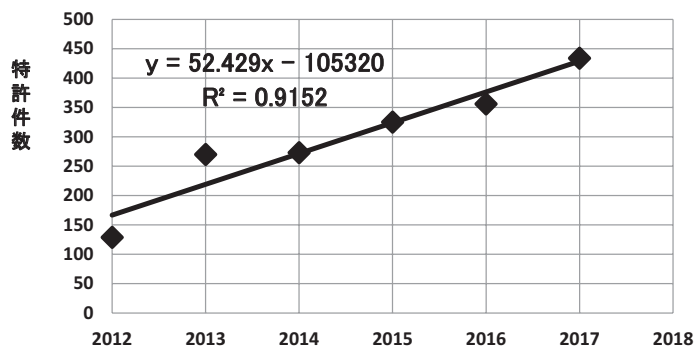


図19 グラフェンに関する電池の用途開発（除く太陽電池）

図20は半導体用途に関するグラフェンの成長時代のイノベーションを示している。2012年から2017年までのイノベーションは,  $y = 89.143x - 178951$  寄与率  $R^2 = 0.9086$  に従い直線的に成長している。注目すべき特許は, 特開2015-185599 「グラフェン配線及び半導体装置」 株式会社東芝, 特開2015-160794 「グラフェン膜の製造方法及び半導体装置の製造方法」 富士通

株式会社である。

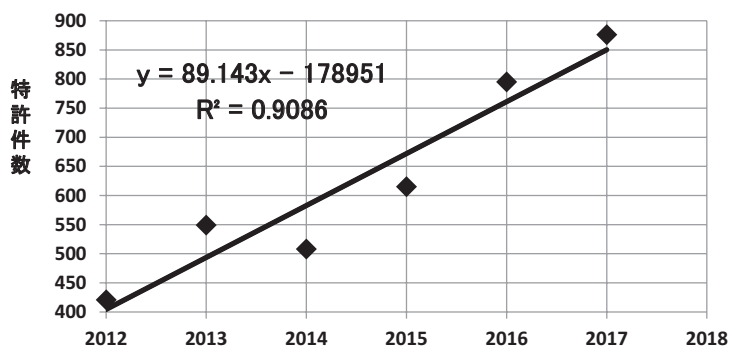


図20 グラフェンに関する半導体の用途開発

図21は表示デバイス用途に関するグラフェンの成長時代のイノベーションを示している。2012年から2017年までのイノベーションは、 $y = 71.514x - 143720$  寄与率  $R^2 = 0.885$  に従い直線的に成長している。注目すべき特許は、特開2012-133360 「グラフェンを利用した有機発光表示装置」 三星ディスプレイ株式会社である。

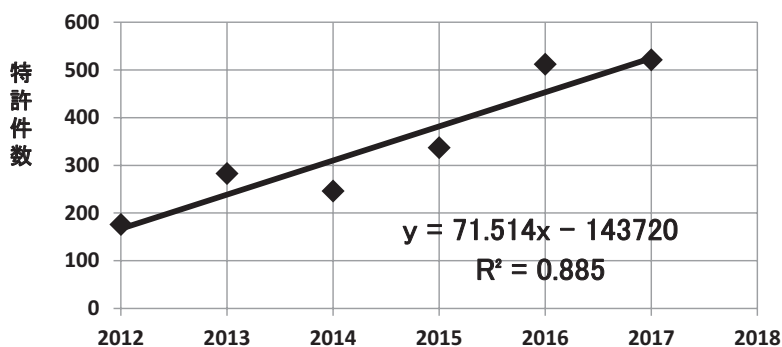


図21 グラフェンに関する表示デバイスの用途開発

図22はトランジスタ用途に関するグラフェンの成長時代のイノベーションを示している。2012年から2017年までのイノベーションは、 $y = 66.257x - 133107$  寄与率  $R^2 = 0.8581$  に従い直線的に成長している。注目すべき特許は、特開2014-55087 「グラフェンの製造方法およびそれを利用したトランジスタ」 パナソニックIPマネジメント株式会社、特開2013-152969 「グラフェントランジスタ」 株式会社日立製作所である。

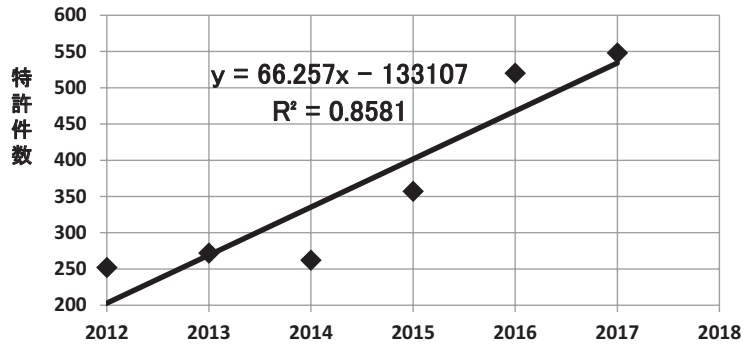


図22 グラフェンに関するトランジスタの用途開発

図23はバッテリー用途に関するグラフェンの成長時代のイノベーションを示している。2012年から2017年までのイノベーションは、 $y = 52.457x - 105470$  寄与率  $R^2 = 0.849$  に従い直線的に成長している。注目すべき特許は、特表2017-532748 「グラフェン系炭素粒子を含むリチウムイオンバッテリー電極」 ピーピージー・インダストリーズ・オハイオ・インコーポレイテッドである。

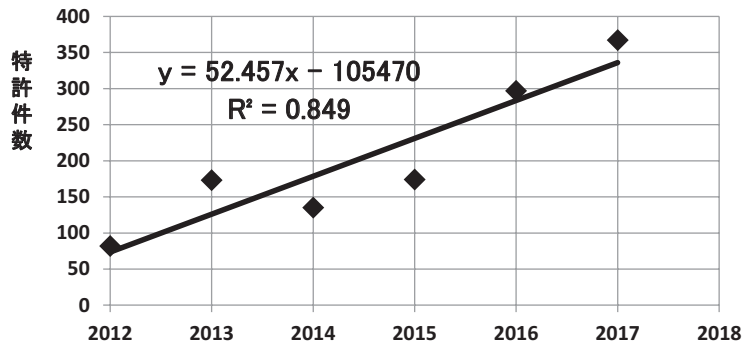


図23 グラフェンに関するバッテリーの用途開発

図24は照明装置用途に関するグラフェンの成長時代のイノベーションを示している。2012年から2017年までのイノベーションは、 $y = 53.029x - 106566$  寄与率  $R^2 = 0.8452$  に従い直線的に成長している。注目すべき特許は、特表2015-520951 「グラフェン照明器、並びにグラフェン照明器を用いた放熱装置及び光学伝送ネットワークノード」 ホア ウェイ技術有限公司である。

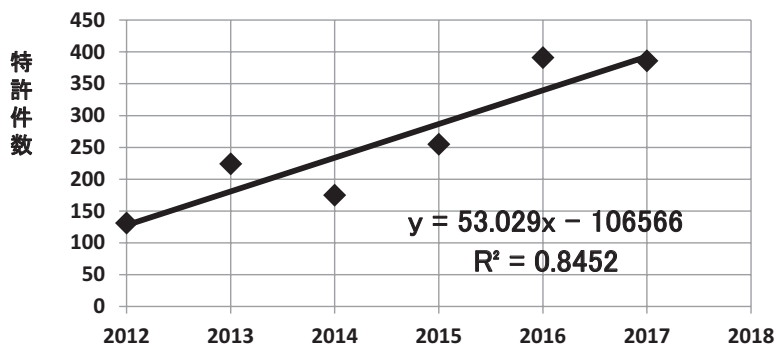


図24 グラフェンに関する照明装置の用途開発

図25は発光デバイス用途に関するグラフェンの成長時代のイノベーションを示している。2012年から2017年までのイノベーションは、 $y = 65.257x - 131226$  寄与率  $R^2 = 0.8409$  に従い直線的に成長している。注目すべき特許は、特開2017-36411 「グラフェン量子ドット発光体の製造方法」 株式会社KRI, 特開2013-127953 「グラフェン, 多層グラフェン又はグラファイトを用いた発光素子, 光源及びフォトカプラ」 学校法人慶應義塾である。

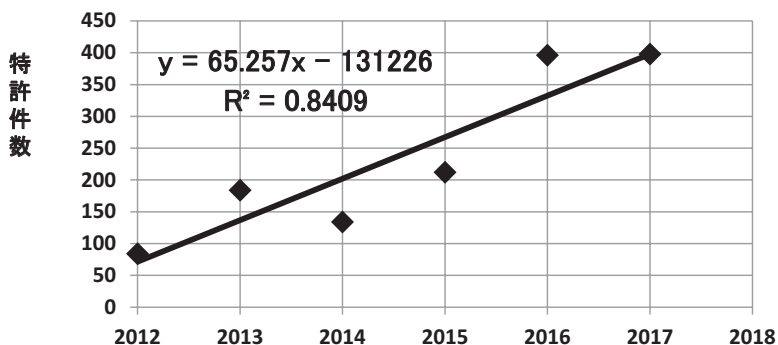


図25 グラフェンに関する発光デバイスの用途開発

図26は光電変換素子用途に関するグラフェンの成長時代のイノベーションを示している。2012年から2017年までのイノベーションは、 $y = 30.457x - 61263$  寄与率  $R^2 = 0.807$  に従い直線的に成長している。注目すべき特許は、特開2017-11285 「太陽電池用のグラフェン電極」 ザ トラスティーズ オブ プリンストン ユニバーシテイ, 特開2013-35699 「グラフェン構造体, グラフェン構造体の製造方法, 光電変換素子, 太陽電池及び撮像装置」 ソニー株式会社, 特開2017-204648 「太陽電池及び太陽電池の製造方法」 旭化成株式会社である。



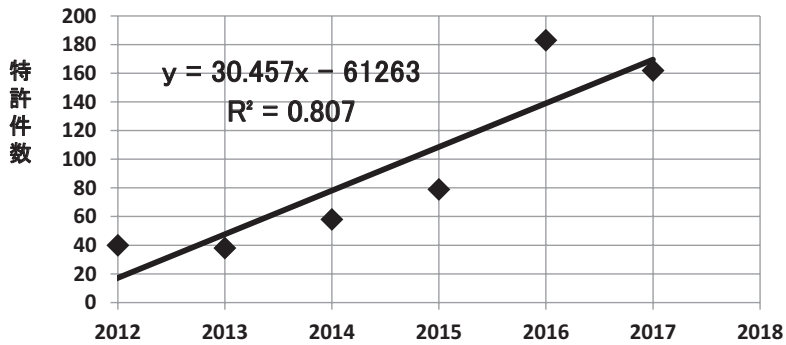


図26 グラフェンに関する光電変換素子の用途開発

以上のように、グラフェンの成長時代において、人間社会に適合するため、数多くの用途開発が行われており、人間社会が、成長時代のイノベーションに対して重要な役割を果たしていることが分かった。

### 3-2 人間社会に適合するための神経伝達物質の用途開発

次に、イノベーションと人間社会の関係性を研究するため、成長時代における神経伝達物質の用途開発を調査する。

図27は眼の疾患用途に関する神経伝達物質の成長時代のイノベーションを示している。2008年から2017年までのイノベーションは、 $y = 31.291x - 62710$  寄与率  $R^2 = 0.9693$  に従い直線的に成長している。注目すべき特許は、特表2002-515408 「眼および中枢神経系疾患治療用セロトニン作動性5HT7受容体化合物」 アルコン ラボラトリーズ、インコーポレーテッドである。

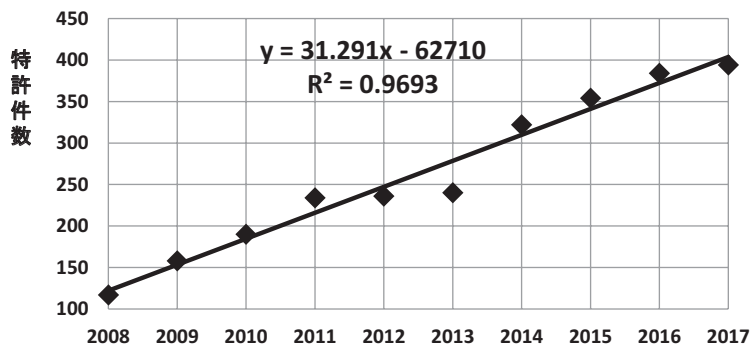


図27 神経伝達物質に関する眼の疾患の用途開発

図28は心臓血管疾患用途に関する神経伝達物質の成長時代のイノベーションを示している。2008年から2017年までのイノベーションは、 $y = 24.115x - 48290$  寄与率  $R^2 = 0.9679$  に従い直線的に成長している。注目すべき特許は、特表2010-523651 「改善された心血管副作用プロファイルを呈する、ドーパミン受容体安定剤／調節剤のN-オキシド誘導体及び／又はジ-N-オキシド誘導体」 イヴァックス インテルナツィオナール ゲゼルシャフト ミット ベシュレンクテル ハフツングである。

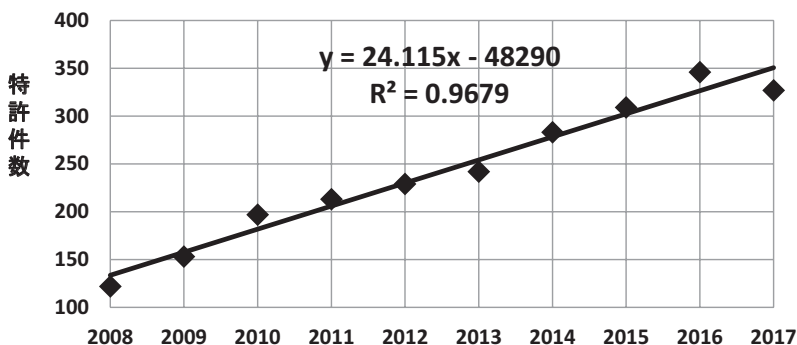


図28 神経伝達物質に関する心臓血管疾患の用途開発

図29は慢性疼痛用途に関する神経伝達物質の成長時代のイノベーションを示している。2008年から2017年までのイノベーションは、 $y = 20.479x - 41070$  寄与率  $R^2 = 0.955$  に従い直線的に成長している。注目すべき特許は、特開2013-216669 「神経因性疼痛の治療のための、組み合わせられたセロトニンおよびノルエピネフリン再取り込み阻害を有する4-[2-(4-メチルフェニルスルファニル)-フェニル] ピペリジンの結晶形」 ハー・ルンドベック・アクチエゼルスカベット，特表2013-525372 「疼痛治療のためのセロトニン・ノルエピネフリン再取り込みインヒビターとオピオイド作動物質との組み合わせ」 セラヴァンス バイオフィーマーアール&ディー アイピー，エルエルシー，特表2010-515769 「疼痛を治療するためのモルホリンドーパミン作動薬」 ファイザー・リミテッド，特表2009-539890 「神経因性疼痛の治療のための、組み合わせられたセロトニンおよびノルエピネフリン再取り込み阻害を有する4-[2-(4-メチルフェニルスルファニル)-フェニル] ピペリジンの結晶形」 ハー・ルンドベック・アクチエゼルスカベットである。

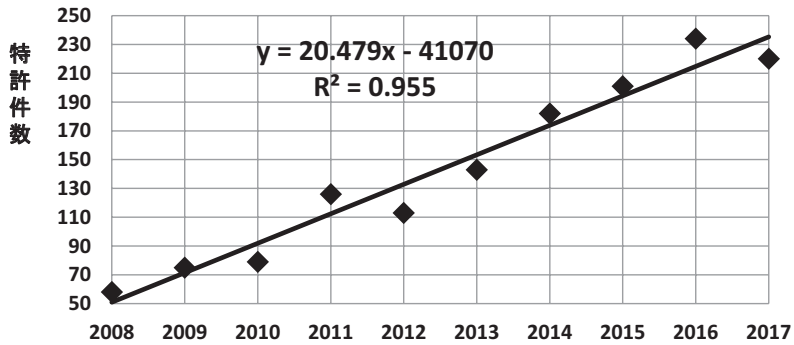


図29 神経伝達物質に関する慢性疼痛の用途開発

図30はアルツハイマー病用途に関する神経伝達物質の成長時代のイノベーションを示している。2008年から2017年までのイノベーションは、 $y = 18x - 36039$  寄与率  $R^2 = 0.9537$  に従い直線的に成長している。注目すべき特許は、特開2015-160845 「セロトニン産生促進を企図する組成物及びこの組成物を有効成分として含有するアルツハイマー病予防・治療剤」 株式会社インタートレードである。

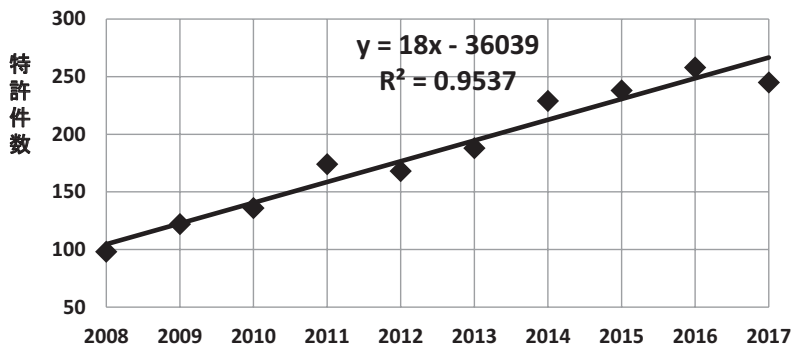


図30 神経伝達物質に関するアルツハイマー病の用途開発

図31は認知症用途に関する神経伝達物質の成長時代のイノベーションを示している。2008年から2017年までのイノベーションは、 $y = 17.255x - 34644$  寄与率  $R^2 = 0.9468$  に従い直線的に成長している。注目すべき特許は、特表2011-502966 「ドーパミントランスポーターレベルを評価することによるレビー小体型認知症の診断およびレビー小体型認知症の処置のモニタリングのための方法」 アルセレス ファーマシューティカルズ, インコーポレイテッドである。

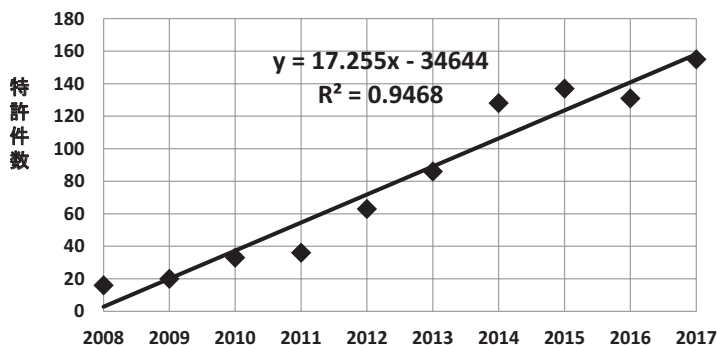


図31 神経伝達物質に関する認知症の用途開発

図32は糖尿病用途に関する神経伝達物質の成長時代のイノベーションを示している。2008年から2017年までのイノベーションは、 $y = 25.673x - 51414$  寄与率 $R^2 = 0.9454$ に従い直線的に成長している。注目すべき特許は、特開2010-24198 「ドーパミンD2様受容体アゴニストを有効成分とする、1型糖尿病の治療又は予防のための医薬及びスクリーニング方法」 有限会社イムノである。

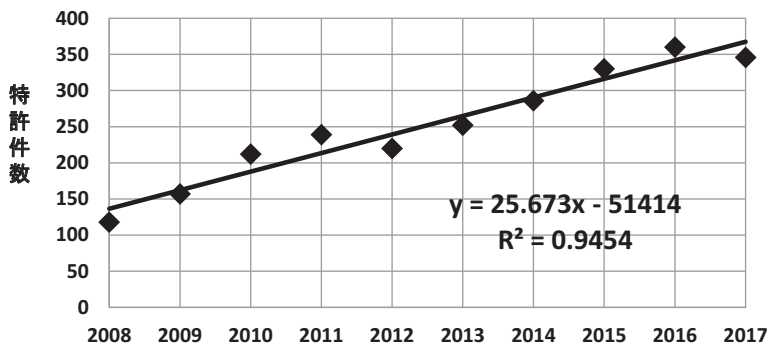


図32 神経伝達物質に関する糖尿病の用途開発

図33は睡眠障害用途に関する神経伝達物質の成長時代のイノベーションを示している。2008年から2017年までのイノベーションは、 $y = 14.182x - 28419$  寄与率 $R^2 = 0.9135$ に従い直線的に成長している。注目すべき特許は、特開2011-162557 「鎮静剤と神経伝達物質調節剤の併用、および睡眠の質の向上方法および鬱の治療方法」 サノビオン ファーマシューティカルズ インク、特開2010-59195 「睡眠時無呼吸に対する処置のための、セロトニン関連活性を有する薬剤」 ザ ボード オブ トラスティーズ オブ ザ ユニヴァーシティ オブ イリノイ、特表2010-521501 「睡眠および認知に関するうつ病における残存症状の治療のための

組み合わせられたセロトニン再取り込み、5-HT<sub>3</sub>および5-HT<sub>1A</sub>活性を有する化合物としての1-[2-(2,4-ジメチルフェニル)スルファニル] フーハー・ルンドベック・アクチエゼルスカベットである。

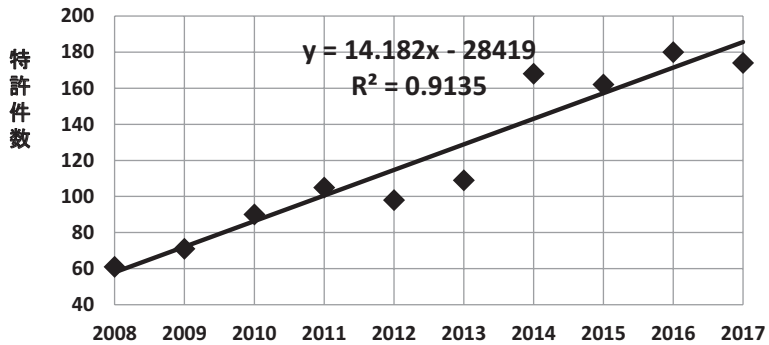


図33 神経伝達物質に関する睡眠障害の用途開発

図34はパーキンソン病用途に関する神経伝達物質の成長時代のイノベーションを示している。2008年から2017年までのイノベーションは、 $y = 19.861x - 39783$  寄与率  $R^2 = 0.889$  に従い直線的に成長している。注目すべき特許は、特表2017-515905 「パーキンソン病の処置に使用するためのドーパミンを含む医薬溶液」 サントル・ホスピタリエ・レジオナル・エ・ユニヴェルシテール・ドゥ・リール、特開2015-180211 「パーキンソン病を治療するためのドーパミン作動性ニューロンおよび増殖能のある前駆細胞」 アステリアス バイオセラピューティクス インコーポレイテッド、特表2014-508188 「パーキンソン病におけるドーパミン誘発ジスキネジアに使用するためのアルファ7ニコチン性アセチルコリン受容体アクティベーターとmGluR5アンタゴニストの組み合わせ剤」 ノバルティス アーゲー、特表2013-541505

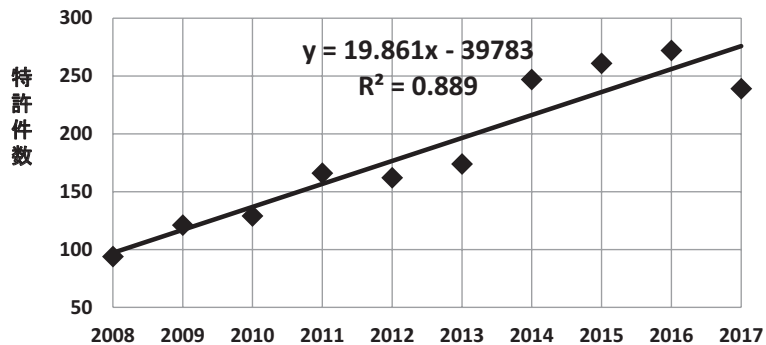


図34 神経伝達物質に関するパーキンソン病の用途開発

「パーキンソン病におけるジスキネジアを治療するための新規D3ドーパミン受容体アゴニスト」 フィラデルフィア ヘルス アンド エデュケーション コーポレイション ドゥーイング ビジネス アズ, 特表2013-523776 「パーキンソン病および脳のドーパミン作動性ニューロンのその他の障害を処置する方法」 セレジーン インコーポレイテッド, 特開2010-158242 「パーキンソン病を治療するためのドーパミン作動性ニューロンおよび増殖能のある前駆細胞」 ジェロン・コーポレーションである。

図35は鬱病用途に関する神経伝達物質の成長時代のイノベーションを示している。2008年から2017年までのイノベーションは、 $y = 9.1636x - 18314$  寄与率 $R^2 = 0.8578$ に従い直線的に成長している。注目すべき特許は、特開2012-211145 「うつ病及び関連する障害を治療するための、選択的セロトニン再取り込み阻害剤およびグルココルチコイド受容体拮抗薬を含む薬物組み合わせ」 エム・エス・ディー・オス・バー・フェー, 特表2010-521502 「ADHD, メランコリー, 治療抵抗性うつ病またはうつ病における残存症状を処置するためのセロトニンおよびノルエピネフリン再取り込み阻害と組み合わせた4-[2-(4-メチルフェニル)スルファニル)フェニル]」 ハー・ルンドベック・アクチエゼルスカベット, 特表2008-520625 「うつ病を治療するための、選択的セロトニン再取り込み阻害剤およびグルココルチコイド受容体拮抗薬を含む薬物組み合わせ」 エム・エス・ディー・オス・バー・フェーである。

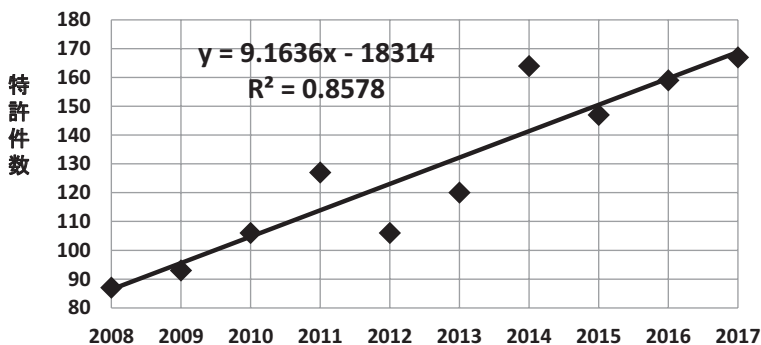


図35 神経伝達物質に関する鬱病の用途開発

さらに、神経伝達物質の成長時代において、耳の疾患に関する用途開発 ( $y = 15.867x - 31819$  寄与率 $R^2 = 0.9804$ ), 脳卒中に関する用途開発 ( $y = 13.606x - 27285$  寄与率 $R^2 = 0.909$ ), 過敏性腸症候群に関する用途開発 ( $y = 5.4303x - 10882$  寄与率 $R^2 = 0.8662$ ), 癲癇に関する用途開発 ( $y = 6.3636x - 12734$  寄与率 $R^2 = 0.8951$ ), 欠陥多動性障害に関する用途開発 ( $y = 4.1333x - 8294.3$  寄与率 $R^2 = 0.847$ ) などが広く行われている。

以上のように、成長時代のイノベーションは、人間社会に役立つ用途開発を主体に進行し、

人間社会が成長時代のイノベーションに対して重要な役割を果たしていることが判明した。

#### 4章 萌芽時代主導イノベーションと成長時代主導イノベーションとの比較

図36の実線は「萌芽時代主導イノベーション」を示し、破線は「成長時代主導イノベーション」を示している。萌芽時代主導イノベーションは、初期において科学技術が爆発的に進展し、イノベーションを強く牽引するが、その後の成長時代のイノベーションの拡大はそれほど大きくなく、成長時代はあまり長く続かない。一方、成長時代主導イノベーションは、初期の科学技術によるイノベーションを牽引する力が弱く、萌芽時代は短いが、成長時代のイノベーションの成長が力強く、かつ、長く続く特徴を持っている。

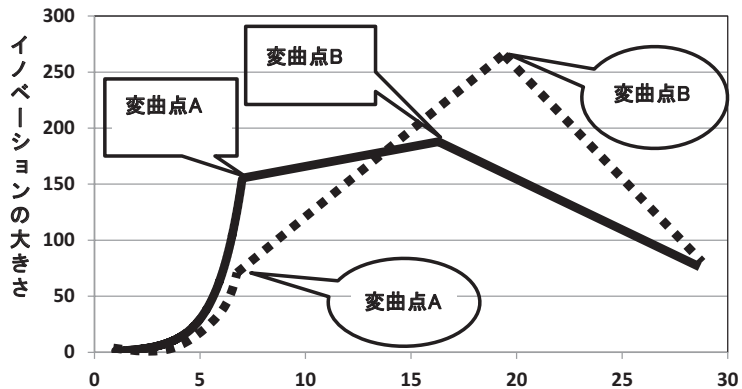


図36 萌芽時代主導と成長時代主導のイノベーション

萌芽時代主導イノベーションは「サイエンス・ドリブン・イノベーション」であり、成長時代主導イノベーションは「ソーシャル・ドリブン・イノベーション」と言い換えることができる。「サイエンス・ドリブン・イノベーション」は、純粋なサイエンスが主体的に進行し、「ソーシャル・ドリブン・イノベーション」は、純粋なサイエンスではなく、人間社会の主導するテクノロジーが主役を演ずる。

本論文で調査した事例のすべては、萌芽時代主導イノベーションと成長時代主導イノベーションのどちらかに分類できる。

萌芽時代主導イノベーションと成長時代主導イノベーションは、共に典型的なイノベーションであり、いずれも萌芽時代、成長時代、絶滅時代の3時代を経験する。しかし、図36に示すように、2つのイノベーションは、進化プロセスが大きく異なる。指数関数的急成長を特徴とする萌芽時代主導イノベーションは、直線的に増加する成長時代が緩やかで、かつ、短期間で

ある。逆に、成長時代主導イノベーションは、指数関数的急成長が短い、直線的な増加が長期間に継続することが特徴である。成長時代主導イノベーションは、指数関数的急成長が見落とされるほど短い場合があるが、必ず指数関数的急成長の期間が存在する。

また、萌芽時代主導イノベーションは、絶滅時代の減少が緩やかで長期の絶滅時代になる傾向が強い。逆に、成長時代主導イノベーションは、絶滅時代の減少が急激で絶滅時代は短くなる傾向がある。これは、萌芽時代主導イノベーションが、主に純粋なサイエンスに由来しているため、その研究開発の過程で培われた多様性が豊富であり、多様なイノベーションの萌芽を活用した新たな研究開発が行われるため、絶滅時代が比較的長く、かつ、減少速度が緩やかになると考えられる。

ところが、成長時代主導イノベーションは、萌芽時代が短く、サイエンスによる多様性が醸成される時間が少ないため、絶滅時代に入ると急激な減少に歯止めがかからない場合が多くなると考えられる。この意味から、萌芽時代の多様性の拡大は、イノベーションの進化を考える上で非常に重要な役割をしていると言える。

成長時代のイノベーションに対して人間社会の制約や規制が厳し過ぎると、萌芽時代に培われた貴重な多様性が選択され過ぎて極端に減少する場合がある。多様性が新たなイノベーションの原動力になることは間違いない。そのため、人間社会が多様性を削ぎ落し過ぎると、絶滅時代に行われる再生に必要なイノベーションの萌芽も同時に削ぎ落す危険がある。

萌芽時代主導イノベーションは、成長時代において人間社会からの強い抑圧の中を生き延びる。一方、成長時代主導イノベーションは、早い段階で科学技術から人間社会へのバトンタッチが行われ、人間社会に順応するイノベーションに育成される。成長時代主導イノベーションは、人間社会の要望や期待を利用したイノベーションであり人間社会と共生しやすい。しかし、成長時代主導イノベーションは、人間社会の都合で成長時代に増加させられるだけでなく、人間社会の都合で絶滅時代も急激な減少を余儀なくされることになる。逆に、萌芽時代主導イノベーションは純粋なサイエンスによる多様性に優れているため、絶滅時代においても生き延び、新たな分野で異なるイノベーションを誕生させることが少なくない。

萌芽時代主導イノベーションと成長時代主導イノベーションの内、どちらのイノベーションが正解であるかは、将来の人間社会が決めることになる。重要なことは、我々が体験するイノベーションがどちらであるかを正確に見極めて取り扱うことである。

## 5章 考察

### 5-1 何故、イノベーションには2つの変曲点が存在するのか

萌芽時代は指数関数的にイノベーションが進行する。これは萌芽時代における科学技術だ



けがこの時代を掌握するため、イノベーションが指数関数的に成長すると考えられる。オリヴァー・ガスマンらは、「技術革新のスピードは速いが、直線的な伸びをするのではなく指数関数的に進む。今日の技術はほんの数年前までの技術と大きく異なり、時が進むにつれて発展のスピードは加速を続けている<sup>17)</sup>」と述べている。科学技術の特性（収穫加速の法則<sup>18)</sup>）から、萌芽時代のイノベーションが指数関数的に進むのは、極めて自然な現象である。

ところが、イノベーションは、「ある時」を境に指数関数的急成長を中止し直線的な成長に移行する。本論文では、「ある時」を萌芽時代から成長時代への転換と仮定し、多くの事例研究を行い検証した。成長時代が指数関数的に急成長しないことから、科学技術が先導する萌芽時代とは、そのメカニズムが根本的に異なることは間違いない。成長時代では、科学技術の影響が薄まり、人間社会の影響を強く受けるため、成長の速さが変化し、「変曲点A」が出現すると考えられる。成長時代では、イノベーションの萌芽が人間社会の環境や文化に適合するため選択による淘汰が起きる<sup>19)</sup>。その結果、指数関数的急成長は難しくなり、生き残ったイノベーションだけが直線的に拡大すると考えられる。

次に続く絶滅時代は、イノベーションが社会変化や想定外の異なるイノベーションに駆逐され直線的に減少するため、新たな「変曲点B」が現れる。この絶滅時代のイノベーションは、単純に衰退し消滅するのではなく、新たなイノベーションを誕生させる重要な時代である。この絶滅時代は、想定外の社会変化の中で生き延びるために、科学技術の要素ごとに分解され再組織化され、新たなイノベーションの萌芽を模索する時代でもある。換言すると、「変曲点A」はイノベーションを科学技術から人間社会へのバトンタッチする時であり、「変曲点B」は新たなイノベーションへバトンタッチする時である。

人間社会は、科学技術によるイノベーションを人間社会にとって望ましいものか、不都合なものかを見極め、それを修正すべきか、そのまま進展させるべきかを判断する。人間社会は、この時期から急激にイノベーションへの関与を強める。この人間社会の関与の強弱が指数関数的急成長から直線的成長への変曲点を決定すると考えられる。

---

17) オリヴァー・ガスマン他著 渡邊哲訳 [2016]「ビジネスモデルナビゲーション」翔泳社

18) 収穫加速の法則は、一つの発明が他の発明と結び付き次の発明の登場までの時間を短縮するため指数関数的に進歩することである。

19) 生物の進化は、変異が自然選択により選択的に蓄積し新たな種が生まれ、この種の【繁殖率】が他を圧倒していると生き残ることを意味する。本論文のイノベーションの進化では、人間社会の選択により蓄積した特徴的な新たなイノベーションが生まれ、この生まれたイノベーションの人間社会における【普及率】が他のイノベーションを圧倒していると、そのイノベーションの特徴が選択的に次世代に受け継がれ、生物の進化と同じように、イノベーションも進化すると考えた。すなわち、イノベーションの人間社会における【普及率】を、生物の進化の【繁殖率】と考えた。

仮説の前半の「指数関数的に進む萌芽時代では科学技術がイノベーションを先導するが、成長時代では人間社会がイノベーションを減速させる」は、グラフェンと神経伝達物質と仮想通貨とレーザー顕微鏡とナノクリスタルの事例から検証できた。

また、仮説の後半の「その後の社会変化がイノベーションをさらに減速させる」は、チタン、タンゲステン、アルミニウム、ニッケル、シリコン、クロム、パラジウム、コバルト、マグネシウム、バナジウムの事例から検証できた。

虫明元は、「人間の脳は常に事態を予測しながら、予想通りか予想外か判断して、自分の周辺で起こる事態をモニタリングする働きがある。そして、その中に予想外の出来事や驚きがあると、その内容に応じて学びが始まり、予測できるようになると学びが終わる<sup>20)</sup>」と述べている。人間社会は、通常の世界では存在しない指数関数的急成長を予想外の出来事と捉え、それに感心し興味を持つ。イノベーションは人間社会に発見してもらうために、あえて指数関数的に急成長していると言っても過言ではない。

イノベーションと人間社会の関係は花と昆虫の関係に酷似する。花は昆虫のお蔭で遠くに花粉を運び子孫を広範囲に残すことができ、昆虫も花から恩恵を受ける。そのため、花は昆虫に興味を持ってもらうために、綺麗な花びらや芳しい香りを放つ。イノベーションは人間社会に気づいてもらうため、指数関数という刺激的な変化で人間社会の興味を掻き立てる。人間社会はイノベーションの急激な変化に敏感に反応し、イノベーションは人間社会に根付くことができ、同時に人間社会はイノベーションから多大な恩恵を受ける。逆に、人間社会が変化に気づかない控え目なイノベーションは大成しない。イノベーションは、人間社会に気づいてもらった後、イノベーションの速度は指数関数である必要はなく、直線的な速度にギアチェンジし、人間社会と歩調を合わせる。これがイノベーションの萌芽時代と成長時代の「変曲点A」の根源であり、人間社会というイノベーション減速装置の稼働が「変曲点A」を作り出している。重力やエネルギーが時空を曲げるように、人間社会がイノベーションを曲げる。

## 5-2 何故、人間社会はイノベーションを減速させるのか<sup>21) 22) 23)</sup>

イノベーションを考える上で最も注視すべきことは、イノベーションが人間社会をどのよう

---

20) 虫明元 [2018]「学ぶ脳」岩波書店

21) 村山博「日本企業の研究開発の絶滅と誕生に関する研究（その1） 仮説「研究開発は直線的に絶滅し指数関数的に誕生し、その絶滅と誕生は同期する」」（単著/2018年2月/『桃山学院大学環太平洋圏経営研究』第19号/桃山学院大学総合研究所/pp344）

22) 村山博「日本企業の研究開発の絶滅と誕生に関する研究（その2） 仮説「研究開発の絶滅時期は、研究開発を減少させる企業ではなく、逆に研究開発を増加させる企業が決める」」（単著/2018年2月/『桃山学院大学環太平洋圏経営研究』第19号/桃山学院大学総合研究所/pp45-92）

に变革するのではなく、人間社会がどのようにイノベーションを選択し、人間社会がイノベーションをどのように受け入れるかである。イノベーションの根源は人間社会との関係性にあり、イノベーションが人間社会と切り離されて科学技術単独で存在することは絶対にない。人間社会による取捨選択と言う洗礼を受けなければ、いかなるイノベーションも起こりえない。人間社会とイノベーションの関係性を研究することは、イノベーションの本質を理解するために極めて重要である。しかし、この関係性は成長時代だけで成立し、萌芽時代のイノベーションは人間社会の制約や規制や圧力の影響を受けることが極めて希である。

純粋に科学技術だけが支配する萌芽時代は、その萌芽が著しく多様化するが、それぞれは競争相手ではなく、異なるベクトルを持って自由気ままに成長する。この自由な成長は制約などが一切ないため、科学技術は本来の成長速度である指数関数に従って進む。

指数関数的に急成長するイノベーションの萌芽は、人間社会が作り出す制約や規制や圧力の影響を受け淘汰される。これが成長時代の本質である。人間社会は、科学技術が好き勝手に成長したものを、そのままの形で受け入れることはなく、それを人間社会に適合させるプロセスを経由した後、受け入れ可否の最終判断をする。

人間社会は、先ずイノベーションの萌芽を、都合の良いもの、都合の悪いもの、役に立つもの、役に立たないものなどに分解する。イノベーションの萌芽は機能や効用ごとに細かな部品に裁断された後、その部品が再び融合し合体される。ここで重要なことは、この裁断・融合・合体のプロセスは、より優れた科学技術に進むとは限らず、人間社会に都合の良い方向に進む傾向が強いことである。

人間社会は自分勝手な選択権を持っていると言える。もちろん、イノベーションと人間社会はそれぞれを変化させて互いに共存する道を探す努力をするが、選択権は人間社会が握っており、最終的にイノベーションは人間社会に服従することになる。人間社会は、イノベーションの優秀性や卓越性や将来性を考えた科学的で合理的な選択ではなく、好みや印象や感覚による非科学的で利己的な選択を行う。人間社会は、自分好みにブラッシュアップし、自分に都合の良いイノベーションに造り直すなど、自分の思いどおりの取捨選択を繰り返すことを常とする。

成長時代において、一部のイノベーションの萌芽は駆逐されるが、人間社会が作り出す制約や規制や圧力に適合し生き残ったイノベーションの萌芽だけがイノベーションへの特進を果たす。つまり、人間社会とイノベーションは休戦協定を結び、晴れて人間社会に承認されるだけがイノベーションになる。これはあくまで休戦協定の下での出来事であり、突然、人間社会

---

23) 村山博「日本企業の研究開発の絶滅と誕生に関する研究(その3) 仮説「研究開発の絶滅が作り出すブルーオーシャンにはイノベーションが宿り、その好機が存在する」」(単著/2018年2月/『桃山学院大学環太平洋圏経営研究』第19号/桃山学院大学総合研究所/pp93-132)

が一方向的に休戦協定を破棄することもある。さらに、たとえ承認されたイノベーションでも、人間社会の影響を強く受けるため、足踏みを余儀なくされる。そのため指数関数的な速度が許されず、直線的な速度になる。すなわち、科学技術によって猛烈な速度で力走してきたイノベーションは、人間社会と仲良く伴走するために減速を強いられる。

人間社会は、法規制や社会規範や伝統文化や不文律という詭弁を弄した理屈を持ち出して、イノベーションを強制的に減速させる。科学技術が秩序なく破壊的に進み過ぎると、人間社会は今まで築き上げた社会が崩壊するのではないかとの恐怖に苛まれる<sup>24) 25)</sup>。人間社会は、それを回避するため、人間社会にとって不慣れな指数関数的急成長から馴染みのある直線的成長に減速させる。

換言すれば、成長時代は、指数関数的進化を食い止めイノベーションを人間社会の速度に減速させる時期であり、そのためには人間社会はイノベーションの退歩<sup>26)</sup>も厭わない。人間社会は、イノベーションにとって強い味方や応援者や信奉者であると同時に、減速を強制する恐ろしい敵でもある。重要なことは、このような矛盾する人間社会との関係性が、皮肉にもイノベーションの進化の原動力<sup>27)</sup>になっていることである。人間社会が最新のイノベーションを

24) 中原圭介 [2018]「日本の国難」講談社現代新書

「アメリカの小売業界では近年、大手の経営破綻や大規模な店舗閉鎖が相次いでいる。2017年に閉鎖した大手の小売店舗は8000店を超える。その背景にはアマゾンを中心とするインターネット通販【アマゾン・ショック】がある。実店舗を展開する小売業が必要とする従業員数は売上高100万ドルあたり3.5人、ネット通販では0.9人。実店舗のシェアが1%低下すれば、雇用数は13万人減少する。工場の完全無人化は生産性を高め雇用を減少させる。銀行・生保・損保業界は人員を削減させる。無人レジ、無人倉庫、無人運転、小売の無人化が加速する。弁護士、公認会計士、医師の仕事の多くはAIが奪う」

25) 浪川攻 [2018]「銀行員はどう生きるか」講談社現代新書

「銀行の人員削減、三菱UFJ銀行6000人削減、三井住友銀行4000人削減、みずほ銀行1万9000人削減。フィンテックを駆使したIT企業は、それまで銀行が人手で対応してきた事務作業のシステム化を実現し、銀行より効率的で、顧客にとって低コストの金融サービスを提供し始めた。インターネットバンキングが急速に広がった。セルフ型多機能端末と無人店舗が増加している。銀行では無事に定年を迎える人はいない。ほぼ全員が50歳前後になると、長年親しんだ銀行を去っていく」

26) 進化は進歩だけでなく退歩も含まれるため、人間社会が強制する退歩も進化と言える。ダーウィンは、同じ種類の生物でも環境によって形態の変化が現れる原因に「自然選択」という表現をしたが、本論文では「イノベーションにおいて人間社会が強制する退歩という進化」は「人為選択」と考える。すなわち、イノベーションは、「科学技術による自然選択」と「人間社会による人為選択」の両方を満たす限られた条件で成り立つ。生物の突然変異が生き残って子孫を残す可能性は繁殖率が決める。イノベーションは、「人間社会による人為選択」との相関が強いため、人間社会におけるイノベーションの普及率（繁殖率と同義）がイノベーションの成否を決める。その普及率は人間社会の意図により制御可能である。逆説的に、「人間社会がイノベーションに強制する退歩」が、その普及率を向上させ、イノベーションが進化することも少なくない。

拒絶すればするほど、ますます進化したイノベーションが人間社会に受け入れを迫り、それは受け入れが許可されるまで間断なく繰り返される。

たとえイノベーションの萌芽が発芽しても、成長時代の淘汰に勝ち抜かないと、イノベーションに昇華できない。たとえば、少子高齢化による人手不足が人工知能やロボットや自動運転車の動きを加速させているが、人間社会が受け入れの最終決定をしない限りイノベーションは起きない。これはイノベーションが人間社会と共に生きることを強いられるためである。つまり、イノベーションは人間社会と共に進化する運命共同体となり、結果として人間社会はイノベーションの速度を支配することになる。

ちなみに、1900年代初頭、電気自動車が自動車全体の4割を占め自動車の主流であった。二番手は蒸気自動車で、ガソリン自動車は三番手であった。ところが、当時の人間社会は、三番手のガソリン自動車を選択した。

皮肉にも、今、電気自動車がガソリン自動車を駆逐し自動車の覇者になろうとしている。しかし、研究開発途中で未完成な電気自動車が次世代自動車の主役になることを、誰一人として明確に説明できない。あえて説明すれば、化石燃料を使い尽くし地球温暖化を加速させるガソリン自動車を阻止しようとする人間社会からの強要がある。自動車公害に苦しむ中国政府の電気自動車優遇策<sup>28)</sup>、米国カリフォルニア州の厳格な排ガス規制など、ガソリン自動車に比べ技術的に未熟な電気自動車を強力に後押しする人間社会が存在する。このようにイノベーションは、科学技術の進歩で進むのではなく、その時代の人間社会が決定していることは明らかである。

さらに、発電所で化石燃料を燃焼させて作った電気をエネルギーとする電気自動車は、走行する都市部の空気を汚さないが、火力発電所を含む地球全体から見ればガソリン自動車と大差ないと考える人間社会のコンセンサスが優勢になれば、電気自動車を経由せず、一足飛びに水素を燃料とする燃料電池車に移行する可能性を秘めている。

---

27) 【皮肉なイノベーションの進化の原動力】 人間社会が最先端の科学技術を受け入れないと、それを代替する新たなイノベーションの萌芽が必ず生まれる。生まれたイノベーションが人間社会に受け入れを迫り、それは受け入れが許可されるまで間断なく繰り返される。すなわち、人間社会がイノベーションを拒絶すればするほど、イノベーションの持つエネルギーがますます高まり、イノベーションが進化することになる。本論文では、これを【皮肉なイノベーションの進化の原動力】と呼ぶ。

28) 中国政府の電気自動車優遇策は、中国にとって一石二鳥の政策である。この電気自動車優遇策は、排ガス削減による公害対策だけでなく、地政学リスクの高いネオジウムなどの希土類元素による中国の世界戦略を考えておくべきである。中国は実質的に全世界で唯一の希土類元素生産国である。ネオジウムなどの希土類元素は電気自動車の磁性材料に必須である。すなわち、世界で走る自動車が電気自動車になれば、中国の希土類元素が世界を牛耳る最強兵器に変わる。このようにイノベーションは、科学技術の進歩で起きるのではなく、人間社会がイノベーションを故意に作り出しているものと考えられるべきである。

燃料電池車の最新技術が、電気自動車と同様に、まだ完璧なものではないことは周知の事実である。しかし、それらの技術開発競争が次世代自動車を決定するのではなく、燃料電池車か電気自動車かの決定権は利己的で移り気な人間社会が握っていることを忘れてはならない。

また、自動運転車は人間社会の強い要請で生まれようとしている。自動運転車は、交通事故を減らせ、交通渋滞を減らせ、駐車場を減らせ、物流コストを減らせ、運転手の人手不足を解消できる可能性がある。自動運転車によるイノベーションも、人工知能や最先端センサー技術の研究開発の成否ではなく、人間社会が決定権を持っていることは間違いない。

### 5-3 何故、人間社会はイノベーションの変曲点を決定するのか

たとえ100年後の未来の自動車を現時点で造ることができたとしても、今は単なる発明で終わり、社会を巻き込んだイノベーションが起きることはない。イノベーションは特定の時代だけに存在できる特性があるため、その時代を間違えるとイノベーションは存在を許されない。すなわち、イノベーションは、限られたタイミングで起き、それより遅すぎても早すぎても、人間社会はイノベーションの変曲点を決定しない。

人間社会が受け入れ可能なタイミングでないならば、たとえ画期的な最先端の科学技術でもイノベーションに昇華できない。逆に、科学技術が不完全または未完成であってもイノベーションは起きる。最先端の科学技術による発明はイノベーションの必要条件ではなく、陳腐で使い古された技術がイノベーションを起こすことは非常に多い。手垢の付いた過去の科学技術でも、人間社会が待ち望むタイミングであれば、社会を揺るがすイノベーションを起こす。イノベーションにとって科学技術はスタートの号砲という表現が的確であり、その科学技術自体の先進性はあまり大きな意味を持たない。

ちなみに、ダイナマイトの原料のニトログリセリン（三硝酸グリセリン $C_3H_5(NO_3)_3$ ）は、今では狭心症の薬である。ファイザー製薬のバイアグラは当初狭心症の特効薬として開発されたが、今ではED治療薬として全世界で広く使用されている。食中毒の原因のボツリヌス菌は、今では過活動膀胱炎や慢性偏頭痛の治療薬に使われている。第一次世界大戦の毒ガスのマスタードガスは、後に世界初の抗がん剤となった。2014年3月に富山化学（富士フィルムが買収）のアピガン錠がH5やH7等の新型インフルエンザ治療薬として承認された。ところが、今やアピガン錠は西アフリカで猛威をふるうエボラ出血熱の特効薬として使用されている。大量の水素を貯蔵する目的で開発された水素吸蔵合金は、今では電極材料として使用されている。これらの事例は、昔の古い技術や既存の製品でさえも、人間社会が待ち望むタイミングであれば、人間社会が歓喜するイノベーションになることを明示している<sup>29)</sup>。

---

29) 古い科学技術を利用するイノベーションでも、萌芽時代は必ず存在する。

ちなみに、ある雑草はすぐには芽を出さず、他の雑草の発芽のタイミングと同じにならないように、そのタイミングを調整する。日本タンポポ、ヒガンバナ、カラクサシダなどは夏眠で他の植物との戦いを避ける。我々は、イノベーションのタイミングに関して、絶妙な発芽のタイミングを操る雑草に教えを請う必要がある。

一般的にイノベーションが人間社会にとって都合の良いことは希である。過去の産業革命が我々の雇用を大きく縮小させた事実を持ち出すまでもなく、イノベーションが、人間社会に恩恵をもたらすだけでなく、人間社会に牙を向く存在であることを誰も否定しない。

多くの場合、人間社会は、諸手を挙げてイノベーションを受け入れることはなく、イノベーションを忌み嫌い、強硬に排斥する妨害運動を展開する。そのため、イノベーションの成長時代において、イノベーションが人間社会との共存を認めてもらうために、イノベーションと人間社会は折り合いをつけるタイミングと落とし所を探すことになる。以上のように、イノベーションは人間社会にその進行を妨げられる結果、変曲点が現れる。イノベーションの難しさは、イノベーション自身が制御できない人間社会の寄与があまりにも大きいことである。重要なことは、イノベーションが脇役であり、人間社会が常に主役であることである。主役を守り立て脇役に徹することが、イノベーションの開花を早めるのは間違いない。

#### 5-4 何故、イノベーションは科学技術と人間社会の積になるのか

イノベーションが科学技術と人間社会の足し算（和）ではなく掛け算（積）になる理由は何か。科学技術は常にプラス方向に進むが、人間社会はプラス方向だけでなく、マイナス方向にあえて進むこともある。すなわち、科学技術自体が革新的で画期的であっても、人間社会がマイナスのサインを出せば、イノベーションによるパラダイムシフトは絶対に起きない。これはイノベーションが科学技術と人間社会の積になるために生じる現象である。人間社会は、危急存亡のときマイナスからプラスに変え、突如イノベーションが始まることがある。これもイノベーションが科学技術と人間社会の積の法則から説明できる。

科学技術の研究開発は一握りの優秀な人間だけで可能であるが、イノベーションは人間社会の全面的な支援が必須になる。科学技術の規模は小さいが、一度人間社会が受け入れると、科学技術と人間社会の積の法則により、大規模なイノベーションに発展する。

近年、ICT情報通信技術による科学技術の進歩は目覚ましい。ICTイノベーションは、自動化、ロボット化で人間が働く必要のない無人工場を造っただけでなく、製造業のサービス業化に大きく寄与した。アップルは音楽配信でサービス価値を高め、ソニーは銀行、保険、ゲームなどでサービス業化し、トヨタ自動車は販売、修理、保険など自動車を取り巻くサービスの価値を高めた。このように、イノベーションの想定外で広範囲な適応拡大が、イノベーションの規模を決定する。これもイノベーションが科学技術と人間社会の積になる法則から説明できる。イ

ノベーションを活用したサービスの規模が大きくなれば、そのビジネスとしての効率が高まり、イノベーション自体が持つエネルギーを拡張させ、イノベーションがさらに進化する。

科学技術を人間社会に適合させ、その適応範囲を拡大することがイノベーションの成否を握っている。科学技術には一つの真理が存在するが、イノベーションには正解が二つ以上存在する場合が少なくない。このようにイノベーションを複雑化させるのは人間社会が関係しているためである。イノベーションは、その規模に比例して影響力を増大させるが、その規模は人間社会が幅広く受け入れるかどうか（イノベーションの普及率）で決定される。すなわち、イノベーションをスタートさせる科学技術の先進性や革新性ではなく、イノベーションの成否は科学技術と人間社会の積の法則により最終評価が下る。このため、科学技術よりも規模の大きい人間社会は、イノベーションへの寄与が遥かに大きく、その重要性が高い。

グーグル、アマゾン、フェイスブック、アップルが規模の拡大を最優先する理由は、イノベーションが科学技術の革新性ではなく、人間社会がイノベーションを決定することを理解しているためである。これらのIT企業は、市場を寡占状態にし、さらに進んだ市場独占を目指す。これらの事実は、イノベーションが科学技術と人間社会の積の法則に従うことから説明できる。

#### 5-5 何故、科学技術の先進性よりも、多様性が優先されるのか

アップルのiPodが発売される前に、すでにアップル以外の約10社から同種の音楽プレーヤーが発売されていた。ところが、先行していた各社はすべて消え去り、後発のアップルが市場を独占した。このようにイノベーションは最先端の科学技術が起こすことは希である。逆に、手垢の付いた古い科学技術がイノベーションを起こす例が少なくない。最新技術がダイレクトにイノベーションに連結しないのか。逆に、過去の科学技術から、イノベーションがスタートする場合が非常に多いのは何故か。これらを考察するのが本項の目的である。

成長時代は、萌芽時代に見いだされた科学技術をその時代の人間社会に連結するプロセスと言える。その連結プロセスで、小さな科学技術の要素に分解され、その時代の人間社会に適合した要素は異なる要素と組み合わせられる。このため、多様な要素を持つイノベーションの萌芽ほど人間社会は受け入れやすい。そのため、イノベーションは科学技術の先進性よりも、多様性が優先されると考えられる。多様性は、「人間社会からの選択されやすさ」という重要な役目を担っている。一方、先進性は、次に説明する地政学リスクのように、人間社会から冷酷な仕打ちを受ける場合が少なくない。

特殊な性質を持った希少な金属材料が最先端の科学技術を誕生させてきたことは周知の事実である。スマートフォン、コンピューター、自動車に多用される希少金属は、最先端テクノロジーの立役者である。しかし、最先端の金属材料は、地球の限られた地域から産出される場合が多い。特定の地域に偏って採掘できることを知った産出国は、それらの金属材料を政治や軍



事や外交に利用し始めた結果、価格を急激に上昇させ、供給不安を増大させている。そこで、人間社会は先進的な科学技術を断念し、それとは異なる道の多様性を優先させることが多くなる。このような地政学リスク<sup>30)</sup>は、人間社会がイノベーションにブレーキをかける典型例である。

ちなみに、タングステンの産出は中国が全世界の82%占め、コバルトの産出はコンゴ民主共和国が全世界の60%を占め、パラジウムの産出はロシアと南アフリカ共和国の2か国だけで全世界の85%を占め、クロムの産出は南アフリカ共和国だけで50%を占め、カザフスタンとインドを加えた3か国だけで全世界の77%を占めている。ネオジウムなどの希土類元素<sup>31)</sup>の全世界の90%を供給する中国は、突然輸出規制をかけたため価格が急騰した。さらに、マグネシウムやアルミニウムやタングステンの中国の精錬所における大気汚染が、地政学リスクに拍車をかけている<sup>32)</sup>。

人間社会は、地政学リスクを嫌い、最先端の科学技術に必須の金属材料にも拘わらず、これらを使ったイノベーションにあえて急ブレーキをかけ、最先端の金属材料を使用しない研究開発に方向転換させる。その研究開発がたとえ最先端の科学技術から逆行するものであっても、人間社会は無頓着である。本論文で調査した金属材料は、いずれも供給不安を抱えるため、人間社会がイノベーションに急ブレーキをかけたと考えられる。この地政学リスクの事例は、人間社会が最先端の科学技術によるイノベーションを拒否できることを如実に物語っている。

イノベーションの萌芽は、新たな発見により、その姿を現し、我々をイノベーションへ勧誘

30) 櫻井弘 [2017] 「元素118の新常識」講談社

「地球上に存在する元素の内、存在度が0.1%以下の79元素を希少元素と呼んでいる。これらは電子材料、特殊合金、エネルギー技術、半導体やファインセラミックスの材料に用いられ、先端技術を支える重要な元素である。希土類元素に限れば中国が全世界の80%の埋蔵量を誇っている。ニッケル、クロム、タングステン、モリブデン、コバルト、マンガン、バナジウムは、日本の国家備蓄7鉱種に挙げられている」

31) 希土類元素（レアアース）には、スカンジウム、イットリウム、ランタン、セリウム、ネオジウム、プロメチウム、サマリウム、ユウロピウム、ガドビウム、テルビウム、ジスプロシウム、ホルミウム、エルビウムなどがある。希土類元素は、レーザー用途、電磁石用途、超電導用途、水素吸蔵合金用途、光学ガラス用途、原子力電池用途、蛍光材料用途、化学反応触媒用途、光ファイバー用途などの必須元素である。『サウジアラビアには石油があり、中国には希土類元素がある』と言われている。もし、中国が希土類元素の輸出をストップすれば、戦争が起きることも考えられる。中国が地政学リスクの頂点にいることを決して忘れてはならない。

32) 日本経済新聞 2018年6月9日

「中国はマグネシウム、タングステン、アルミニウムなどの生産量で世界最大だ。特にマグネシウムのシェアは8割を占め、年初からの価格上昇は7%に達する。精錬所が多い河南省周辺で大気汚染が目立っている模様。鉱山がある北部まで当局の検査が広がり、生産が抑制されている」

するが、その萌芽が生き残りイノベーションに昇格するかは、成長時代の人間社会が決めることになる。多様化したイノベーションの萌芽は、生き残るものと、消滅するものとに、容赦なく選別される。しかし、イノベーションは、人間社会が選別するにも拘わらず、その選別の結果は人間社会の常識をはるかに超え、想定外の未来を築くこともある。上述のグラフィエンや神経伝達物質のように、イノベーションの本当の実力は、その用途開発の多様性を見れば分かる。

イノベーションは科学技術が最先端である必要はない。イノベーションに必要なことは、その時代の人間社会に好かれ選ばれるかどうかである。本論文が強調したいことは、科学技術が多様なほど人間社会に適合できる確率が高くなることと、その用途開発は最先端の科学技術の方向に進む蓋然性がないことである。イノベーションは、最先端科学技術の本流からではなく、支流から始まるのが頻繁に見られる。イノベーションの狼煙は、多くの場合、予想もしない辺境の地から立ち上り、その辺境の地から発せられるイノベーションは多様に満ち溢れ、人間社会を驚嘆させる。

## 5-6 何故、イノベーションに寛容な人間社会の構築が必要なのか

科学技術では負けていない日本が、何故イノベーションにおいて米国に大差をつけられているのか。これは、イノベーションが少数の優秀な科学者だけが成し遂げるものではなく、人間社会が強い影響力を持っていることと強い関係がある。たとえ優秀な日本の科学者が画期的な発明を行っても、日本社会はイノベーションに昇華することを許さない。このことは、優秀な日本の科学者が日本を離れ米国などに移住していることと決して無関係ではない<sup>33)</sup>。

なかでも、日本社会における古色蒼然とした人事制度は、低い雇用流動性をさらに固定化し、日本社会から挑戦し変革する気概を奪い、現状維持を究極の目的とする人間を大量生産する源泉になっている。日本社会では、大きなリスクをとってイノベーションを成し遂げても、成果に相応しい報酬や待遇や名誉が得られない。ちなみに、日本の特許訴訟でたとえ勝訴しても、その金額は米国の数十分の一である。これが、あえて米国で特許訴訟を起こす日本企業が後を絶たない理由である。知的財産の価値があまりにも低過ぎる日本で、巨額の研究開発投資に必要なイノベーションという大きな危険を冒す企業や個人が育つ余地はない。米国がイノベーションに寛容な社会である反面、日本はイノベーションに苛酷な社会であると言える。

米国では常にイノベーションを求めて野心的かつ攻撃的に挑戦する気概のある人が多く、たとえ失敗しても前に進むことが尊重される。翻って、安定を好み変化を嫌う日本社会は、新し

33) 経済産業省「IT人材に関する各国比較調査結果報告書」平成28年6月 「IT人材の平均年収：米国1200万円、日本600万円」経済産業省〔2017〕「ものづくり白書」経済産業調査会「日本の企業研究者に占める博士号取得者の割合が低い。日本は4.6%、米国は10.0%、ロシアは10.8%、ノルウェーは16.5%である」

いものを拒否する傾向が強く、イノベーションに寛容な社会とは懸け離れた存在である。

さらに、日本社会は、チームワークを最優先するため突飛な考えを持った人間を排除し、均一性を尊ぶ文化がある。日本社会で目立った行動をとる人間は冷遇されるため、日本企業では自分の意見を押し殺し謙虚に振る舞うことが何にもまして長く勤める条件となる。その源流は日米の小学校の教育の違いから説明できる。米国では人と違う行動や意見を持った子供を一番に褒め、一つの問題から多くの答があることを学ばせる。一方、日本では答は一つであり、それと違う答は排除され、常に同じに答になるように修正される。米国では個性を伸ばすことが重視され、他人と異なる意見を持つ人間を育てることが米国の教育の特徴である。これは米国がイノベーションに寛容な社会である故に可能な教育である。

日本の学校教育からイノベーションに寛容な社会は生まれにくい。群を抜いた数学の成績の学生でも国語がゼロ点ならば、日本の学校では冷遇され、希望する大学に入ることが出来ない。日本企業にあるような終身雇用と年功序列は米国にはない。これらはイノベーションを阻む日本の最大の障壁と言える。均質組織から無難なリーダーが生まれ、将来より現在の秩序を守るリーダーが重視される日本社会は、イノベーションに寛容な人間社会とは正反対に位置するものである。

学校卒業後の一括採用と新入社員教育が、イノベーションに苛酷な日本社会をさらに強固なものにする。グーグルやアマゾンやアップルでは、卒業と関係ない中途採用が日常茶飯事で、奇抜な能力を持った人材のヘッドハントや競合他社からの引き抜きが活発に行われる。もし日本で同じことを行えば、その企業は、業界ルールを乱す企業のレッテルが貼られ、業界から締め出され、日本社会で生きていけない。このように日本はイノベーションに寛容な人間社会から益々離れて行く。

本論文は、科学技術だけがイノベーションを推進するのではなく、人間社会がイノベーションを育て、その影響力は科学技術より遥かに大きいことを明らかにした。優れた科学技術者が必須と考えられていたイノベーションは再検討を迫られることになった。そこで、本論文は、一握りの優秀な科学技術者を養成する前に、イノベーションに寛容な人間社会の構築を優先すべきであると訴えたい。

## 5-7 何故、健全な人間社会がイノベーションを掌握すべきなのか

何故、科学技術者ではなく、健全な人間社会がイノベーションを掌握すべきなのか。イノベーションが科学技術だけに依拠するとすれば、少数の優秀な科学技術者だけで完遂可能である。しかし、イノベーションが人間社会に大きく依存するため、それを監視する健全な人間社会がイノベーションを掌握すべきである。

誰にも予測できない不確定なイノベーションは個人や企業ではなく、人間社会が主導する方

が理に適っている。画期的な発明や革新的な研究開発でも、採算性を理由に、イノベーションを起こせないことが多い。この意味からもイノベーションを推進するのは人間社会や国家の支援が必須になる。

近年の科学技術のスピードはあまりにも速く進化し続けており、我々はその全容を理解する時間的な余裕すらない場合が多い。ちなみに、自動運転車の登場で快適な生活になると同時に、タクシーやトラック運転手の雇用不安が広まっている。人工知能の脅威論が叫ばれ、人間の無力感を増幅させている。イノベーションは、核兵器や生物兵器や有毒化学物質のように人間社会に都合の悪い物を数多く誕生させてきた苦い歴史がある。

IoT家電やスマートフォンは、我々の生活を便利で快適にすると同時に、サイバー攻撃の格好の標的を作り出し、それらを踏み台としてインターネットに繋がるすべてのものを破壊、盗難、盗撮、改竄などが可能になった。特定のサーバーへの限定的な攻撃目標から、今やIoT家電やスマートフォンなどの無数の攻撃目標を犯罪者に与えてしまった結果、サイバー戦争やサイバーテロも現実味を帯びてきた。ウイルスに感染したAIロボットが殺人犯になる。

また、従来の遺伝子組換え技術を遥かに超える成功確率と低コストと汎用性を実現したゲノム編集<sup>34)</sup>は、白血病やエイズなどの難病を根絶するとともに、遺伝子ドライブを利用してマラリア蚊などの害虫を撲滅すると同時に、デザイナーベビーを誰でも簡単に作り出すことを可能にする。合成ゲノムを受精卵に移して代理母に出産させれば、親のいない人間が誕生する。糖尿病の女性が自ら妊娠した胎児を中絶し、そこから得られる膵臓細胞を自分に移植して病気を治す。オリンピック選手が胎児の組織を移植することで運動能を高める。人間が生命のデザイナーとして人間を改変し、人間を商品化する。これらの神業の悪用や乱用を防ぐ手段は、今の人間社会にはない。

さらに、生まれる前にDNA手術を受けた並外れた超能力を持った新しい人類が人間社会を支配する未来が確実に迫っている。ゲノム編集などのイノベーションは、知能や運動能力や外見や身体を理想的にプログラムされて生まれてきた支配階層と、そうでない被支配階層に二分する強固な「遺伝子格差社会」を作り出すことは疑う余地がない。

---

34) 日本経済新聞 2018年 6月25日

「中国はゲノム編集で人間の受精卵の遺伝子を改変した。米国も人間の受精卵のゲノム編集の研究が進むが、米国連邦政府はゲノム編集の研究に対して補助金を規制し始めた。ドイツ、フランス、イギリスは、ゲノム編集を法律で規制する動きがある。日本は、不妊治療で余った受精卵だけを使用したうえで、目的は生殖補助医療に役立つ基礎研究に限られており、受精卵を人間や胎内へ移植することは現時点で認めていない。カルタヘナ法：遺伝子組み換え生物の使用が生物の多様性に悪影響を及ぼさないようにする法律。国際的な利用方法を定めたカルタヘナ議定書が2000年に国際会議で採択され、国内の利用指針を定めた同法が2004年に施行された」

本論文の仮説「人間社会がイノベーションを減速する」は、科学技術の暴走が差し迫る今、人間社会が減速させなければならないと訴えるものであり、これを仮説のままにはならない。「人間社会によるイノベーションの減速」は筆者の願望でもある。イノベーションが人類を追い越して人類を絶滅させる道具になる前に、健全な人間社会がイノベーションを完全に掌握し、その暴走を確実に食い止めることが、我々の責務である。

## 6章 まとめ

本論文は、イノベーションの進化に関する研究を行い、次のことが判明した。

- (1) イノベーションは、萌芽時代、成長時代、絶滅時代の3時代に分類すると、指数関数的急成長、直線的増加、直線的減少を一元的に解釈できる。
- (2) イノベーションには、萌芽時代から成長時代に転換する「変曲点A」と、成長時代から絶滅時代に転換する「変曲点B」の2つの変曲点が存在する。
- (3) 指数関数的に進む萌芽時代では科学技術がイノベーションを先導するが、成長時代では人間社会がイノベーションを減速させ、その後の社会変化がイノベーションをさらに減速させる。
- (4) グラフェン（変曲点Aは2012年）、神経伝達物質（変曲点Aは2002年）、仮想通貨（変曲点Aは2013年）、レーザー顕微鏡（変曲点Aは2004年）、ナノクリスタル（変曲点Aは2006年）のイノベーションにおいて、指数関数的急成長から直線的増加へ転換する「変曲点A」が検証できた。
- (5) チタン（変曲点Bは2004年）、タングステン（変曲点Bは2004年）、アルミニウム（変曲点Bは2002年）、ニッケル（変曲点Bは2004年）、シリコン（変曲点Bは2003年）、クロム（変曲点Bは2003年）、パラジウム（変曲点Bは2005年）、コバルト（変曲点Bは2003年）、マグネシウム（変曲点Bは2004年）、バナジウム（変曲点Bは2006年）のイノベーションにおいて、直線的増加から直線的減少へ転換する「変曲点B」が検証できた。
- (6) イノベーションは人間社会にその進行を妨げられる結果、変曲点が現れる。
- (7) 人間社会の身勝手な都合の典型例である地政学リスクが高い金属材料（チタン、タングステン、アルミニウム、ニッケル、パラジウム、コバルト、マグネシウム、バナジウム）には、変曲点が明瞭に現れやすい。地政学リスクという人間社会の身勝手な理由が、最先端の科学技術の進歩を停止させ、イノベーションを大きく減速させている。
- (8) 成長時代の増加速度と絶滅時代の減少速度の比率（直線の傾きの絶対値の比率）が、1以上で徐々に成長し急に減少するグループは、シリコン（1.21）、パラジウム（1.19）、アルミニウム（1.18）、タングステン（1.17）、クロム（1.17）、チタン（1.13）、の6種類であり、

- 逆に、1以下で急に成長し徐々に減少するグループは、バナジウム (0.86)、マグネシウム (0.80)、ニッケル (0.77)、コバルト (0.70)、の4種類である。
- (9) 成長時代におけるグラフェンと神経伝達物質のイノベーションに及ぼす人間社会の影響を調査した結果、さまざまな用途開発が行われていることが判明した。
  - (10) グラフェンの主要な用途開発は、フィルタ用途、キャパシタ用途、電池用途、半導体用途、表示デバイス用途、トランジスタ用途、バッテリー用途、照明装置用途、発光デバイス用途、光電変換素子用途であった。
  - (11) 神経伝達物質の主要な用途開発は、眼の疾患用途、心臓血管疾患用途、慢性疼痛用途、アルツハイマー病用途、認知症用途、糖尿病用途、睡眠障害用途、パーキンソン病用途、鬱病用途であった。
  - (12) 萌芽時代主導イノベーションは、初期に科学技術が爆発的に進展し、イノベーションを強く牽引するが、その後の成長時代のイノベーションの拡大はそれほど大きくなく、成長時代はあまり長く続かない。
  - (13) 成長時代主導イノベーションは、初期の科学技術による牽引力はあまり強くないが、成長時代には力強く、かつ、長く続く特徴を持っている。
  - (14) すべてのイノベーションは、萌芽時代主導イノベーションと成長時代主導イノベーションのどちらかに分類できる。
  - (15) 成長時代主導イノベーションは人間社会と共生しやすい。
  - (16) 萌芽時代主導イノベーションは、多様性に優れている場合が多く、人間社会が変化する絶滅時代においても生き延び、新たな分野で異なるイノベーションを誕生させることが少なくない。
  - (17) 萌芽時代主導イノベーションは「サイエンス・ドリブン・イノベーション」であり、成長時代主導イノベーションは「ソーシャル・ドリブン・イノベーション」と言い換えることができる。「サイエンス・ドリブン・イノベーション」は、純粋なサイエンスが主体的に進行し、「ソーシャル・ドリブン・イノベーション」は、純粋なサイエンスではなく、人間社会の主導するテクノロジーが主役を演ずる。
  - (18) 人間社会は、科学技術が自由に成長したものを、そのままの形で受け入れることはない。人間社会は、イノベーションの萌芽を、都合の良いもの、都合の悪いもの、役に立つもの、役に立たないものを選別し、イノベーションの萌芽を機能や効用ごとに細かな部品に裁断し、その部品を融合させ、人間社会に役立つ用途開発が行われる。
  - (19) イノベーションは科学技術と人間社会の積になる法則に従う。科学技術よりも規模の大きい人間社会は、イノベーションへの寄与が遥かに大きい。
  - (20) 多様性が高いほど人間社会に受け入れらやすくなるため、イノベーションは科学技術の

先進性よりも、多様性が優先される。

- (21) イノベーションは、最先端科学技術の本流からではなく、支流から始まることが頻繁に見られる。イノベーションの狼煙は、多くの場合、予想もしない辺境の地から立ち上り、その辺境の地から発せられるイノベーションは多様性に満ち溢れ、人間社会を驚嘆させる。
- (22) 日本は、少数の優秀な科学技術者を養成する前に、イノベーションに寛容な人間社会の構築を優先すべきである。

#### 参考文献

- 村山博「日本企業の研究開発の絶滅と誕生に関する研究（その1） 仮説「研究開発は直線的に絶滅し指数関数的に誕生し、その絶滅と誕生は同期する」」（単著/2018年2月/『桃山学院大学環太平洋圏経営研究』第19号/桃山学院大学総合研究所/pp3-44）
- 村山博「日本企業の研究開発の絶滅と誕生に関する研究（その2） 仮説「研究開発の絶滅時期は、研究開発を減少させる企業ではなく、逆に研究開発を増加させる企業が決める」」（単著/2018年2月/『桃山学院大学環太平洋圏経営研究』第19号/桃山学院大学総合研究所/pp45-92）
- 村山博「日本企業の研究開発の絶滅と誕生に関する研究（その3） 仮説「研究開発の絶滅が作り出すブルーオーシャンにはイノベーションが宿り、その好機が存在する」」（単著/2018年2月/『桃山学院大学環太平洋圏経営研究』第19号/桃山学院大学総合研究所/pp93-132）
- 村山博「指数関数的進化企業に及ぼす弱い連携の影響 副題：日産自動車、富士フィルム、川崎重工のイノベーションの源泉」（単著/2017年2月/『桃山学院大学環太平洋圏経営研究』第18号/桃山学院大学総合研究所/pp17-77）
- 村山博「素材開発企業と部品組立企業の特許グローバル化速度に関する研究 素材開発企業におけるイノベーションの源泉」（単著/2016年2月/『桃山学院大学環太平洋圏経営研究』第17号/桃山学院大学総合研究所/pp3-51）
- 村山博「特許グローバル化速度による共同研究と単独研究に関する研究 共同研究重視企業と単独研究重視企業におけるイノベーションの法則」（単著/2016年2月/『桃山学院大学環太平洋圏経営研究』第17号/桃山学院大学総合研究所/pp53-103）
- 村山博「イノベーションに及ぼす企業進化速度と業界ボーダレスの影響 企業進化速度の速いネットビジネス業界、医薬品業界、自動車業界を中心に」（単著/2015年3月/『桃山学院大学環太平洋圏経営研究』第16号/桃山学院大学総合研究所/pp3-44）
- 村山博「自動運転車、燃料電池車、電気自動車に関するイノベーションの研究 自動車会社、部品会社、IT企業による次世代自動車の社会的価値の創造」（単著/2015年3月/『桃山学院大学環太平洋圏経営研究』第16号/桃山学院大学総合研究所/pp79-132）
- 虫明元 [2018]「学ぶ脳」岩波書店
- 堀内進之介 [2018]「人工知能時代を善く生きる技術」集英社新書
- 小林雅一 [2018]「ゲノム編集からはじまる新世界 超先端バイオ技術がヒトとビジネスを変える」朝日新聞出版
- 須田桃子 [2018]「合成生物学の衝撃」文藝春秋
- 高井研 [2018]「生命の起源はどこまでわかったか」岩波新書

- 有村源一郎, 西原昌宏 [2018] 「植物のたくらみ 香りと色の植物学」ベレ出版
- 中島春紫 [2017] 「発酵の科学 微生物が生み出す旨さの秘密」講談社
- 土屋健 田中源吾 [2017] 「古生物たちのふしぎな世界 繁栄と絶滅の古生代3億年史」講談社
- 中島明日香 [2017] 「サイバー攻撃 ネット世界の裏側で起きていること」講談社
- 堀龍兒 淵邊善彦 [2017] 「ビジネス常識としての法律」日本経済新聞社
- 山田克哉 [2017] 「 $E=mc^2$  のからくり エネルギーと質量はなぜ等しいのか」講談社
- 澤田秀雄 [2017] 「変な経営論」講談社新書
- 小林武彦 [2017] 「DNAの98%は謎」講談社
- 織田一朗 [2017] 「時計の科学」講談社
- 齊藤元章 井上智洋 [2017] 「人工知能は資本主義を終焉させるか」PHP新書
- 田中潤 松本健太郎 [2017] 「誤解だらけの人工知能」光文社新書
- ダニエル・E・リーバーマン著 塩原通緒訳 [2017] 「人体(上)(下)」ハヤカワ・ノンフィクション文庫
- 出口治明 [2017] 「人類5000年史I」ちくま新書
- 中川毅 [2017] 「人類と気候の10万年史」講談社
- シダールタ・ムカジー著 田中文訳 [2017] 「遺伝子 親密なる人類史(上)(下)」早川書房
- 田浦俊春 [2017] 「質的イノベーション時代の思考力 科学技術と社会をつなぐデザインとは」勁草書房
- 田中道昭 [2017] 「アマゾンが描く2022年の世界」PHPビジネス新書
- 稲垣英洋 [2017] 「雑草はなぜそこに生えているのか」ちくまプリマーション新書
- 関満博 [2017] 「日本の中小企業」中公新書
- 橋本健二 [2017] 「新・日本の階級社会」講談社現代新書
- 矢部宏治 [2017] 「知ってはいけない 隠された日本支配の構造」講談社現代新書
- 山中伸弥, 羽生善治 [2017] 「人間の未来, AIの未来」講談社
- 柳川範之 [2017] 「人工知能は日本経済を復活させるか」大和書店
- 遠藤功 [2017] 「創造的新陳代謝を生み出す10の基本原則 生きている会社死んでいる会社」東洋経済新報社
- 新井紀子 [2017] 「AI vs 教科書が読めない子どもたち」東洋経済新報社
- 伊丹敬之 [2017] 「なぜ戦略の落とし穴にはまるのか」日本経済新聞社
- 池谷裕二 [2017] 「脳と心のしくみ」新星出版
- 井上久男 [2017] 「自動車会社が消える日」文藝春秋
- ベンジャミン・マクファーランド著 渡辺正訳 [2017] 「星屑から生まれた世界 進化と元素をめぐる生命38億年史」化学同人
- 山崎耕造 [2017] 「宇宙線と素粒子の本」日刊工業新聞社
- ナノセルロースファーラム [2017] 「ナノセルロースの本」日刊工業新聞社
- 松尾真一郎 [2017] 「ブロックチェーン技術の未解決問題」日経BP
- 安本雅典 [2017] 「オープン化戦略」有斐閣
- 青嶋稔 [2017] 「事業を創る」中央経済社
- ダルトン・コンリー著 松浦俊輔訳 [2017] 「ゲノムで社会の謎を解く」作品社
- アラン・デケイロス著 柴田裕之訳 [2017] 「サルは大西洋を渡った奇跡的な航海が生んだ進化史」みすず書房
- クリストファー・ガルフェール著 塩原通緒訳 [2017] 「138億年宇宙の旅」早川書房
- 小池和男 [2017] 「起業統治改革の陥穽」日本経済新聞社
- 中村吉明 [2017] 「AIが変えるクルマの未来」NTT出版



- 桃田健史 [2017] 「EV時代にトヨタは生き残れるのか」 洋泉社  
 エリック・バーカー著 橘玲訳 [2017] 「残酷すぎる成功法則」 飛鳥新社  
 森本雅之 [2017] 「電気自動車 第二版」 森北出版  
 田所雅之 [2017] 「起業の科学 スタートアップサイエンス」 日経BP  
 木村尚敬 [2017] 「ダークサイドスキル」 日本経済新聞社  
 一ツ橋イノベーション [2017] 「イノベーション・マネジメント入門第二版」 日本経済新聞社  
 大野治 [2017] 「日本型AIビジネスモデル」 日刊工業新聞社  
 小久保重信 [2017] 「ITビッグ4の描く未来」 日経BP社  
 段薫 [2017] 「特許戦争 知財立国 日本の生きる道」 人間の科学社  
 佐藤卓巳 [2017] 「デジタル情報社会の未来」 岩波書店  
 森口将之 [2017] 「これから始まる自動運転車社会はどうなる」 秀和システム  
 大前研一 [2017] 「日本の論点 2018～2019」 プレジデント社  
 山口周 [2017] 「知的戦闘力を高める独学の技法」 ダイヤモンド社  
 日経BP [2017] 「世界を動かす100の技術」 日経BP  
 湯川秀樹 [2017] 「創造的人間」 角川文庫  
 藤本隆宏 [2017] 「現場から見上げる企業戦略論」 角川新書  
 岩瀬昌美 [2017] 「できるアメリカ人の11の仕事の習慣」 日経プレミアシリーズ  
 山本太郎 [2017] 「抗生物質と人間」 岩波新書  
 山上聡 [2017] 「金融デジタルイノベーションの時代」 ダイヤモンド社  
 竹内純子 [2017] 「エネルギー産業の2050年 UTILITY3.0へのゲームチェンジ」 日本経済新聞社  
 二井将光 [2017] 「生命を支えるATPエネルギー」 講談社  
 鈴木紀之 [2017] 「すごい進化 一見すると不合理」 中公新書  
 淵田康之 [2017] 「キャッシュフリー経済 日本活性化のフィンテック戦略」 日本経済新聞社  
 岩下直行 [2017] 「ブロックチェーンの未来」 日本経済新聞社  
 日経BP総合研究所編 [2017] 「イノベーション大国 次世代への布石」 日経BP  
 トーマツ・ベンチャーサポート [2017] 「実践するオープンイノベーション」 日経BP  
 リチャード・サスカインド著 小林啓倫訳 [2017] 「プロフェッショナルの未来」 朝日新聞社  
 ジョージ・A・アカロフ著 山形浩生訳 [2017] 「不道徳な見えざる手」 東洋経済新報社  
 鶴原吉郎 [2017] 「自動運転で伸びる業界消える業界」 マイナビ出版  
 久保田正道 [2017] 「情報通信社会における企業経営（上）（下）」 日科技連  
 成毛眞 [2017] 「理系脳で考える AI時代に生き残る人の条件」 朝日新書  
 岩田明男 [2017] 「Suicaが世界を制覇する アップルが日本の技術を選んだ理由」 朝日新書  
 鈴木貴博 [2017] 「仕事消滅 AIの時代を生き抜くために、いま私たちにできること」 講談社新書  
 情報処理推進機構 [2017] 「AI白書」 角川アスキー総合研究所  
 川口盛之助 [2017] 「メガトレンド 世界の終わりと始まり」 日経BP社  
 経済産業省・厚生労働省・文部科学省編 [2017] 「ものづくり白書」 経済産業調査会  
 齊藤和紀 [2017] 「シンギュラリティ・ビジネス」 幻冬舎新書  
 小林雅一 [2017] 「AIが人間を殺す日」 集英社新書

(2018年7月9日受理)

## Study on the Evolution of Innovation

Hypothesis A “There are Two Inflection Points in the Evolution of Innovation”

Hypothesis B “Although Science and Technology Leads the Innovation in the Exponentially Growing Era, Human Society Slows Down the Innovation in the Growth Era that Goes Straight, and the Subsequent Social Change Further Slows Down the Innovation”

MURAYAMA Hiroshi

This paper concerns the evolution of innovation. Innovation is classified as the embryonic era, the growth era, the extinction era. There are two inflection points for innovation: “inflection point A” to change from the embryonic era to the growth era and “inflection point B” to change from the growth era to the extinction era.

Graphene (inflection point A in 2012), neurotransmitter (inflection point A in 2002), virtual currency (inflection point A in 2013), laser microscope (inflection point A in 2004), nanocrystal (Inflection point A in 2006), “inflection point A” which converts from exponential increase to linear increase can be confirmed.

Titanium (inflection point B in 2004), tungsten (inflection point B in 2004), aluminum (inflection point B in 2002), nickel (inflection point B in 2004), silicon (inflection point B in 2003), chromium (inflection point B in 2003), palladium (inflection point B in 2005), cobalt (inflection point B in 2003), magnesium (inflection point B in 2004), vanadium (Inflection point B in 2006), “inflection point B” which converts from linear increase to linear decrease can be confirmed.

Inflection points tend to appear clearly in metallic materials (titanium, tungsten, aluminum, nickel, palladium, cobalt, magnesium, vanadium) that are subject to geopolitical risks strongly influenced by human society.

The hypothesis “there are two inflection points in the evolution of innovation” was verified. The hypothesis “although science and technology leads the innovation in the exponentially growing era, human society slows down the innovation in the growth era that goes straight, and the subsequent social change further slows down the innovation” was verified.

Since the progress of innovation is hindered by human society, inflection points appear.

Major application development of graphene was for filter application, capacitor application, cell application, semiconductor application, display device application, transistor application, battery application, lighting device application, light emitting device application, photoelectric conversion device application. Major application development of neurotransmitters was ocular disease application, cardiovascular disease application, chronic pain application, Alzheimer's disease application, dementia application, diabetes application, sleep disorder application, Parkinson's disease application.

In the embryonic era led innovation, the science and technology develops explosively and leads strong innovation, but the expansion of innovation in the subsequent growth age is not so large, the growth era does not last long. Growth era led innovation is not strongly driven by the science and technology of the embryonic era, but strong growth continues for a long time in the growth era.

Human society never accepts what science and technology of the embryonic era has developed freely. Since innovation is the multiplication of science and technology and human society, the contribution of human society is larger than science and technology. Innovation is rarely born of the best science and technology, it is rare to start with the mainstream of science and technology. The innovation's wake smoke rises from an unexpected land of remote areas.